



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Nara Brasil do Amaral**

**GEOSINTÉTICOS APLICADOS A GEOTECNIA AMBIENTAL**

**JOÃO PESSOA**

**2019**

NARA BRASIL DO AMARAL

**GEOSSINTÉTICOS APLICADOS A GEOTECNIA AMBIENTAL**

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

Orientador: Prof.º Dr.º Fábio Lopes Soares

JOÃO PESSOA

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

A485g Amaral, Nara Brasil do.  
Geossintéticos aplicados a geotecnia ambiental / Nara  
Brasil do Amaral. - João Pessoa, 2019.  
82 f.

Orientação: Fábio Lopes Soares.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Geossintéticos. 2. Contaminação. 3. Impactos  
ambientais. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

NARA BRASIL DO AMARAL

GEOSSINTÉTICOS APLICADOS A GEOTECNIA AMBIENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso em 09/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

*Fábio Lopes Soares*

Prof.º Dr.º Fábio Lopes Soares

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

*Aline Flávia Remígio*

Prof.ª Dr.ª Aline Flávia Remígio Antunes

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

*Clóvis Dias*

Prof.º Dr.º Clóvis Dias

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

*ABSilva*

Prof.ª Andrea Brasiliano Silva

Matrícula Siape: 1549557

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

*À Deus e minha amada mãe, Anacarina Brasil  
Vieira do Amaral.*

## AGRADECIMENTOS

Finalmente chega o tão aguardado momento do meu trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, porém não teria conseguido nada disso se algumas pessoas não tivessem ao meu lado para trilhar esse caminho comigo.

Aos meus pais, Anacarina e Amaral, eu agradeço por terem secado minhas lágrimas em momentos de desespero, se alegrado comigo nas minhas conquistas, me dado forças em momentos que eu parecia estar esgotada e por sempre me incentivarem a estudar.

Aos meus irmãos, Natasha, Natália, Mirelle e Sacha, eu agradeço por mostrarem que a união faz a força e engrandece nossa irmandade.

A minha querida avó Francisca, eu agradeço por sempre torcer por mim, fazer questão de estar comigo em todos os momentos importantes, ser meu exemplo de força e determinação e sempre me apoiar nas situações tristes e felizes.

A minha querida avó Raimunda, eu agradeço todas as memórias que tivemos a oportunidade de vivermos juntas, todas elas estão guardadas no meu coração, e sei que lá do céu ela comemora comigo essa conquista.

Aos meus professores, quero agradecer por todos os aprendizados e ensinamentos ao longo desse curso tão difícil. Obrigada por contarem a trajetória de vocês para apoiar a minha própria jornada, por compartilharem todos os conhecimentos e por me fazerem entender que a arte de ensinar é constante e o passo inicial para se tornar além de um profissional correto, um profissional humano.

Agradeço especialmente ao meu orientador e professor Fábio Lopes, por confiar no meu trabalho, me incentivar e ajudar a melhorá-lo. Aos meus professores, Aline Remígio e Clóvis Dias, agradeço por terem aceitado fazer parte de minha banca e por todos os conhecimentos compartilhados.

Agradeço a equipe do Aterro Sanitário de João Pessoa pela atenção e informações passadas nas visitas feitas ao local, principalmente ao Engenheiro Civil e gerente do Aterro Sanitário, Johnson Figueiredo, e a Técnica Ambiental e Tecnóloga de Segurança do Trabalho, Irani Pontes.

Agradeço a toda minha família e amigos pela ajuda ao longo desse curso e por sempre torcerem pelo meu bem.

E minha imensa gratidão à Deus, Maria, Jesus, meu Santo Anjo, Nossa Senhora Maria de Fátima e todos que sempre me ajudam lá do céu e formam a base de toda a minha estrutura e do meu ser.

*“Não se apresse em achar que fracassou. Há vitórias que só o tempo pode nos revelar. Não se limite ao que está sob o alcance dos olhos. O jogo vai além do que enxergamos. A vida surpreende-nos.”*

*(Padre Fábio de Melo)*

## RESUMO

Os impactos ambientais causados por projetos mal elaborados de engenharia ou falta de técnica em sua execução geraram problemas como a contaminação dos solos, águas superficiais e águas subterrâneas. O estudo de casos como a contaminação por postos de combustíveis em Cuibá e possíveis casos de contaminação em João Pessoa, por aterros mal projetados e elaborados, com destaque ao Aterro de Marituba, e o desastre ambiental, social e econômico no rompimento da barragem de rejeitos no município de Mariana, levou ao estudo da aplicação dos geossintéticos na prevenção e na resolução de parte desses problemas que a geotecnia ambiental busca solucionar. Para isso, fez-se um estudo sobre as funções e propriedades que os geossintéticos podem desempenhar nessas obras. Na solução da contaminação causada por rejeitos de mineração foi estudada a aplicação de tubos geotêxteis como parte da solução da retirada dos contaminantes do reservatório da Usina Hidrelétrica de Risoleta Neves, onde se prevê a retirada de 1,3 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos dos 10,5 milhões de m<sup>3</sup> de lama que ficaram retidos no reservatório com o rompimento da Barragem de Fundão, objetivando a volta do funcionamento da usina e a melhora na qualidade do Rio Doce. No caso de contaminação por combustível, foi estudada a utilização da geomembrana de PEAD nas áreas que geralmente são afetadas pelo vazamento de combustível, como nos locais de sistema de abastecimento subterrâneo. Para evitar a contaminação em aterros sanitários, deu-se destaque a utilização de geomembranas, geotêxteis, georredes, geogrelhas, GCL's e geotubos nas inúmeras funções que os geossintéticos podem desempenhar quando aplicados nessas obras, ao qual foi destacado as aplicações desses produtos no Aterro Sanitário de João Pessoa, localizado no município de Santa Rita, no estado da Paraíba, onde é utilizado as geomembranas de PEAD na impermeabilização das células de resíduo Classe I e Classe II-A, as mantas de geotêxtil são usadas com a função de filtração nos drenos de chorume e os geotubos são utilizados para a coleta e drenagem do chorume e dos gases produzidos através da decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos depositados no aterro.

**Palavras chaves:** Geossintéticos. Contaminação. Impactos ambientais.



## ABSTRACT

The environmental impacts caused by poorly designed engineering projects or lack of technique in their execution have generated problems such as contamination of soils, surface water and groundwater. The study of cases such as the contamination by fuel stations in Cuibá and possible cases of contamination in João Pessoa, by poorly designed and elaborated landfills, with emphasis on the Marituba Landfill, and the environmental, social and economic disaster in the rupture of the tailings dam in the municipality of Mariana, led to the study of the application of geosynthetics in the prevention and resolution of part of these problems that environmental geotechnics seeks to solve. For this, a study was made on the functions and properties that geosynthetics can perform in these works. In the solution of the contamination caused by mining tailings, the application of geotextiles was studied as part of the solution to remove contaminants from the reservoir of the Risoleta Neves Hydroelectric Power Plant, where 1.3 million m<sup>3</sup> of tailings from the 10, 5 million m<sup>3</sup> of mud that were retained in the reservoir with the break of the Fundão Dam, aiming at the return of the operation of the plant and the improvement in the quality of the Rio Doce. In the case of fuel contamination, the use of the HDPE geomembrane was studied in the areas that are generally affected by the fuel leakage, as in the underground supply system. To avoid contamination in landfills, the use of geomembranes, geotextiles, geonets, geogrids, GCL's and geotubes was emphasized in the many functions that geosynthetics can perform when applied in these works, which was highlighted the applications of these products in Lanfill of João Pessoa, located in the municipality of Santa Rita, state of Paraíba, where HDPE geomembranes are used in the waterproofing of Class I and Class II-A waste cells, geotextile blankets are uses with filtration in the drains of slurry and the geotubes are used for the collection and drainage of the slurry and the gases produced through the anaerobic decomposition of the organic residues deposited in the landfill.

**Keywords:** Geosynthetics. Contamination. Environmental impacts.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Geomanta utilizada no controle de erosão em taludes.....	20
<b>Figura 2</b> - Exemplo de Geotêxtil tecido .....	21
<b>Figura 3</b> - Exemplo de Geotêxtil não-tecido .....	22
<b>Figura 4</b> - Geotêxtil tricotado .....	23
<b>Figura 5</b> - Geomembrana.....	23
<b>Figura 6</b> - Geotubo.....	24
<b>Figura 7</b> - Geogrelha.....	25
<b>Figura 8</b> - GCL .....	26
<b>Figura 9</b> - Georrede .....	27
<b>Figura 10</b> - Geocomposto de drenagem.....	27
<b>Figura 11</b> - Geocélula .....	28
<b>Figura 12</b> - Função de separação nos geossintéticos .....	29
<b>Figura 13</b> - Função de proteção nos geossintéticos .....	29
<b>Figura 14</b> - Função de filtração nos geossintéticos .....	30
<b>Figura 15</b> - Função de drenagem nos geossintéticos .....	30
<b>Figura 16</b> - Função de controle de erosão nos geossintéticos .....	31
<b>Figura 17</b> - Função de reforço nos geossintéticos .....	31
<b>Figura 18</b> - Função de impermeabilização nos geossintéticos .....	32
<b>Figura 19</b> - Fluxograma das etapas do desenvolvimento deste trabalho .....	37
<b>Figura 20</b> - Representação do conceito de impacto ambiental .....	38
<b>Figura 21</b> - Localização do Aterro Sanitário de Marituba/PA .....	41
<b>Figura 22</b> - Mapa de localização onde o Aterro de Marituba/PA se encontra em área urbana .....	42
<b>Figura 23</b> - Áreas contaminadas e reabilitadas por atividades, gerenciadas pela CETESB no ano de 2017 em São Paulo.....	44

<b>Figura 24</b> - Localização dos postos de combustíveis que apresentaram contaminações no município de Cuibá/MT.....	45
<b>Figura 25</b> - Gráfico da relação de postos de combustíveis em Cuibá/MT que apresentaram técnicas de remediação nas áreas contaminadas por suas atividades .....	46
<b>Figura 26</b> - Possíveis áreas contaminadas por postos de combustíveis em João Pessoa/PB...	49
<b>Figura 27</b> - Trajeto da lama tóxica liberada pelo rompimento da Barragem de Fundão .....	51
<b>Figura 28</b> - Barragem de Fundão após o seu rompimento.....	52
<b>Figura 29</b> - Aplicações de geossintéticos em aterros sanitários .....	53
<b>Figura 30</b> - Utilização da geomembrana como manta flutuante em lagoas de chorume no Aterro Sanitário de Santo André, na cidade de Santo André/SP.....	55
<b>Figura 31</b> - Instalação do geotêxtil sobre o gabião tipo colchão drenante no Aterro de São Giacomo, na cidade de Caxias do Sul/RS .....	56
<b>Figura 32</b> - Aplicação da geomembrana sobre o geotêxtil no Aterro Sanitário de São Giacomo, na cidade de Caxias do Sul/RS .....	56
<b>Figura 33</b> - Instalação do geocomposto drenante (geotêxtil + georrede) de águas pluviais em aterro.....	57
<b>Figura 34</b> - Aplicação de geogrelha no talude do aterro sobre a geomembrana .....	58
<b>Figura 35</b> - GCL aplicado sobre camada de solo compactado na ampliação do Aterro de Santo André/SP.....	59
<b>Figura 36</b> - Aplicação de geotubos em trincheiras drenantes.....	59
<b>Figura 37</b> - Localização do Aterro Sanitário de João Pessoa/PB .....	61
<b>Figura 38</b> - Geomembrana de PEAD na impermeabilização da célula de resíduos Classe II-A (Não inertes) no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB .....	63
<b>Figura 39</b> - Representação em corte de como os geossintéticos são utilizados na construção de células de resíduos Classe I (Perigosos) no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB .....	64
<b>Figura 40</b> - Lagoa de Acumulação I do chorume na Estação de Tratamento do lixiviado no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB .....	65
<b>Figura 41</b> - Lagoa Anaeróbia II na Estação de Tratamento do lixiviado no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB .....	66
<b>Figura 42</b> - Representação do sistema de drenagem do chorume nas células do Aterro Sanitário de João Pessoa/PB com utilização do geotêxtil e do geotubo.....	67

<b>Figura 43</b> - Tubulação composta de geotubo de PEAD, que leva o chorume desde a célula onde é feita sua coleta e drenagem até a Estação de Tratamento do lixiviado no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.....	68
<b>Figura 44</b> - Sistema de coleta e drenagem de gases do Aterro Sanitário de João Pessoa/PB .	69
<b>Figura 45</b> - Utilização da geomembrana de PEAD na cava de um tanque subterrâneo de um posto de combustível em Passo Fundo/RS .....	70
<b>Figura 46</b> - Colocação do tanque subterrâneo após a instalação de geomembrana no posto em construção em Passo Fundo/RS.....	70
<b>Figura 47</b> - Operação de manejo do rejeito de mineração na Usina de Candonga.....	72
<b>Figura 48</b> - Localização dos setores de disposição dos sólidos dos rejeitos na Usina de Candonga .....	73
<b>Figura 49</b> - Esquema de operação realizada pelos tubos geotêxteis na descontaminação de resíduos tóxicos da água na obra de dragagem que ocorreu no Canal do Fundão, no município do Rio de Janeiro, em 2009. ....	74

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Funções dos principais geossintéticos .....	32
<b>Tabela 2</b> - Destino final dos resíduos em 23 anos .....	40
<b>Tabela 3</b> - Classificação dos resíduos sólidos.....	62
<b>Tabela 4</b> - Características das geomembranas produzidas no Brasil .....	71

## LISTA DE SIGLAS

ABINT	Associação Brasileira das Indústrias de Nãotecidos e Tecidos Técnicos
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANP	Agência Nacional de Petróleo
APP	Área de Preservação Permanente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambienta
GCL	Geocomposto argiloso ou Geocomposto bentonítico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IGS	Sociedade Internacional de Geossintéticos
IGS Brasil	Associação Brasileira de Geossintéticos
INEA	Instituto Estadual do Ambiente no Rio de Janeiro
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente
SEMAS	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	17
1.2. OBJETIVOS .....	17
1.2.1. Objetivo geral.....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	17
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
2.1. GEOSSINTÉTICOS .....	19
2.1.1. Classificação .....	21
2.1.2. Funções .....	28
2.1.3. Propriedades.....	33
2.2. GEOTECNIA AMBIENTAL .....	34
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
<b>4. CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA</b> .....	<b>38</b>
4.1. CONTAMINAÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS.....	39
4.1.1. Estudo de caso do Aterro de Marituba/PA.....	40
4.2. CONTAMINAÇÃO POR COMBUSTÍVEL.....	43
4.2.1. Estudo de caso de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuibá/MT..	44
4.2.2. Estudo de caso de possíveis áreas contaminadas por postos de combustíveis em João Pessoa/PB.....	46
4.3. CONTAMINAÇÃO POR REJEITOS DE MINERAÇÃO .....	50
4.3.1. Estudo de caso do rompimento da Barragem de rejeitos de Fundão .....	50
<b>5. GEOSSINTÉTICOS UTILIZADOS PARA PREVENÇÃO E SOLUÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA</b> .....	<b>52</b>
5.1. SOLUÇÕES EM GEOSSINTÉTICOS PARA EVITAR A CONTAMINAÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS.....	53
5.1.1. Utilização das geomembranas.....	54
5.1.2. Utilização de geotêxteis .....	55
5.1.3. Utilização de georredes .....	57
5.1.4. Utilização de geogrelhas .....	57
5.1.5. Utilização do GCL .....	58

5.1.6. Utilização do geotubo .....	59
5.2. APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE JOÃO PESSOA.....	60
5.3. SOLUÇÕES EM GEOSSINTÉTICOS PARA EVITAR A CONTAMINAÇÃO EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS .....	69
5.4. SOLUÇÕES EM GEOSSINTÉTICOS PARA AUXILIAR NA DESCONTAMINAÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO .....	71
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>76</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>
ANEXO 1 - Trajeto da lama tóxica liberada pelo rompimento da Barragem de Fundão.....	81



## 1. INTRODUÇÃO

A partir da década de 1950 alguns países começaram a utilizar geossintéticos em obras hidráulicas para que os mesmos desempenhassem a função de filtração e evitassem ações erosivas. Uma década depois, em 1960, países como os Estados Unidos e França, iniciaram a produção de geotêxteis não tecidos e também nessa mesma década começaram a ser utilizados geotêxteis em obras viárias.

Porém, foi só a partir de 1970 que profissionais brasileiros começaram a conhecer e estudar de fato a utilização dos geossintéticos em obras da engenharia civil. Enquanto era dado os primeiros passos na utilização desses produtos poliméricos industrializados no Brasil, na década de 1980, outros países já pesquisavam a aplicação desses materiais em obras na área da geotecnia ambiental.

A geotecnia ambiental é a parte da geotecnia responsável por investigar e buscar soluções de problemas ambientais que foram surgindo devido a ações antrópicas na área geotécnica, como a recuperação de terrenos contaminados com substâncias químicas, a renaturalização de rios, assim como também buscam prevenir a contaminação de águas subterrâneas e dos solos em obras que geram impactos ambientais.

Devido ao grande número de vantagens dos geossintéticos, como a possibilidade de formular produtos com propriedades específicas e necessárias para cada tipo de obra, ser de fácil instalação, uma vez que não se faz necessário a utilização de equipamentos de grande porte, e também o fato de diminuir o consumo de materiais naturais, já que se trata de um material sintético substituto aos recursos que antes eram retirados da natureza (agregados naturais, por exemplo), contribuindo para a preservação do meio ambiente, entre outras vantagens, se tornou um caminho natural utilizar os geossintéticos na atuação da geotecnia ambiental.

Diante dessas informações, buscou-se investigar quais os geossintéticos que poderiam auxiliar na resolução de problemas, como a contaminação hídrica de rios e águas subterrâneas, assim como a contaminação do solo por aterro e a recuperação de áreas poluídas, uma vez que só no ano de 2018 a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) registrou apenas no estado de São Paulo um número total de 4657 áreas contaminadas, não integrando nesse número as áreas já reabilitadas para uso declarado, e a proposta de soluções para a resolução desses impactos no meio ambiente se tornou de extrema importância.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

Esse trabalho foi feito com o intuito de destacar soluções na prevenção e remediação de áreas afetadas com contaminação no solo e em cursos de água, através da utilização dos produtos de geossintéticos, que possuem controle de qualidade industrial, geram menos impacto ao meio ambiente e podem ser utilizados em inúmeras obras, devido a sua grande variedade de produtos e as funções que podem desempenhar.

De acordo com o pressuposto, fez-se uma análise de casos de contaminação do solo e da água por postos de gasolina, aterros sanitários e resíduos de mineração e com isso orientou-se sobre quais geossintéticos podem ser utilizados na solução e prevenção desses problemas, enfatizando as funções que podem desempenhar e sua importância na geotecnia ambiental.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo geral**

Expor a importância da utilização dos geossintéticos na resolução e prevenção de contaminação de solos e cursos de água por meio de revisão bibliográfica e estudos de caso.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- ✓ Ressaltar a importância dos geossintéticos na geotecnia ambiental por meio de revisão de literatura;
- ✓ Apresentar os problemas ocasionados pela contaminação do solo e da água;
- ✓ Apresentar estudo de casos de contaminação do solo e da água no Brasil em aterros sanitários, por postos de combustíveis e rejeitos de mineração;
- ✓ Orientar a seleção correta de geossintéticos na prevenção e resolução de solos e cursos de água contaminados por combustível, resíduos de mineração e chorume.

### **1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

No capítulo 2 têm-se a revisão bibliográfica de conteúdos que serão tratados ao longo deste trabalho. São destacados alguns tipos de geossintéticos, suas funções, propriedades, sua definição e importância da sua utilização. Também é analisado o conceito da geotecnia ambiental e sua atuação na resolução dos impactos ambientais causados por ação antrópica.

No capítulo 3 é apresentado a metodologia do trabalho, quais foram os métodos de pesquisa, os artigos, trabalhos e teses consultados.

No capítulo 4 são apresentados estudos de caso sobre a contaminação do solo e da água por aterros sanitários mal projetados, como exemplo o aterro de Marituba, por postos de combustíveis, com os casos dos postos de Cuibá, e por rejeitos de mineração, estudando o caso do rompimento da barragem de Fundão no município de Mariana.

No capítulo 5 são apontadas as soluções com geossintéticos que podem ajudar a evitar e remediar os problemas apontados no tópico 4, dando exemplos de casos práticos, o tipo e a função que os geossintéticos podem desempenhar na solução de cada problema por contaminação destacado nesse trabalho.

No capítulo 6 têm-se as considerações finais, o que se pode entender de todos os assuntos tratados neste trabalho, discutindo todos os casos de obra estudados e fazendo-se uma análise geral se todos os objetivos propostos nesse trabalho foram cumpridos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. GEOSSINTÉTICOS

Os geossintéticos podem ser definidos como produtos que possuem em sua composição polímeros, que pode ser naturais ou sintéticos, e são fabricados de acordo com as propriedades necessárias que deverão desempenhar para cada tipo de obra.

É uma tecnologia que está sendo cada vez sendo mais utilizada pelo mundo, e no Brasil apesar do mercado desse material ainda ser pequeno, é esperado que seu uso cresça futuramente.

Segundo Aguiar, Vertematti (2004) "Desde 1971, quando foi produzido o primeiro geossintético brasileiro, nosso desenvolvimento no campo da pesquisa acadêmica, nas aplicações e mercados, na formação de profissionais, na organização de grupos e associações, na produção e desenvolvimento de novos produtos e na organização de eventos técnicos, tem superado as expectativas mais otimistas. Isso tudo apesar do contexto socioeconômico pouco estável".

Apresentando funções como drenagem, filtração, separação, reforço, proteção, impermeabilização e controle de erosão superficial, os geossintéticos são bastante utilizados em obras de terra, já que são materiais que também possuem alta durabilidade, porém não são soluções exclusivas da geotecnia, podendo ser utilizados em obras viárias e de saneamento e na resolução de problemas ambientais.

Alguns exemplos dessas obras, é a utilização de geotêxteis e/ou geogrelhas na construção de aterros sobre fundações de solos moles, melhorando a resistência à tração e de deformação do solo. Também podem ser utilizadas geomantas no controle de erosões em taludes, como mostra a Figura 1, geotêxteis e geogrelhas no reforço de base de rodovias pavimentadas, reduzindo a espessura da camada de agregados e aumentando a sua vida útil.

Figura 1 - Geomanta utilizada no controle de erosão em taludes.



Fonte: Rocha et al. 2015.

Devido sua versatilidade, os geossintéticos começaram a substituir os materiais convencionalmente utilizados nos projetos de engenharia civil, como concreto, aço, brita, areia e argila, diminuindo o impacto ambiental da exploração de novas jazidas desses materiais, além de diminuir a utilização de equipamentos de grande porte, uma vez que é de fácil de instalação.

Contudo, a quantidade limitada de normas, livros e legislações para os geossintéticos no Brasil e pouca mão de obra especializada na utilização desse produto se tornam desvantagens para sua competitividade no mercado.

Para diminuir esses problemas e motivar o interesse de profissionais nessa área, a Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS Brasil), fundada em 1997, desenvolveu cursos para a capacitação de profissionais. Para a garantia do controle de qualidade dos geossintéticos, elaborou-se o Programa Setorial da Qualidade desenvolvido pela Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos (ABINT), que busca garantir o bom desempenho de geotêxteis não tecidos no país e passando em todos os testes realizados, os produtos podem fazer parte dos materiais aceitos no setor da construção civil pelo Governo Federal no Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H).

### 2.1.1. Classificação

De acordo com as funções que os geossintéticos podem desempenhar, além de qual obra poderão ser usados, assim como sua própria estrutura física, que pode ser em formato tridimensional, em tira ou em mantas, os geossintéticos são classificados em um grupo de produtos relacionando suas propriedades e características principais.

Abaixo segue a relação dos geossintéticos mais utilizados e procurados no mercado:

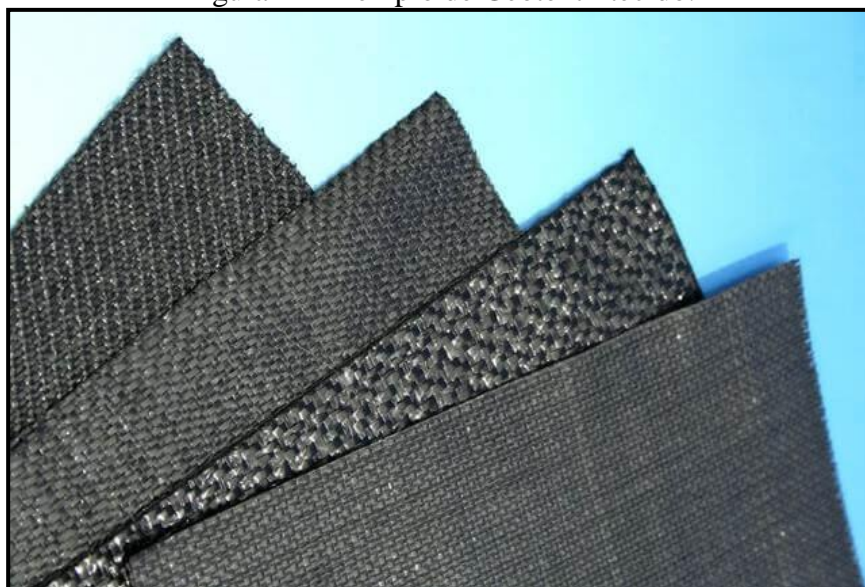
#### a) Geotêxteis

Os geotêxteis são produtos bidimensionais em formato de manta permeável, feitos com material têxtil, que desempenham funções de reforço do solo, controle de erosões, drenagem, filtração, proteção e separação de camadas de solos diferentes, impedindo sua mistura.

Segundo a NBR ISO 10318-1:2018 os geotêxteis são divididos em três categorias, em relação a disposição de suas fibras:

- **Geotêxtil tecido:** Suas fibras são dispostas de maneira ordenada, no sentido transversal ou longitudinal. Um exemplo desse tipo de geossintético é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Exemplo de Geotêxtil tecido.



Fonte: NCT Brasil, 2019.

São aplicados em obras de reforço de solo em taludes íngremes e aterros sobre solos moles, drenagem subterrânea, separação de camadas de solos com propriedades diferentes, revestimentos de reservatórios e no controle de erosão em encostas, canais e margens de rios.

- **Geotêxtil não-tecido:** Suas fibras são conectadas através de processos térmicos, químicos e mecânicos e são dispostas de maneira aleatória, sem apresentar nenhum tipo de direcionamento prioritário, um exemplo desse tipo de geossintético é mostrado na Figura 3. Seus produtos ainda são subdivididos em três categorias:
  - Geotêxtil não-tecido Agulhado;
  - Geotêxtil não-tecido Termoligado;
  - Geotêxtil não-tecido Resinado.

Figura 3 - Exemplo de Geotêxtil não-tecido.

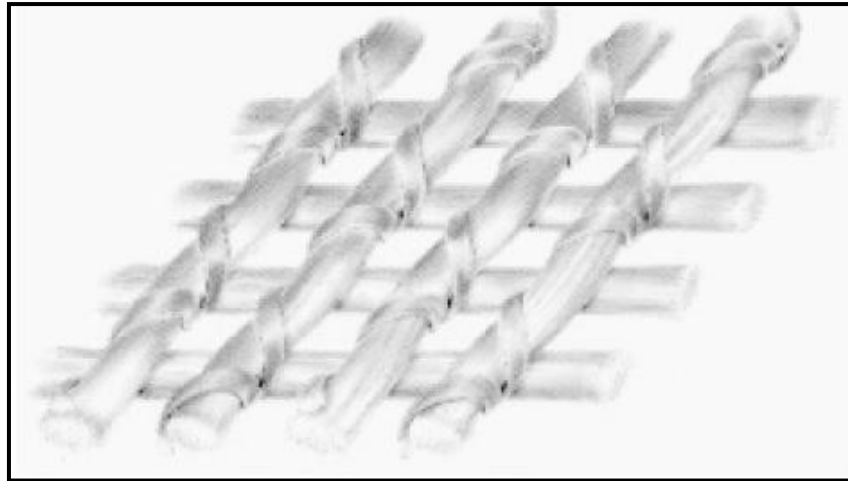


Fonte: Inovageo, 2016.

São utilizados em reforço de pavimentos e solos para a estabilidade de taludes íngremes, em sistemas drenagens no rebaixamento de lençóis freáticos e em sistemas de impermeabilização.

- **Geotêxtil tricotado (ou costurados):** Suas fibras são entrelaçadas, por tricotamento, umas as outras, explicando a origem da denominação do nome, um exemplo desse produto é mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Geotêxtil tricotado.



Fonte: ABINT, 2001.

## b) Geomembranas

As geomembranas são produtos que possuem em sua composição a presença de plastômeros, elastômeros, asfaltos e materiais termoplásticos, são bidimensionais e apresentam como característica principal sua baixa permeabilidade.

Devido a essa característica, são produtos que atuam no controle de fluxo e funcionam como mantas impermeabilizantes, que são utilizadas em barragens, rios, canais e também estão sendo largamente aplicadas na base dos aterros, impedindo que contaminantes, como o chorume, entrem em contato com o solo e lençóis freáticos, evitando sua poluição. Um exemplo de geomembrana é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Geomembrana.



Fonte: Inovageo, 2016.

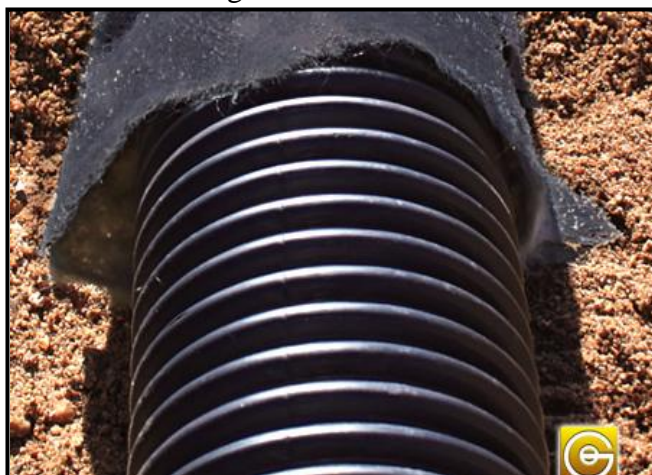


### c) Geotubos

Os geotubos ou tubos geotêxteis, mostrados na Figura 6, são produtos que, como o própria nomenclatura denomina, possuem formato tubular e são empregados nos sistemas drenantes, substituindo materiais convencionais, como os tubos de concreto perfurado e de cerâmica perfurada.

Podem ser empregados como drenos em obras viárias, ferroviária ou rodoviária, na coleta chorume em aterros sanitários, na drenagem em muros de arrimo e também podem servir como dissipadores de energia das ondas do mar na proteção costeira, impedindo sua erosão.

Figura 6 - Geotubo.



Fonte: Geofoco, 2015.

### d) Geogrelhas

Geogrelhas foram denominadas dessa forma justamente por possuírem o formato de grelhas, como pode ser visto na Figura 7, sendo formadas por elementos transversais e longitudinais que apresentam abertura entre si de no máximo 10 cm. Sua fabricação pode ser tecida, soldada ou extrudada, e podem ser consideradas bidirecionais se tiverem resistência a tração nas duas direções ortogonais e unidirecional se tiverem resistência em apenas uma das direções principais.

Figura 7 - Geogrelha.



Fonte: Huesker, 2017.

Em solos que possuem alta agressividade química, as geogrelhas resistem melhor do que os geotêxteis no reforço desse tipo de solo. Segundo Vertematti (2004), "Em ambientes quimicamente adversos, as geogrelhas são menos sensíveis do que os geotêxteis. Isto se deve à maior espessura dos seus elementos, o que reduz a superfície de exposição, ou ao revestimento de proteção que alguns produtos possuem".

#### **e) Geocomposto argiloso (GCL)**

São produtos compostos geralmente por duas camadas de geotêxteis que são agulhados por meio de uma camada intermediária de argila bentonita, mas podem também ser formados por uma camada de argila bentonita e uma camada de geotêxtil ou geomembrana, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - GCL.



Fonte: Ambitela, 2017.

Devido a sua estrutura apresentar como o componente principal esse tipo de argila, o material hidratado atua como barreira impermeabilizante, impedindo a passagem de gases ou líquidos, podendo ser aplicado juntamente a geomembrana em obras de aterro sanitário.

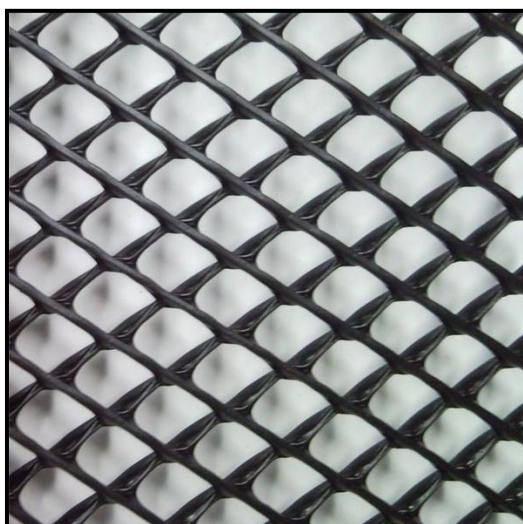
Segundo Benvenuto, Vilar e Bueno (2004), "Barreiras impermeabilizantes são utilizadas na engenharia para as mais variadas finalidades, como por exemplo, impedir a migração de umidade e de vapores, reservar água e diferentes efluentes, e conter rejeitos das mais variadas origens, como o lixo urbano e os resíduos industriais'.

Além disso, podem ser utilizados como base em obras de pavimentação, na recuperação de áreas contaminadas e na proteção de reservatórios.

#### **f) Georredes**

Segundo Aguiar e Vertematti (2004), "...as georredes foram desenvolvidas especialmente para atuar como núcleos drenantes na condução de fluidos e, portanto, são relativamente pouco compressíveis". Sua estrutura se assemelha a de uma grelha e seus filamentos são dispostos uns sobre os outros de maneira ortogonal, como apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Georrede



Fonte: Geofoco, 2016.

São materiais com elevada porosidade e são aplicados em geocompostos de drenagem como meio drenante juntamente com os geotêxteis que desempenham a função de filtro, como exemplifica a Figura 10.

Figura 10 - Geocomposto de drenagem.



Fonte: MantasBrasil, 2016.

Podem drenar e conduzir altas vazões de fluídos e mesmo que inicialmente tenham sido projetados apenas para desempenhar a função de drenagem, também podem ser aplicados na proteção de equipamentos e de diferentes geossintéticos.

### g) Geocélulas

Segundo a Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS Brasil), "Geocélulas são arranjos tridimensionais relativamente espessos, constituídos por tiras poliméricas. As tiras são soldadas para formar células interconectadas que são preenchidas com solo e, às vezes, concreto". Sua estrutura pode ser analisada através da Figura 11.

Figura 11 - Geocélula



Fonte: Inovageo, 2016.

Sua estrutura é tridimensional e suas funções de proteção, reforço e controle de erosão, permitem que esse produto seja aplicado em obras de proteção de talude e na estabilização de aterros sobre solo mole.

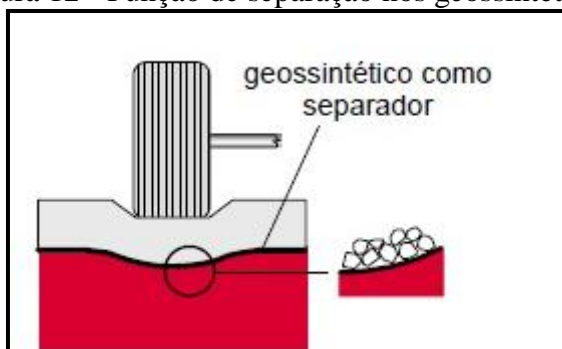
#### 2.1.2. FUNÇÕES

Os geossintéticos podem desempenhas inúmeras funções nas obras e projetos em que são aplicados. Segundo a NBR ISO 10318-2:2018, entre suas principais funções, pode-se fazer a seguinte relação:

- **Separação**

É a função de evitar que dois matérias diferentes adjacentes se misturem ou entrem em contato um com o outro, como mostra a Figura 12, preservando as características e propriedades das camadas separadas.

Figura 12 - Função de separação nos geossintéticos.



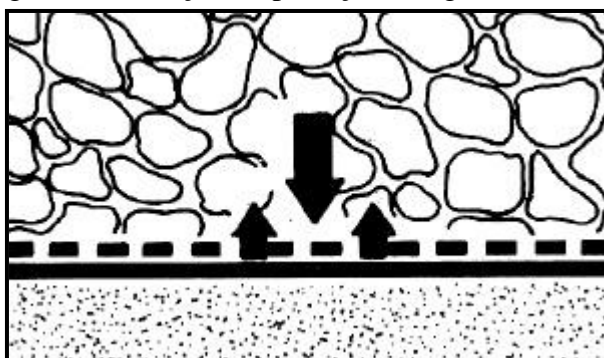
Fonte: IGS (Sociedade Internacional de Geossintéticos), 2013.

Os geossintéticos que possuem essa função podem ser usados em aterros sobre solos moles, separando o solo natural do solo de aterro, e em obras viárias, na separação do solo de subleito da camada dos agregados utilizados na pavimentação.

- **Proteção**

Previne, evita e limita danos que possam ocorrer em algum material ou na superfícies de solos, um exemplo dessa função pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - Função de proteção nos geossintéticos.



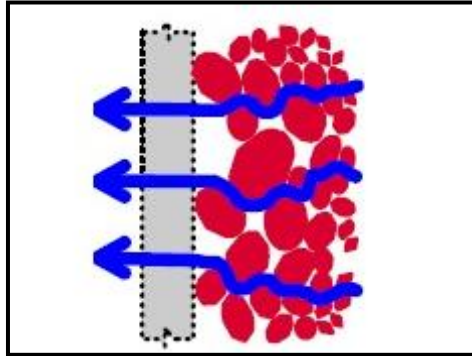
Fonte: ABINT, 2001.

Geossintéticos que possuem essa função são utilizados na proteção no controle de erosões em canais e taludes, e também podem ser utilizados para proteção de outro geossintético que tenha sido implantado em uma obra, como é o caso da manta de geotêxtil que pode ser colocada sobre a geomembrana para protegê-la de rasgos ou outros danos provocados por tensões localizadas.

- **Filtração**

Permite a passagem do fluido em movimento pelo o geossintético, retendo o solo e outros tipos de partículas sólidas que estejam presentes no fluido, essa função é representada através da Figura 14.

Figura 14 - Função de filtração nos geossintéticos.



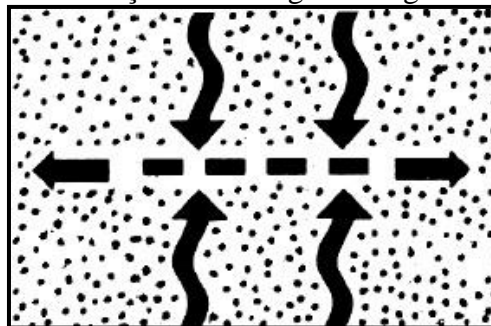
Fonte: IGS (Sociedade Internacional de Geossintéticos), 2013.

Essa função é requerida nos geossintéticos que atuam como filtro em obras de contenção e estabilidade de taludes.

- **Drenagem**

É a condução e a coleta de fluídos, como águas subterrâneas e pluviais, pelo plano do geossintético, como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Função de drenagem nos geossintéticos.



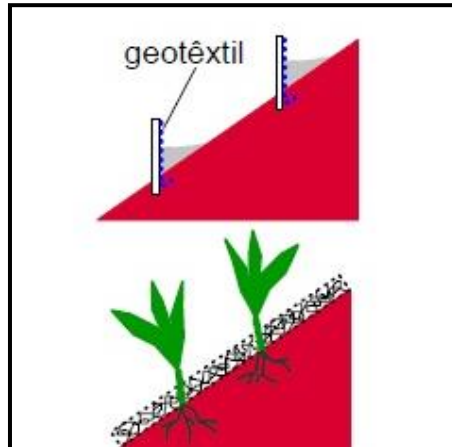
Fonte: ABINT, 2001.

Geossintéticos que possuem essa função são utilizados no sistema de drenagem de contaminantes em aterros e em obras de saneamento.

- **Controle de erosão**

O geossintético limita e previne que ocorra o movimento do solo e outras partículas, evitando a erosão da superfície e o acúmulo de entulho de solo nas encostas, quando há escoamento de algum fluido, essa função é representada na Figura 16. Também previnem o assoreamento de rios.

Figura 16 - Função de controle de erosão nos geossintéticos.



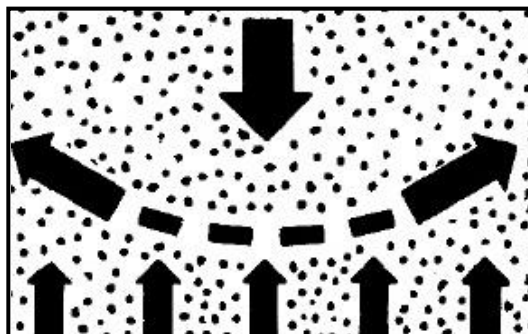
Fonte: IGS (Sociedade Internacional de Geossintéticos), 2013.

Os geossintéticos que desempenhem essa função normalmente são aplicados no controle de erosão em taludes íngremes, na proteção de margens de rios e outros cursos d'água, em barreiras de contenção de sedimentos e no controle de erosão costeira.

- **Reforço**

É a função de melhorar as propriedades mecânicas de algum material de construção ou de solos em obras geotécnicas. Melhora a capacidade de resistência a tração e limita o surgimento de deformações maiores, sua função é representada através da Figura 17.

Figura 17 - Função de reforço nos geossintéticos.



Fonte: ABINT, 2001.

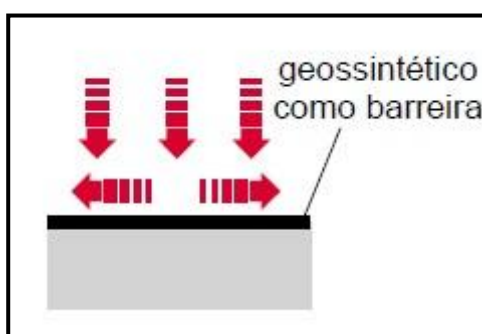


Os geossintéticos que possuem essa função são aplicados em obras de reforço na estabilização de aterro sobre solo mole, tendo a capacidade de absorver as tensões de cisalhamento e distribuir a carga sobre a superfície.

- **Impermeabilização**

Para desempenhar essa função, o geossintético atua como uma barreira de fluxo, bloqueando, limitando e desviando a migração de fluídos, como pode ser ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Função de impermeabilização nos geossintéticos.



Fonte: IGS (Sociedade Internacional de Geossintéticos), 2013.

Essa função é necessária quando os geossintéticos são aplicados na contenção de contaminantes em aterros sanitários e em lagoas de decantação de barragem de rejeitos de mineração.

Depois de já ter listado os principais geossintéticos e suas funções, é possível relacioná-los através da Tabela 1:

Tabela 1 - Funções dos principais geossintéticos.

<b>GEOSSINTÉTICOS</b>	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Impermeabilização
Geotêxtil	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Geomembrana	✓	-	-	-	-	-	✓
Geotubo	-	-	-	✓	-	-	-
Geogrelha	✓	-	-	-	-	✓	-
GCL	-	-	-	-	-	-	✓
Georrede	-	✓	-	✓	-	-	-
Geocélula	-	✓	-	-	✓	✓	-

(Fonte: tabela adaptada do Manual Brasileiro de Geossintéticos/VERTEMATTI, 2004).

### 2.1.3. PROPRIEDADES

Devido ao alto controle de qualidade na produção dos geossintéticos, para cada obra os geossintéticos devem atender as características e ter as propriedades hidráulicas, físicas, mecânicas e de durabilidade requeridas na especificação dos projetos.

Segundo Bueno e Vilar (2004), "A seleção dos geossintéticos para atender às exigências da obra deve se basear em propriedades de engenharia que traduzam as condições técnicas a que serão submetidos quando em serviço".

As principais propriedades dos geossintéticos em geral requeridas nas especificações e orientações de cada obra são:

- **Física**

A importância dessa propriedade está diretamente ligada ao fato de poder identificar de forma rápida se o produto está de acordo com o que foi especificado para o projeto em que será aplicado. As principais características físicas são:

- Gramatura
- Ponto de amolecimento
- Espessura
- Porosidade
- Retenção de Asfalto

- **Mecânica**

É importante analisar a resistência dos geossintéticos às tensões ao qual será submetido no início, durante e no final de uma obra, principalmente quando se trata de obras de remediação de impactos ambientais. É preciso analisar as seguintes características mecânicas:

- Resistência e Alongamento à Tração
- Módulo de Rigidez
- Resistência à Propagação do Rasgo
- Resistência ao Puncionamento
- Resistência ao Estouro

- **Hidráulica**

Nos casos em que os geossintéticos desempenham, por exemplo, a função de filtração em obras de saneamento e geotécnicas, é necessário conhecer parâmetros como sua permeabilidade para determinar a sua correta aplicação no sistema em que será utilizado.

As características hidráulicas que precisam ser analisadas são:

- Permeabilidade Normal
- Permissividade
- Permeabilidade Planar
- Transmissividade
- Abertura de Filtração

- **Durabilidade**

É de grande importância analisar como os geossintéticos irão reagir a exposição da luz do sol, aos agentes químicos e biológicos ao qual serão submetidos, além de perfurações que podem ocorrer durante a instalação ou por punção de materiais dos locais onde foram aplicados. Devido a isso é necessário o estudo das seguintes características de durabilidade desses produtos para uma análise do tempo de vida útil que terão no projeto:

- Fluência
- Resistência a Agentes Químicos
- Resistência a Agentes Biológicos
- Resistência aos Raios U.V.
- Resistência à Abrasão

## **2.2. GEOTECNIA AMBIENTAL**

As atividades relacionadas a Engenharia civil, como construção de barragens, de rodovias, ferrovias, aeroportos, shoppings, hidrelétricas e em geral construção de grandes empreendimentos, geram grandes impactos ao meio ambiente e necessitam de um conhecimento aprofundado na área de geotecnia para que essas obras futuramente não virem desastres ambientais.

A geotecnia é a parte da engenharia civil ligada ao estudo dos solos, de suas propriedades, ensaios, características e no comportamento do relevo nos projetos de grandes obras. É uma área que envolve a Geologia, Mecânica dos Solos e das Rochas.

Com o significativo aumento da urbanização, industrialização e o advento de novas tecnologias, o número de problemas relacionados a contaminações de solos, águas subterrâneas, rios e outros cursos d'água cresceu significativamente, exigindo da geotecnia soluções para esses problemas ambientais.

Contudo, a geotecnia não tinha todas as soluções quando o assunto se tratava na resolução de problemas geotécnicos no meio ambiente, estava sendo necessário a criação de uma nova área, auxiliada pelo conhecimentos geotécnicos, que avaliasse, prevenisse e solucionasse os impactos ambientais provocados pela ação do ser humano na natureza, surgindo dessa forma, a geotecnia ambiental.

Segundo Miguel e Pinese (2004), "A Geotecnia Ambiental, envolvendo conhecimentos das Mecânicas dos Solos e das Rochas e da Geologia de Engenharia, é uma importante e indispensável ferramenta para a busca do equilíbrio ambiental".

A geotecnia ambiental atua, por exemplo, na prevenção e resolução de contaminantes nos solos, em rios, água subterrâneas e outros cursos de água, além de monitorar e avaliar possíveis contaminações em áreas de aterros sanitários e estudar e buscar soluções para renaturalização de rios contaminados por resíduos de mineração por rompimento de barragens.

### 3. METODOLOGIA

O trabalho apresenta metodologia no embasamento teórico, através da consulta de livros, artigos, dissertações e trabalhos científicos presentes na literatura do assunto tratado. Também foram utilizadas informações adquiridas em visitas realizadas ao Aterro Sanitário de João Pessoa e na consulta de informações sobre dados oficiais de áreas contaminadas da CETESB e INEA, de leis do CONAMA, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, dentre outros.

Com a consulta de todos os materiais citados procurou estudar e descrever as contaminações que ocorrem no solo e nos cursos de água subterrâneos e superficiais por aterros sanitários mal projetados, postos de combustíveis e no rompimento de barragens de rejeitos, objetivando avaliar a utilização de geossintéticos na solução e prevenção desses problemas.

Nos aterros sanitários mal elaborados, teve-se o estudo de caso do Aterro de Marituba, no município de Marituba, no estado do Pará. Verificou-se os principais problemas e foram apontadas as principais causas de contaminação, assim como alguns dos seus contaminantes.

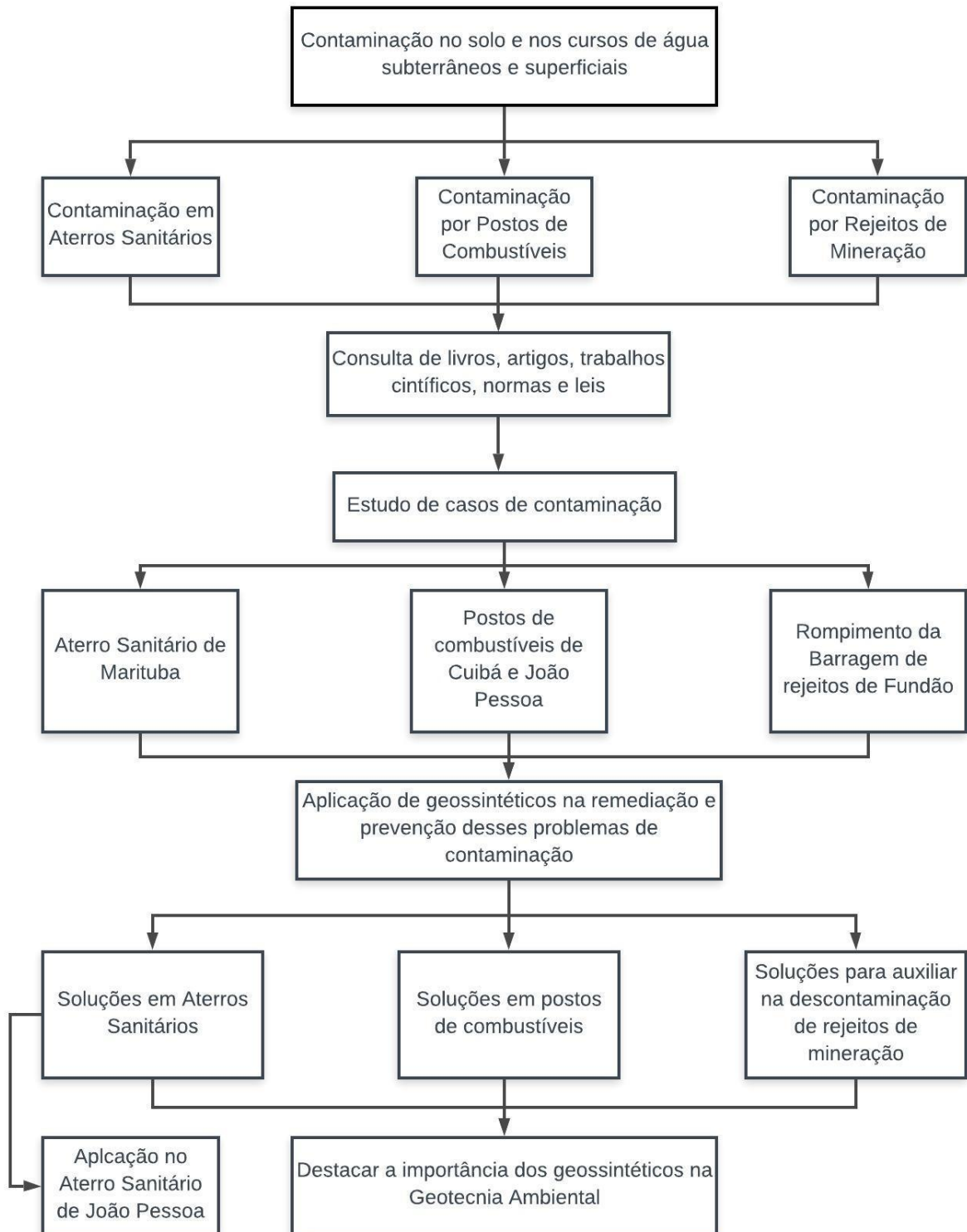
No caso das contaminações por postos de combustíveis, analisou-se os estudos de casos dos postos de Cuiabá e dos postos de João Pessoa, apontando os principais contaminantes e causas.

Em contaminações por rejeitos de mineração fez-se o estudo de caso do rompimento da Barragem de Fundão, no município de Mariana, onde é feita uma análise do desastre ambiental, social e econômico. São analisadas as causas do rompimentos, assim como os contaminantes presentes na lama de rejeitos.

De acordo com os casos estudados de contaminação, a proposta foi identificar soluções em geossintéticos para a prevenção e remediação dos impactos ambientais causados pelos tipos de contaminação destacadas nesse trabalho, ressaltando a importância da utilização dos geossintéticos em problemas que a geotecnia ambiental busca resolver.

É apresentado na Figura 19 um fluxograma das etapas do desenvolvimento deste trabalho.

Figura 19 - Fluxograma das etapas do desenvolvimento deste trabalho.

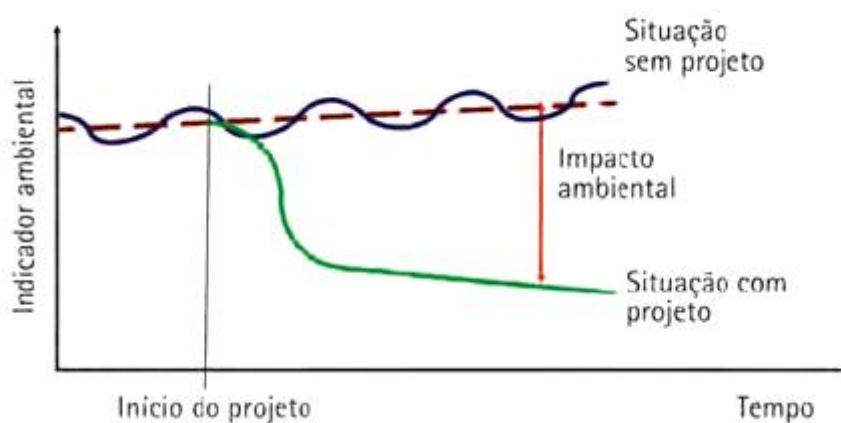


Fonte: Autora.

#### 4. CONTAMINAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

A ação antrópica na contaminação de rios, lagos, oceanos, água subterrâneas e dos solos geram inúmeros impactos sobre o ambiente, não só prejudicando a natureza e o funcionamento natural dos seus processos ambientais, como representado na Figura 20, mas também a economia e a sociedade de cada território, colocando em perigo os recursos naturais ainda disponíveis e ameaçando o futuro das próximas gerações.

Figura 20 - Representação do conceito de impacto ambiental



Fonte: SÁNCHEZ, 2013.

De acordo com a Resolução nº 001, artigo 1º do CONAMA (1986): "Considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população. II- as atividades sociais e econômicas; III - a biota, IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.".

Alguns dos principais meios impactados pelas áreas contaminadas são:

- Solo Superficial
- Subsolo
- Águas superficiais
- Águas subterrâneas
- Ar
- Biota

São listados abaixo os principais contaminantes dos meios impactados das áreas poluídas:

- Metais
- Combustíveis
- Metano
- Solventes halogenados
- Fenóis

Segunda dados da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), em dezembro de 2010 foi registrado um número total de 3512 áreas contaminadas no estado de São Paulo, na última pesquisa feita em dezembro 2018, esse número passou a ser de 4657 áreas contaminadas, sem contar com as áreas já reabilitadas para uso declarado. Isso significa que em um intervalo de oito anos houve um crescimento de aproximadamente 32% no número de área poluídas.

No Rio de Janeiro em 2014, segundo dados do Inea (Instituto Estadual do Ambiente), foram cadastradas 270 áreas contaminadas e reabilitadas, um ano depois, em 2015, houve um crescimento de 21% desse número, totalizando 328 áreas contaminadas.

Devido ao crescimento constante da poluição no território brasileiro, se fez necessário um estudo de algumas causas de contaminação: a contaminação do solo e de águas subterrâneas por lixiviados em aterros de resíduos, por combustível e as contaminação hídrica causada pelo rompimento de barragens de rejeitos.

#### **4.1. CONTAMINAÇÃO EM ATERRO SANITÁRIOS**

Em 2010, a Lei Federal nº 12.305/2010 estabeleceu no Brasil através da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que os municípios tinham até o ano de 2014 para encerrar os lixões e substituí-los por aterros sanitários para a correta destinação final do resíduos sólidos.

Os aterros sanitários, diferentemente dos lixões a céu aberto e aterros controlados, dispõe de sistema de impermeabilização que evita a contaminação do solo, sistemas de drenagem e de tratamento de lixiviados, também conhecido como chorume e o controle de gases gerados pela decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos.

Apesar da instituição dessa política, o cenário dos lixões e aterros controlados ainda é uma realidade no Brasil, como mostra a Tabela 2.



Tabela 2 - Destino final dos resíduos sólidos em 23 anos.

Fonte/Ano	Destino final dos resíduos sólidos, por unidade de destino dos resíduos (%)		
	Lixões a céu aberto	Aterro Controlado	Aterro Sanitário
IBGE, 1989	88,2	9,6	1,1
IBGE, 2000	72,3	22,3	17,3
IBGE, 2008	50,8	22,5	27,7
ABRELPE, 2011	41,94		58,06
ABRELPE, 2012	42,02		57,98

Fonte: Izzo, Nagalli, 2013.

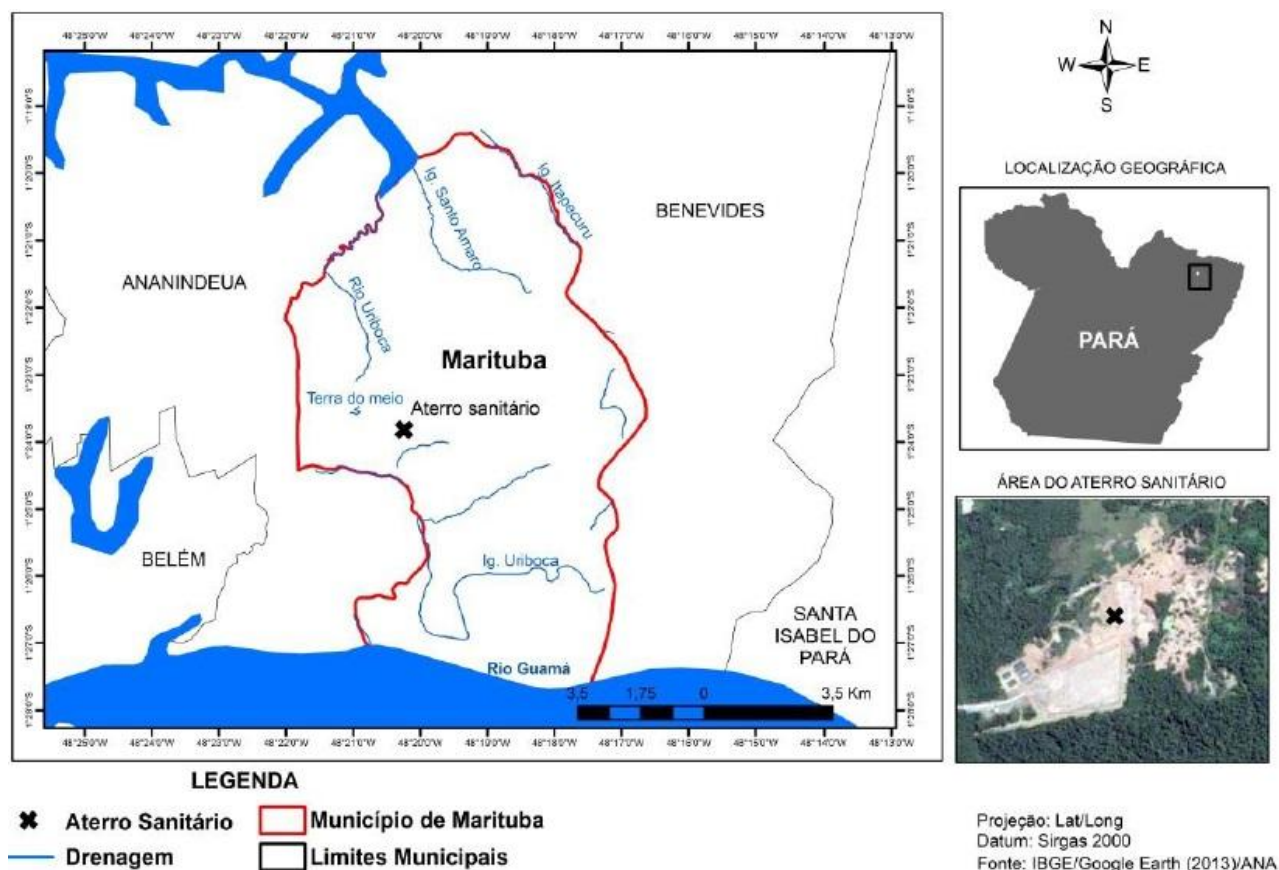
E mesmo nos locais onde os aterros sanitários foram instalados, muitos deles não obedecem as normas vigentes da Política Nacional de Resíduos e têm dificuldades em se adaptar aos critérios técnicos exigidos para a elaboração dessa obra. Como exemplo dessa problemática, pode-se citar o caso do Aterro de Marituba:

#### 4.1.1. Estudo de caso do Aterro de Marituba/PA

Durante mais de 20 anos a Região Metropolitana de Belém, localizada no estado do Pará e formada pelos municípios de Belém, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Ananindeua, destinava todos os resíduos para o Aterro Sanitário do Aurá, que apesar de ter essa denominação, funcionava como um verdadeiro lixão a céu aberto, sendo conhecido pela população como o Lixão do Aurá.

Devido a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Lixão do Aurá foi encerrado em julho de 2015, e nesse mesmo ano o Aterro Sanitário de Marituba, localizado no município de Marituba, onde sua localização pode ser vista na Figura 21, deu início a suas atividades para o atendimento da Região Metropolitana de Belém.

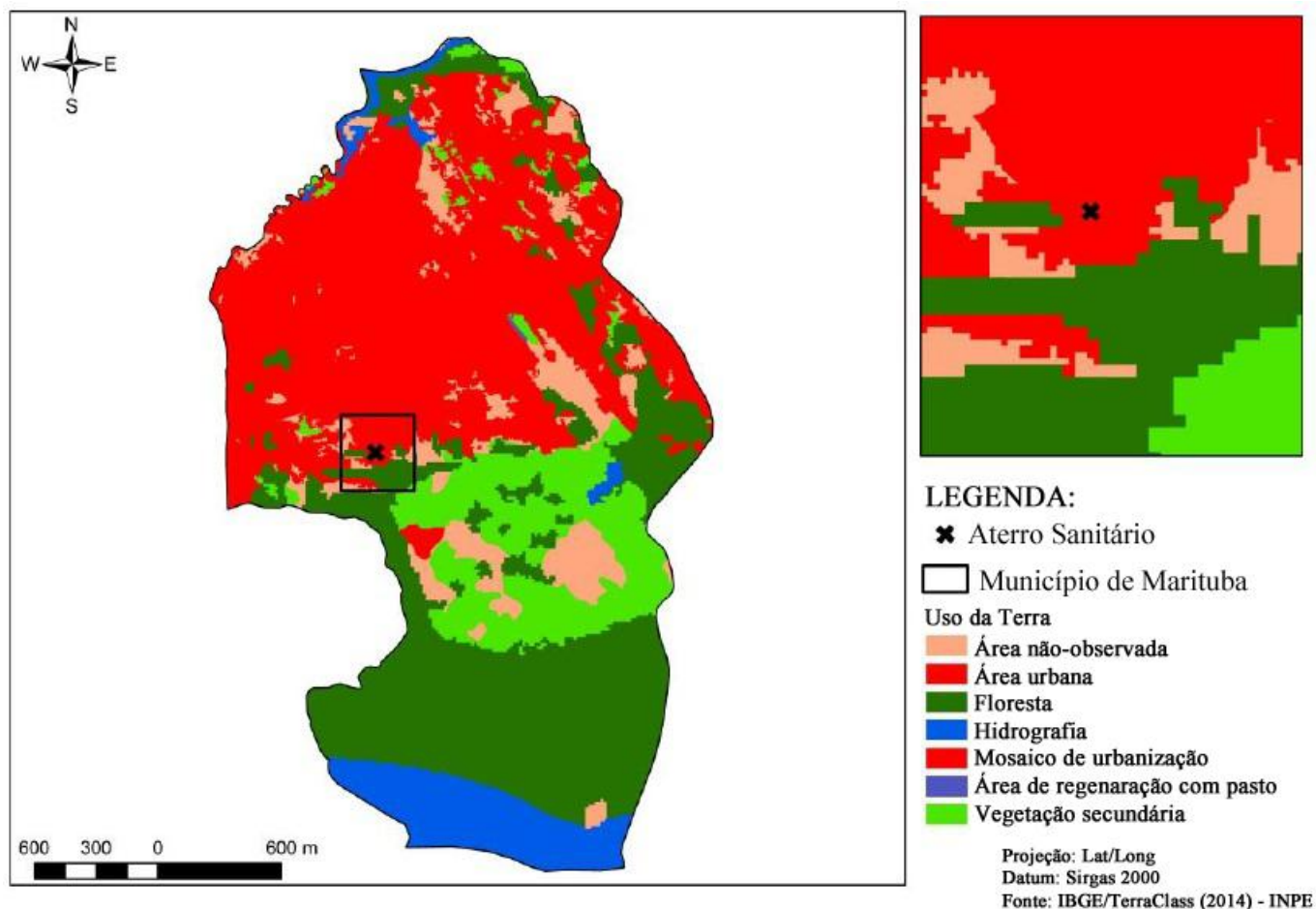
Figura 21 - Localização do Aterro Sanitário de Marituba/PA.



Fonte: Pontes et al, 2017.

Segundo Junior e Corrêa (2017) desde o início o empreendimento não obedecia a algumas normas técnicas do PNRS em relação ao distanciamento correto do solo, lençóis freáticos, de reservas naturais e o fato de estar localizado em uma área urbana como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Mapa de localização onde o Aterro de Marituba/PA se encontra na área urbana.



Fonte: Pontes et al, 2017.

Diante disso, a população do município fez inúmeras denúncias em relação a inadequação técnica da forma em que o aterro era operado, pois devido a essas irregularidades, impactos ambientais como a contaminação do solo, ar e da água atingiram a região e provocaram o surgimento de doenças na população local, além de ter afetado significativamente a economia do município.

Em virtude dos problemas ambientais e sociais, além da falta de acordo sobre o reajuste na remuneração de seus serviços com as Prefeituras da Região Metropolitana de Belém, a Guamá Resíduos Sólidos, empresa responsável pelo aterro sanitário do município, que o empreendimento tem seu fechamento previsto para maio de 2019.

- **Causas e contaminantes**

O principal contaminante dos solos e dos cursos de água nesse caso, foi o chorume, que pode ter em sua composição a presença de metais pesados, como chumbo, cobre e mercúrio, e outros componentes tóxicos e de grande potencial de poluição.

A Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMÁS), através das falhas já constatadas no Aterro de Marituba, determinou em 2017 um conjunto de 20 medidas emergenciais a serem feitas, onde apontam as causas de todos os malefícios ambientais, sociais e econômicos que a má instalação do empreendimento, que recebe diariamente aproximadamente duas mil toneladas de resíduos, provocou.

Entre as principais causas apontadas:

- Sistema de drenagem superficial pluvial defeituosa, o que impedia a correta retirada das águas da chuva e aumentava a geração do chorume e sua infiltração no terreno;
- Sistema de tratamento do chorume defeituoso, onde não se tinha a cobertura das lagoas onde o lixiviado era armazenado, estando descoberta durante um longo tempo. Esse problema no sistema de tratamento desse contaminante provocou a poluição do solo de algumas áreas, além da poluição de águas subterrâneas e rios próximos utilizados pela população local, o que justifica a proliferação de doenças e a propagação de um forte odor no ar, que exalava até as comunidades que se situavam próximas ao aterro;
- Falta de coberturas definitivas dos resíduos sólidos que ficavam expostos a céu aberto;
- A falta de equipamentos que aproveitassem o biogás, como metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) gerados no aterro através da decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos;

## **4.2. CONTAMINAÇÃO POR COMBUSTÍVEL**

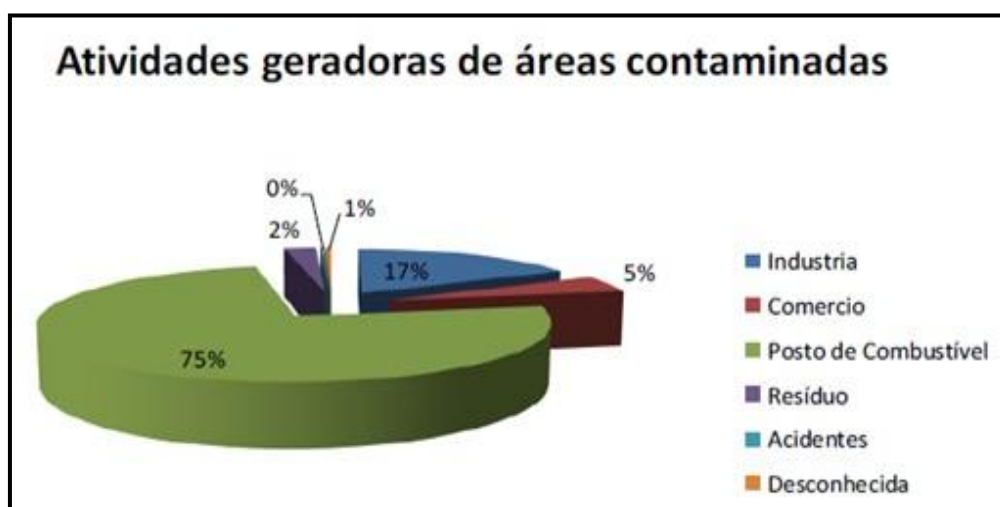
A contaminação por combustível é caracterizada pela percolação de derivados do petróleo no solo, muitas vezes alcançando os lençóis freáticos, e do ar, provocando a poluição dos mesmos. Segundo Lima et al (2017), esse impacto ocorre na maioria das vezes por causa de vazamentos do produto em postos de combustíveis, quando ficam armazenados em tanques subterrâneos.

Isto ocorre principalmente pelos tanques de armazenamento serem antigos e apresentarem danos em sua estrutura, como furos e fissuras, que podem até mesmo provocar a ruptura do tanque de armazenamento devido a pouca ou nenhuma manutenção que recebem ao longo dos anos.

Além disso, Lima et al (2017), também cita que acidentes ocasionados durante o transporte do combustível em caminhões tanque é uma das razões principais que provoca o vazamento do produto e a consequente contaminação do solo e de outros meios.

Segunda os dados da CETESB no ano de 2017 o estado de São Paulo tinha um número total de 5942 áreas contaminadas e reabilitadas, onde apenas 836 dessas áreas eram vistoriadas pela Agência CETESB. Em cima desses dados, Alves et al (2018) representou graficamente, através da Figura 22, a porcentagem das atividades geradoras das áreas contaminadas vistoriadas pela CETESB, mostrado na Figura 23, onde chegou-se a conclusão que 75% dessas áreas eram contaminadas por postos de combustíveis.

Figura 23 - Áreas contaminadas e reabilitadas por atividade, gerenciadas pela CETESB no ano de 2017 em São Paulo.



Fonte: Alves et al, 2018.

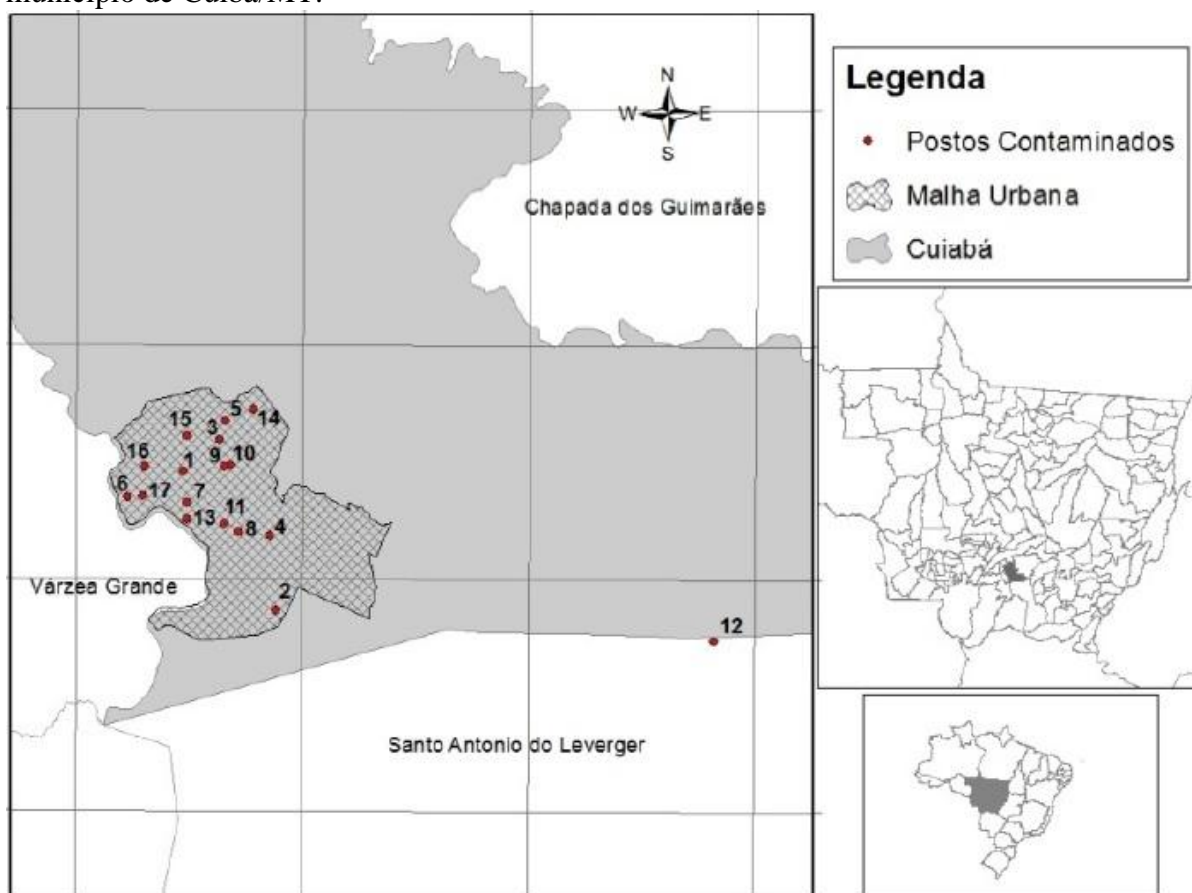
Como exemplo dessa problemática, pode-se citar o estudo feito por Lima et al (2017) na áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, no estado do Mato Grosso. Também será apresentado os estudos realizados por Fonseca (2018) no mapeamento de possíveis áreas contaminadas por postos de combustíveis em João Pessoa, no estado da Paraíba.

#### 4.2.1. Estudo de caso de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá/MT

Segundo os estudos realizados por Lima et al (2017) no município de Cuiabá, no estado de Mato Grosso, de 136 postos investigados no ano de 2014 por meio de pesquisas dos processos de licenciamento ambiental presentes na SEMA/MT (Secretaria de Estado de Meio

Ambiente) de cada local, 17 postos de combustíveis, com localização representada na Figura 24, apresentaram algum problema ambiental em relação a contaminação do solo e da água subterrânea.

Figura 24 - Localização dos postos de combustíveis que apresentaram contaminações no município de Cuiabá/MT.



Fonte: Lima et al, 2017.

Como pode ser visto pela Figura 24, a maioria dos postos, dezesseis postos no total, que apresentaram contaminação em águas subterrâneas se encontram na área urbana, podendo prejudicar a população local, uma vez que em algumas zonas do município, quando acontece interrupções no abastecimento de água, os habitantes controem pequenos poços para o recolhimento de águas subterrâneas.

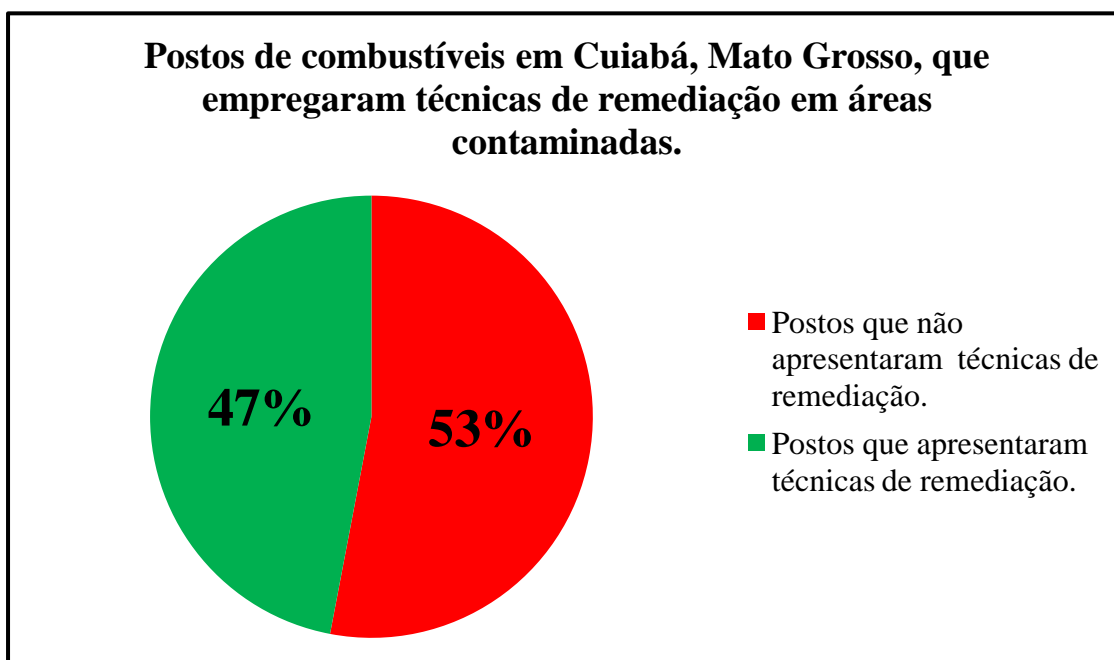
No total, 76% desses dezessete postos apresentaram pluma de contaminação nas água subterrâneas e em quatro postos pode-se analisa o perigo de contaminação do solo por emanações gasosas de compostos orgânicos voláteis (VOC).

- **Causas e contaminantes**

As principais causas apontadas no estudo de Lima et al (2017) nos postos de combustíveis que apresentaram contaminação nas águas subterrâneas e solos, são principalmente devido a vazamentos no sistema de armazenamento subterrâneo e no abastecimento dos caminhões transportadores e dos tanques de armazenamento.

Os principais contaminantes que foram achados nas águas e solos contaminados pelos postos foram o BTEX, Benzeno e Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, todos constituintes dos combustíveis derivados do petróleo. E dentre os postos que apresentaram algum tipo de contaminação, 53% (9 postos) deles não apresentaram qualquer tipo de procedimento para solucionar o problema, como representado através do gráfico na Figura 25.

Figura 25 - Gráfico da relação de postos de combustíveis em Cuiabá/MT que apresentaram técnicas de remediação nas áreas contaminadas por suas atividades.



Fonte: Autora.

#### **4.2.2. Estudo de caso de possíveis áreas contaminadas por postos de combustíveis em João Pessoa/PB**

Em estudos realizados por Fonseca (2018), através da utilização de geotecnologias disponíveis no estudo de áreas voltadas à conservação do meio ambiente por meio de geoprocessamento, pode-se obter mapas da cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba, onde

são indicados áreas com potencial contaminação por postos de distribuição de combustíveis presentes na cidade.

No trabalho realizado por Fonseca (2018), foram estudados 115 postos autorizados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP) na cidade. sendo que 111 deles estavam ativos e 4 já haviam sido desativados. O objetivo era averiguar o número de postos que respeitavam à legislação que determina as distâncias mínimas entre postos de combustíveis e corpos hídricos, beira-mar, APP's (Áreas de Preservação Permanente), poços de águas subterrâneas utilizadas para abastecimento público e Mata do Buraquinho.

De acordo com a recomendação da NBR 13.786: 2005 que determina que os postos devem ter uma distância de raio mínimo de 100 m dos poços de águas subterrâneas utilizados para abastecimento público das cidades, 3 dos postos desobedeceram a essa recomendação, representando um percentual de 2,61% dos postos estudados.

Pode-se observar que dos 30 poços de água utilizados para abastecimento público da cidade, 3 estão a uma distância menor de 100 m dos postos, o que significa que 10% dos poços de água podem apresentar algum tipo de contaminação, podendo não só gerar impactos ao meio ambiente, como também para saúde da população.

Já de acordo com as exigências da Lei nº 9.060, de 24 de fevereiro de 2000, de João Pessoa, que determina as distâncias mínimas entre postos e escolas, corpos hídricos, áreas de preservação permanente e beira-mar, pode-se tirar as seguintes conclusões:

- A distância mínima de 10 m entre escolas e postos foi respeitada por todos (100%) os postos estudados;
- A distância mínima de 200 m dos postos entre si foi desobedecida por 19 postos, representando uma porcentagem de 16,52% do total estudado;
- A distância de um raio mínimo de 500 m entre corpos hídricos e APP's foi desobedecida por 45 postos, representando uma porcentagem de 39, 13% do total de postos investigados. De acordo com a estimativa de Fonseca (2018), considerando que as APP's tem uma faixa de no mínimo de 30 metros para os cursos d'água e que os cursos d'água tinham uma seção transversal de no mínimo 10 m, pode-se calcular uma área de APP's de aproximadamente 11.890.119 m<sup>2</sup> em torno dos cursos de água, onde cerca de 1.170.873 m<sup>2</sup> dessa área está sujeita a algum impacto ambiental devido a distância mínima de 500 m não ser respeitada por muitos postos da cidade. O que representa um total de aproximadamente 10% de Áreas de Preservação Permanente com risco de contaminação por combustível.

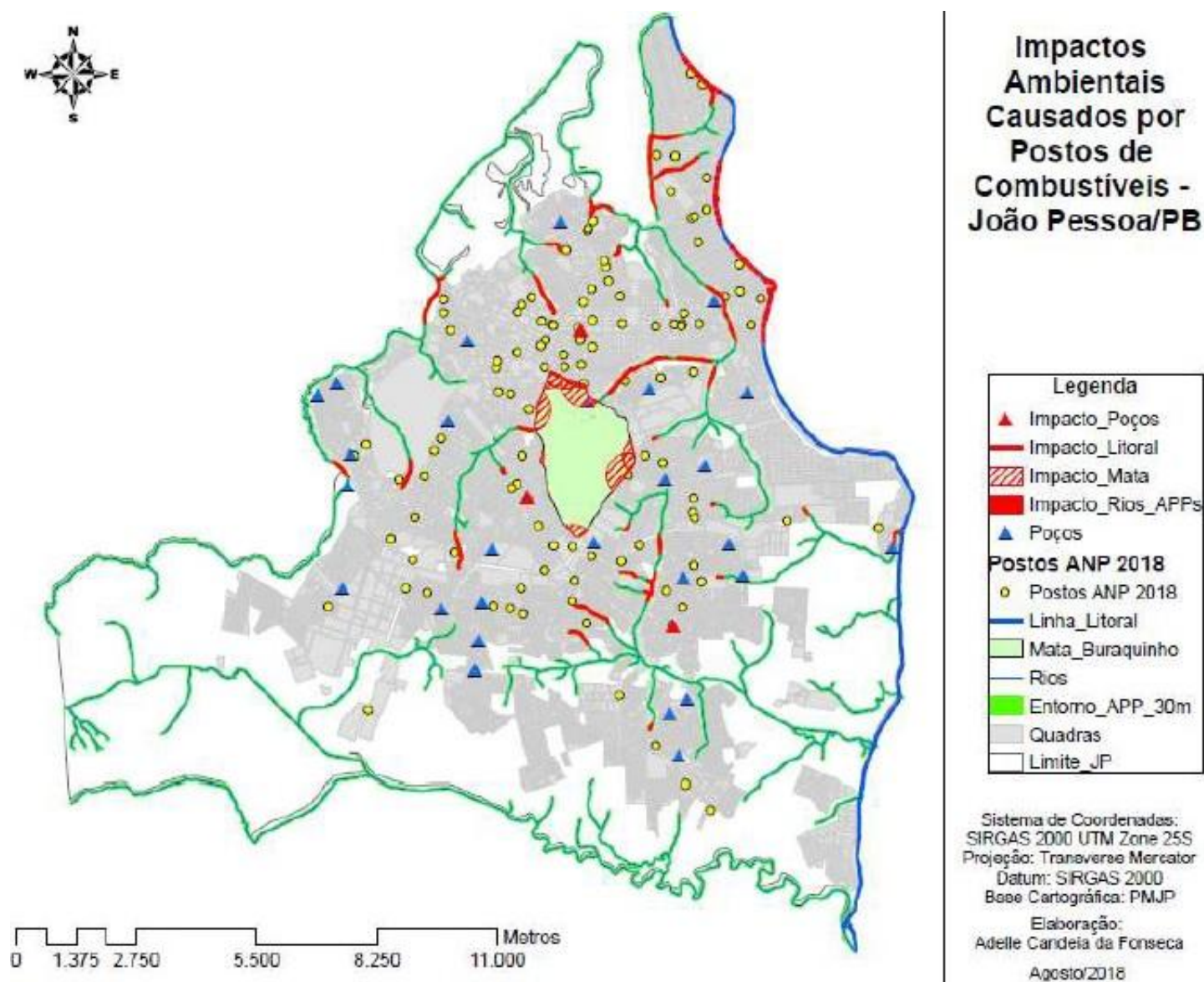


- A distância de um raio mínimo de 500 m entre a faixa litorânea (beira-mar) e os postos foi desobedecida por 7 postos, representando uma porcentagem de 6,09% do total de postos investigados. Com uma extensão de 25.376 m, aproximadamente 5.681 metros da faixa litorânea está a uma distância inferior de 500 m dos postos de combustíveis que desobedecem essa exigência, o que significa que 22,39% dessa área está sujeita a impactos ambientais.
- Devido a Mata do Buraquinho ser uma importante área de conservação brasileira foi considerado que para não haver possíveis contaminações deveria haver uma distância mínima de 500 m dos postos em relação a essa área, mesmo não estando presente na Lei nº 9.060, de 24 de fevereiro de 2000, de João Pessoa, porém, segundo Fonseca (2018), pode-se observar que 10 postos não respeitavam essa distância mínima, correspondendo a 8,69% do total de postos investigados.

Com cerca de 5.322.619 m<sup>2</sup> de área, aproximadamente 1.045.899 m<sup>2</sup> da área da Mata do Buraquinho está sujeita a algum tipo de impacto ambiental, devido a distância mínima de 500 m dos postos de combustíveis não estar sendo respeitadas por alguns deles, o que representa que 19,65% de área da Mata do Buraquinho está com risco contaminação.

É possível ver as possíveis áreas impactadas por postos de combustíveis em João Pessoa no mapa da Figura 26.

Figura 26 - Possíveis áreas contaminadas por postos de combustíveis em João Pessoa/PB.



Fonte: Fonseca, 2018.

Os principais impactos ambientais causados pela construção indevida de postos de combustíveis em locais que não obedecem ao distanciamento mínimo previsto em lei dos cursos de água, das faixas litorâneas, dos poços de água de abastecimento público e de APP's, são a contaminação das águas subterrâneas, por meio de vazamentos e rachaduras nos tanques de armazenamento, águas superficiais e do solo, devido a acidentes no transporte, vazamentos nas bombas do combustível, entre outros.

Fonseca (2018) também aponta que o desrespeito e não obediência as normas e legislação em relação a distância mínima que os postos de combustíveis devem ter de áreas ambientais deve ser investigado, com o objetivo de achar uma solução para esse problema.

### **4.3. CONTAMINAÇÃO POR REJEITOS DE MINERAÇÃO**

No Brasil, os rejeitos de mineração são armazenados em grandes barragens. Para garantir a segurança da estrutura ao longo dos anos, é importante que existam projetos de monitoramento e investigação do estado das barragens durante sua vida útil para a elaboração e execução de planos de manutenção. Caso não se tenha esse acompanhamento, o nível de contaminação que os rejeitos armazenados nessas estruturas podem gerar na natureza é alto.

Em alguns casos o impacto ambiental é tão grande, que as perdas e danos no ecossistema são imensuráveis, como no caso do rompimento da Barragem de Fundão no município de Mariana, no estado de Minas Gerais, no ano de 2015.

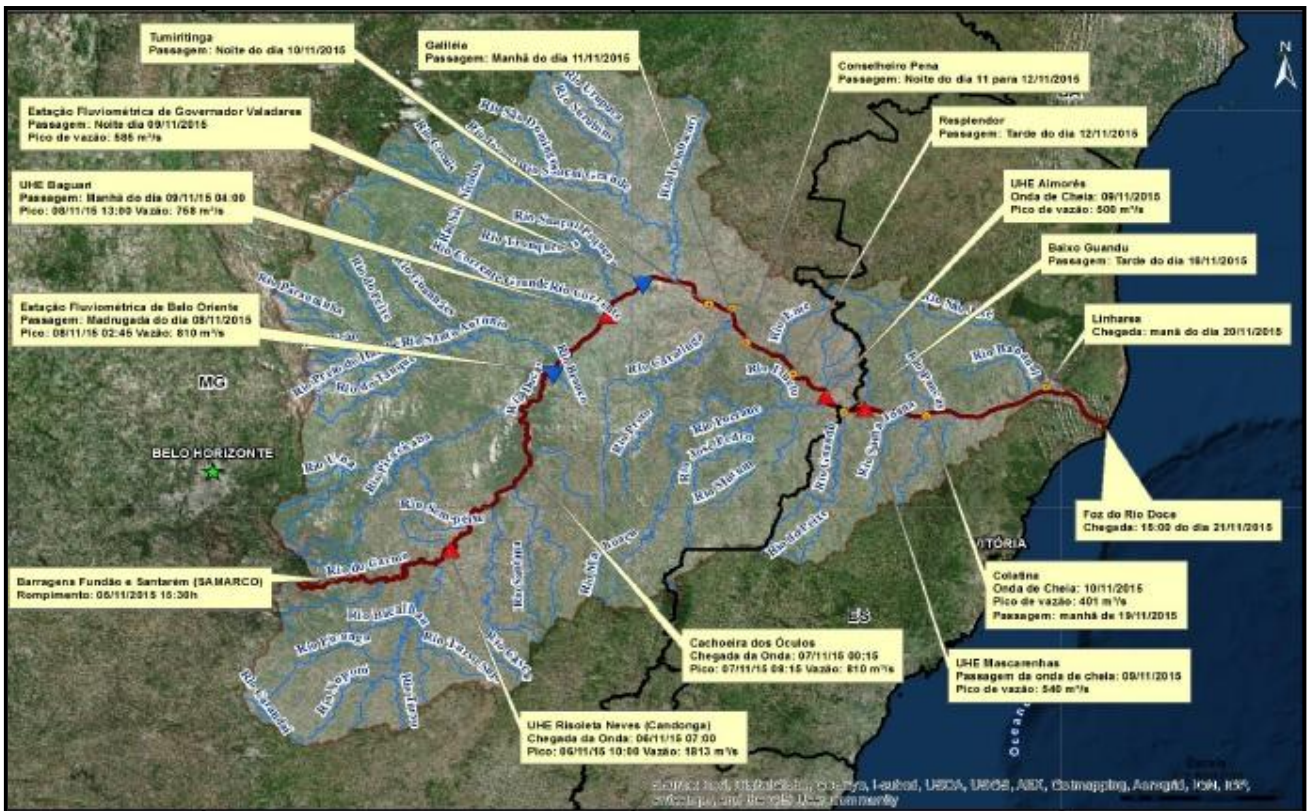
#### **4.3.1. Estudo de caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão**

No dia 5 de novembro de 2015, ocorreu o que o IBAMA denominou de "o maior desastre socioambiental do país no setor de mineração", com o rompimento da barragem de Fundão, localizada na cidade de Mariana, no estado de Minas Gerais.

A barragem da mineradora Samarco, que era responsável pela fabricação do minério de ferro, liberou, segundo laudo técnico preliminar apresentado pelo IBAMA (2015), retinha aproximadamente 50 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de mineração de ferro e com seu rompimento, 34 milhões de m<sup>3</sup> foram lançados no meio ambiente e os 16 milhões de m<sup>3</sup> restantes continuaram a ser lançados em direção ao mar até alcançar o estado de Espírito Santo.

A lama tóxica liberada pelo rompimento da barragem atingiu aproximadamente 663,2 km de corpos hídricos, onde passando pela barragem de Santarém seguiu o percurso de 55 km no Rio Gualaxo do Norte, 22 km no rio do Carmo até atingir o rio Doce e chegar até o Linhares, município do estado do Espírito Santo. É possível visualizar o trajeto da lama tóxica liberada pelo rompimento da barragem de Fundão através da Figura 27, onde é possível visualizá-la com maiores detalhes no Anexo 1 deste trabalho.

Figura 27 - Trajeto da lama tóxica liberada pelo rompimento da Barragem de Fundão.



Fonte: CPRM (Retirado do laudo técnico preliminar apresentado pelo IBAMA, 2015)

Ainda segundo o laudo técnico preliminar apresentado pelo IBAMA (2015), os impactos socioambientais foram imensos e inúmeros, entre eles, têm-se: destruição da vegetação aquática e próxima dos rios afetados, alteração da vazão hídrica, impacto nos manguezais e estuários na foz do Rio Doce, acúmulo de sedimentos em rios, provocando o seu assoreamento, grande contaminação nos rios e solos próximos, destruição de áreas de reprodução de peixes e de áreas de preservação permanente e vegetação nativa, além do impacto social, com a morte de dezenove pessoas e a destruição de moradias e o desalojamento da população local afetada pela tragédia.

- **Causas e contaminantes**

As causas do rompimento da barragem de Fundão ainda estão sendo investigadas, mas o que já foi confirmado é que a estrutura trabalhava acima da sua capacidade e além disso, problemas no sistema de drenagem levaram a lama até as galerias, ocorrendo mistura com material arenoso, o que gerou a liquefação da barragem e conseqüentemente seu rompimento.

Outra razão foi a falta de manutenção e fiscalização da estrutura, onde um plano de

recuperação foi proposto por uma empresa de segurança em 2009, porém não foi realizado pela Samarco.

Os contaminantes da lama do rejeitos de mineração são muitos, mas entre os principais, pode se citar o óxido de ferro e sílica, com concentração de metais pesados, como níquel, cobalto, cobre, entre outros. O grande potencial tóxico desses contaminantes causam alterações no pH (Potencial Hidrogeniônico) e nos parâmetros químicos e físicos, além de que os metais pesados ficam solubilizados nas águas e não se degradam. Abaixo é possível ver na Figura 28 a Barragem de Fundão após o seu rompimento.

Figura 28 - Barragem de Fundão após o seu rompimento.



Fonte: Ibama, 2015.

## **5. GEOSINTÉTICOS UTILIZADOS PARA PREVENÇÃO E SOLUÇÃO DE CONTAMINAÇÕES DO SOLO E DA ÁGUA**

A variedade dos produtos de geossintéticos é grande, o que torna vasto o número de funções que podem desempenhar, como visto no tópico 2 deste trabalho. Além disso é um produto que gera menos impacto ao meio ambiente e possui controle de qualidade industrial, com a garantia que desempenhará a função que a obra necessita e sendo uma alternativa segura.

Devido a essas razões, os geossintéticos vêm se tornando uma das respostas que a geotecnia ambiental procura em relação a prevenção e resolução dos impactos ambientais. Em vista disso, foi analisado o uso que esses produtos poderiam desempenhar em construções que apresentam potencial no risco de contaminação de rios e solos, como visto no tópico 4 desse trabalho.

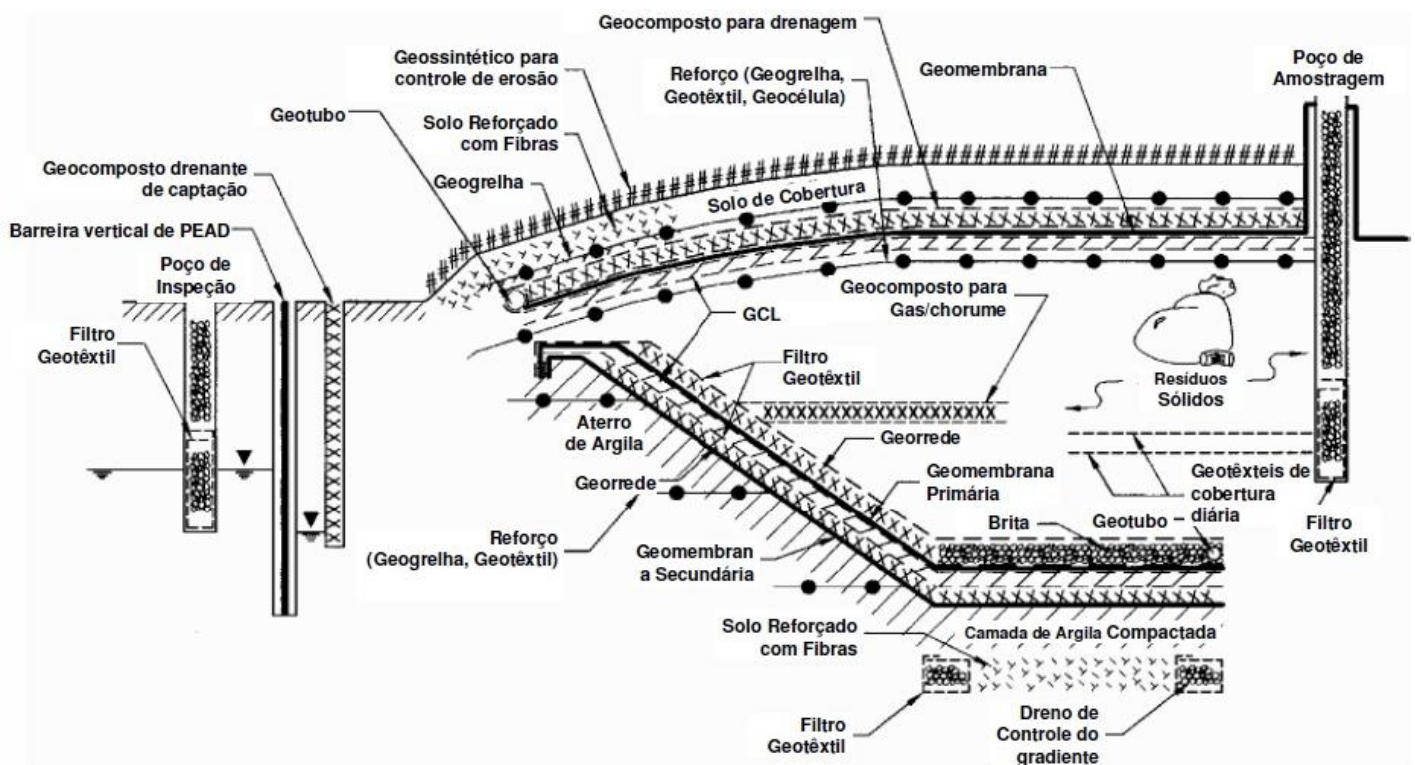
## 5.1. SOLUÇÕES EM GEOSSINTÉTICOS PARA EVITAR A CONTAMINAÇÃO EM ATERROS SANITÁRIOS

Para evitar que ocorra a poluição dos solos, de água subterrâneas e de rios e outros cursos da água, como ocorreu no caso do Aterro de Marituba, a geotecnia ambiental apresenta como uma das soluções mais sustentáveis a utilização dos geossintéticos nessas obras.

Segundo a Sociedade Internacional de Geossintéticos no Brasil, os geossintéticos tem inúmeras aplicações nesse tipo de empreendimento, e sua utilização gera inúmeros benefícios, como um menor custo em sua implantação, facilidade de instalação, durabilidade e a garantia do controle de qualidade do produto.

Algumas de suas aplicações nos aterros sanitários podem ser vistas através da Figura 29 abaixo:

Figura 29 - Aplicações de geossintéticos em aterros sanitários.



Fonte: IGS (Sociedade Internacional de Geossintéticos), 2013.

Entre suas principais aplicações, têm-se:

### **5.1.1. Utilização das geomembranas**

São utilizadas no aterro com o objetivo de funcionarem como uma barreira impermeabilizante do chorume produzido pela decomposição dos resíduos depositados no aterro, impedindo que esse contaminante entre em contato com o solo e os os lençóis freáticos.

Normalmente utiliza-se a geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) para impermeabilização de aterros, devido a sua durabilidade, estaqueidade e resistência mecânica, química e física aos resíduos sólidos. São colocadas na base do aterro para sua impermeabilização, substituindo a impermeabilização feita por argilas compactadas e aumentando a capacidade de resíduos nas células do aterro, uma vez que a manta de PEAD não é tão espessa e não ocupa tanto espaço como a camada de argila compactada, que normalmente precisa ter uma camada com espessura de 0,6 m a 2m. Além de diminuir a necessidade de jazidas de argila.

Essa manta também pode ser utilizada como cobertura das lagoas que recebem o chorume, onde a mesma é colocada sobre o tanque de armazenamento do lixiviado e flutua no líquido, se moldando a medida que o nível de chorume cresce. Através desse sistema, há a prevenção de odores provenientes destas lagoas, além de armazenar com segurança o chorume. Um exemplo dessa aplicação ocorreu em 2018 no Aterro de Santo André, na cidade de Santo André, no estado de São Paulo, onde as 2 lagoas de chorume do local foram cobertas com geomembranas PEAD de 1,5 mm, como mostra a Figura 30.

Figura 30 - Utilização da geomembrana como manta flutuante em lagoas de chorume no Aterro Sanitário de Santo André, na cidade de Santo André/SP.



Fonte: Divulgação Semasa, 2018.

Também podem ser aplicadas as geomembranas de PVC na cobertura final do aterro, pois mesmo não possuindo uma grande resistência a agentes químicos, possui boas propriedades de resistência mecânica e boa flexibilidade.

### 5.1.2. Utilização de geotêxteis

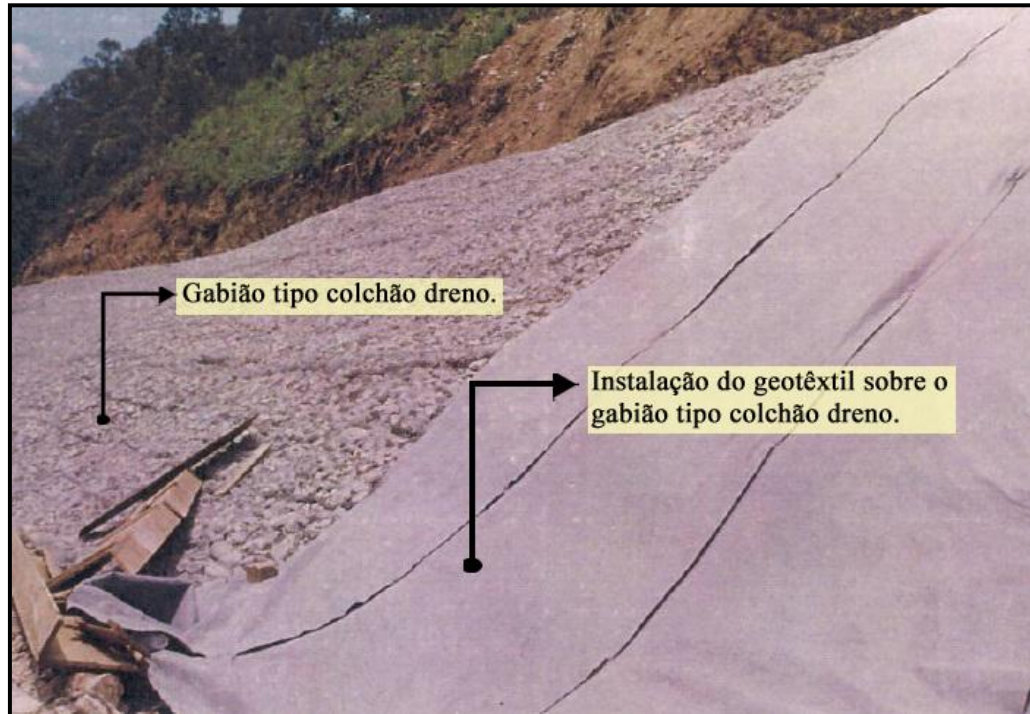
Uma das aplicações do geotêxtil no aterro sanitário é como proteção das geomembranas utilizadas para impermeabilização, isso porque ele evita que as mesmas possam ser perfuradas ou puncionadas. Um exemplo dessa aplicação pode ser vista nas Figuras 31 e 32, onde foi aplicado o geotêxtil como proteção da geomembrana no aterro sanitário de São Giácomo na cidade de Caxias do Sul, no estado do Rio Grande do Sul no ano de 1997.

O geotêxtil entrou como substituto da camada de argila, impedindo que ocorresse rasgos ou perfurações na geomembrana, utilizada para impermeabilização do terreno, pelo



contato direto com o gabião, o que diminuiu o tempo de execução da obra, redução de custos e um menor impacto ambiental.

Figura 31 - Instalação do geotêxtil sobre o gabião tipo colchão dreno no Aterro de São Giácomo, na cidade de Caxias do Sul/RS.



Fonte: Departamento Técnico - Atividade Bidim, 1998. Modificada pela autora.

Figura 32 - Aplicação da geomembrana sobre o geotêxtil no Aterro de São Giácomo, na cidade de Caxias do Sul/RS.



Fonte: Departamento Técnico - Atividade Bidim, 1998. Modificada pela autora.

Também podem ser utilizados no sistema de drenagem e filtração de chorume e na detecção de vazamento, servindo como um filtro para o sistema, além de poderem ser utilizados na cobertura final de cada célula do aterro, reforçando a estabilidade da superfície da barreira e permitindo o controle da erosão superficial.

### 5.1.3. Utilização de georredes

Pode se utilizar as georredes no sistema de drenagem de lixiviados nos aterros sanitários, além de atuar como um componente drenante juntamente com o geotêxtil não tecido na formação do geocomposto para drenagem que auxilia na filtração, com a retenção de partículas sólidas, e na drenagem gases. Um exemplo da aplicação do geocomposto drenante em aterros pode ser visto através da Figura 33.

Figura 33 - Instalação do geocomposto drenante (geotêxtil + georrede) de água pluviais em aterro.

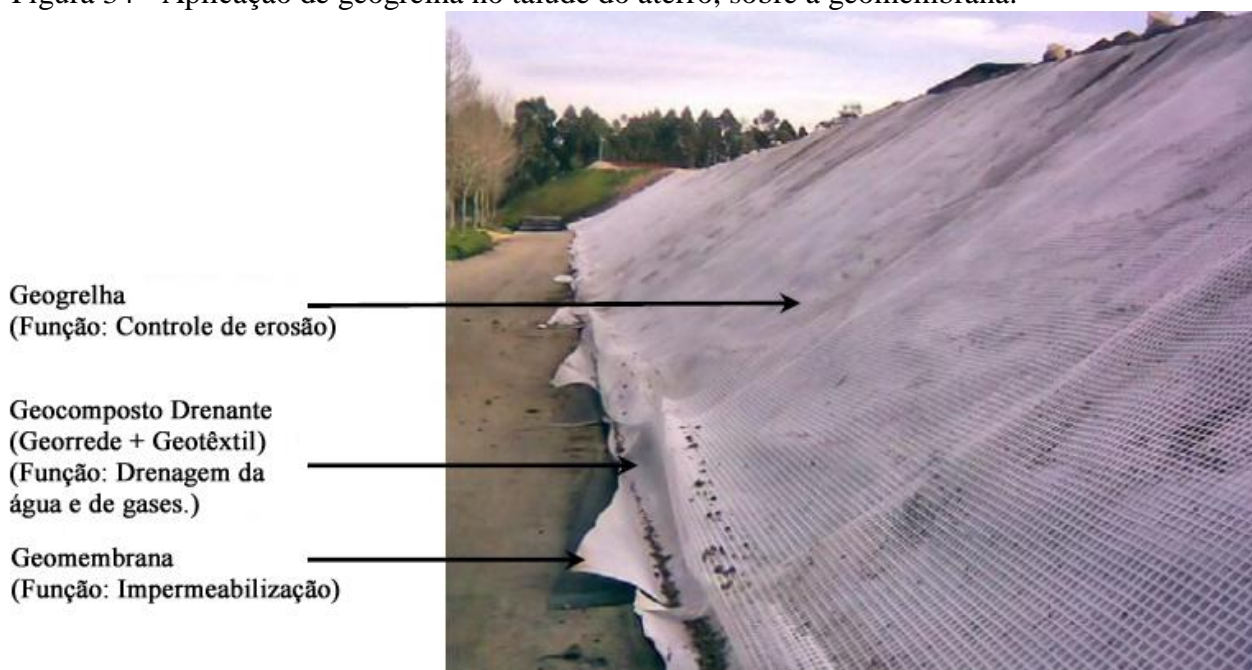


Fonte: DUARTE, 2009.

### 5.1.4. Utilização de geogrelhas

Segundo a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), as geogrelhas podem ser utilizadas com a função de reforço nos solos de cobertura que ficam sobre a geomembrana. Como mostra a Figura 34.

Figura 34 - Aplicação de geogrelha no talude do aterro, sobre a geomembrana.



Fonte: DUARTE, 2009.

Além disso, Maia (2016) cita que na tese de mestrado de Suzuki (2012) foi mostrado a possibilidade de utilizar as geogrelhas na verticalização dos aterros sanitários, uma vez que as mesmas garantem o reforço da estrutura para alturas de resíduos mais altas no aterro.

### 5.1.5. Utilização do GCL

O GCL pode ser aplicado juntamente com a geomembrana de PEAD como reforço na impermeabilização no fundo de aterros sanitários, garantindo que o chorume não irá entrar em contato com o solo e lençól freático, mesmo que a geomembrana utilizada seja perfurada ou sofra algum tipo de dano.

Um exemplo dessa aplicação ocorreu na ampliação do Aterro de Santo André em 2016, no município de Santo André, no Estado de São Paulo. O geocomposto Bentonítico (GCL) foi instalado para garantir uma proteção maior na impermeabilização, diminuindo a camada de solo compactado necessário, da geomembrana de PEAD instalada diretamente sobre ele, como mostra a Figura 35.

Figura 35 - GCL aplicado sobre camada de solo compactado na ampliação do Aterro de Santo André/SP.



Fonte: Geosynthetica, 2017.

#### 5.1.6. Utilização do geotubo

Os geotubos, segundo a IGS, podem ser utilizados como facilitadores na coleta e drenagem do chorume até sua estação de tratamento em aterros sanitários. É possível ver sua aplicação através da Figura 36.

Figura 36 - Aplicação de geotubos em trincheiras drenantes.



Fonte: Geofoco, 2016.

Maia (2016) ainda deixa claro através de dados da Engepol (2012), que os geotubos de PEAD possui vantagens como resistência química ao chorume e outros efluentes, resistência mecânica a fortes impactos, conservação de suas propriedades hidráulicas com baixa probabilidade de ocorrer incrustação, além de ser de instalação rápida, otimizando o tempo de execução da obra.

## **5.2. APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE JOÃO PESSOA-PB**

Em visitas realizadas no Aterro Sanitário de João Pessoa, localizado no município de Santa Rita, no estado da Paraíba, no mês de abril de 2019, foi possível ver e analisar as aplicações que são feitas com geossintéticos na área, que tem sua localização representada na Figura 37. As informações presentes neste trabalho foram dadas pelo Engenheiro Civil e gerente do Aterro Sanitário de João Pessoa, Johnson Figueiredo, com assistência da Técnica Ambiental e Tecnóloga de Segurança do Trabalho, Irani Pontes.

Figura 37 - Localização do Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.



Fonte: Google Maps e Administração do Aterro de João Pessoa, 2019.

No aterro é usado três tipos de geossintéticos: as geomembranas, os geotêxteis e os geotubos. Suas aplicações e funções exercidas no local serão descritas abaixo:

- **Geomembranas**

As mantas de PEAD, de espessura que variam de 1,5 mm a 2 mm, são utilizadas na impermeabilização de células de resíduos Classe I e Classe II-A (Não inertes), a classificação e o tipo desses resíduos são descritos na Tabela 3 para um maior entendimento.

Tabela 3 - Classificação dos resíduos sólidos.

<b>CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>EXEMPLO</b>
<b>Classe I - Perigosos</b>	São resíduos que apresentam características de reatividade, inflamabilidade, corrosividade, patogenicidade e toxicidade.	Óleos minerais, graxas, produtos químicos, filtros de óleo, pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes, embalagens de agrotóxicos, entre outros.
<b>Classe II - A (Não inertes)</b>	São resíduos de baixa periculosidade, têm propriedades como a biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água e podem ter capacidade de reagir quimicamente em alguns meios.	Fibras de vidro, gessos, lamas de sistemas de tratamento de águas, limalha de ferro, restos de madeira, EPI's não contaminados, resíduos orgânicos provenientes das indústrias de alimentos.
<b>Classe II - B (Inertes)</b>	Não possuem propriedades de solubilidade ou qualquer tipo de reatividade química ou física e são os que oferecem o menor grau de periculosidade.	Sucata de ferro, aço, entulhos de demolição, concreto, pedras, entre outros.

Fonte: Autora, com informações consultadas da norma NBR 10004: 2004.

É possível visualizar através da Figura 38, a utilização das geomembranas de PEAD na impermeabilização da célula de resíduos Classe II-A não inertes no aterro. A célula ainda entrará em operação e possui abas laterais de PEAD de 1 metro para garantir que quando houver a descarga dos resíduos pelo caminhão na célula, não haja perigo de algum resíduo entrar em contato com o solo, a água que está presente na célula foi devido as chuvas que aconteceram no mês da visita.

Figura 38 - Geomembrana de PEAD utilizada na impermeabilização da célula de resíduos Classe II-A (Não inertes) no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.

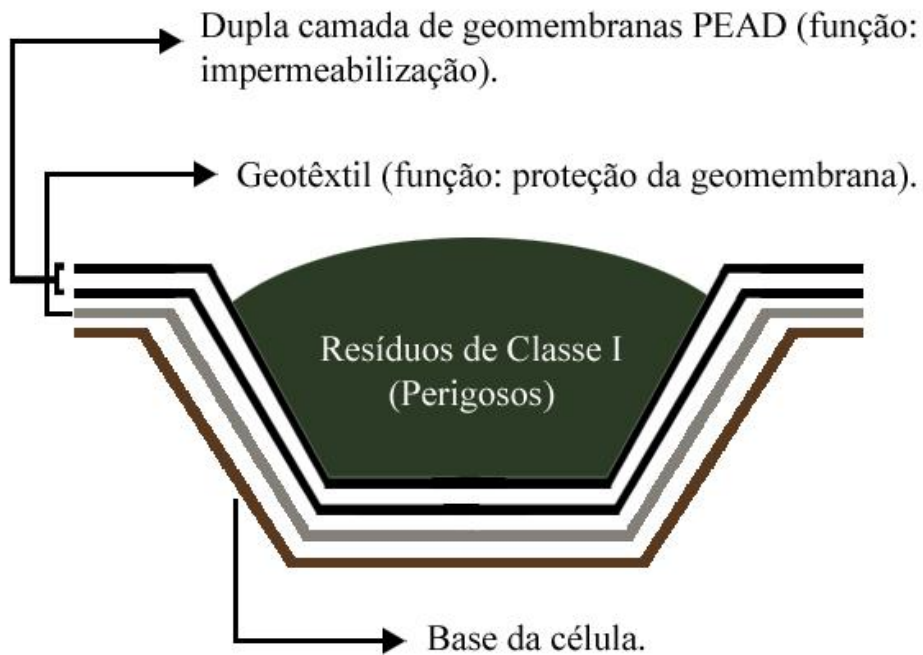


Fonte: Autora.

Já na célula para resíduos de Classe I (Perigosos) é feita uma dupla camada de mantas PEAD, devido a necessidade de uma proteção maior sobre o solo, dado que a alta periculosidade e toxicidade desse tipo de resíduo pode gerar uma grande contaminação no solo e lençóis freáticos. Nesse tipo de célula é feita uma borda de segurança de manta PEAD de 1,5 m. Na Figura 39 é mostrado os geossintéticos que são utilizados nesse tipo de célula.



Figura 39 - Representação em corte de como os geossintéticos são utilizados na construção de células de resíduos Classe I (Perigosos) no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.



Fonte: Autora.

As mantas de PEAD também são utilizadas na impermeabilização das lagoas de chorume na Estação de tratamento do chorume do aterro sanitário. As lagoas são divididas em facultativas, de acumulação, anaeróbia, de decantação e de recirculação totalizando 11 lagoas no aterro, com cada uma sendo responsável por uma etapa no tratamento do lixiviado.

Todas as lagoas possuem a base revestida com mantas PEAD, porém em algumas lagoas não pode-se ver a geomembrana, devido ao fato dela ser embutida no concreto que foi colocado por cima, como o próprio gerente do aterro informou. Um exemplo dessas lagoas com o manta de PEAD embutida foi a Lagoa de Acumulação I presente no aterro, como pode ser visto através da Figura 40.

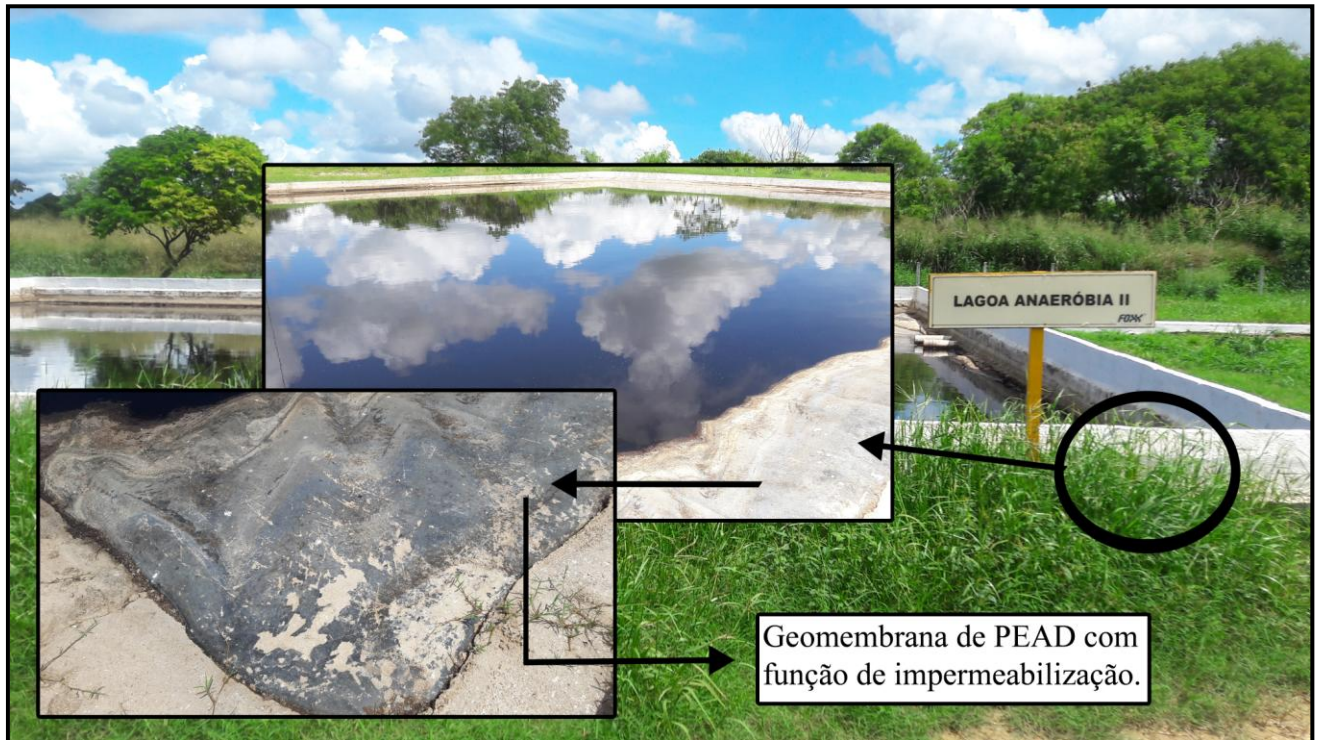
Figura 40 - Lagoa de Acumulação I do chorume na Estação de Tratamento do lixiviado no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.



Fonte: Autora.

Porém em outras lagoas a manta de PEAD é visível, pois não é embutida no concreto, como é o caso da Lagoa Anaeróbia II no aterro, onde é possível ver a geomembrana utilizada para impermeabilização, como mostra a Figura 41.

Figura 41 - Lagoa Anaeróbia II na Estação de Tratamento do lixiviado no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.



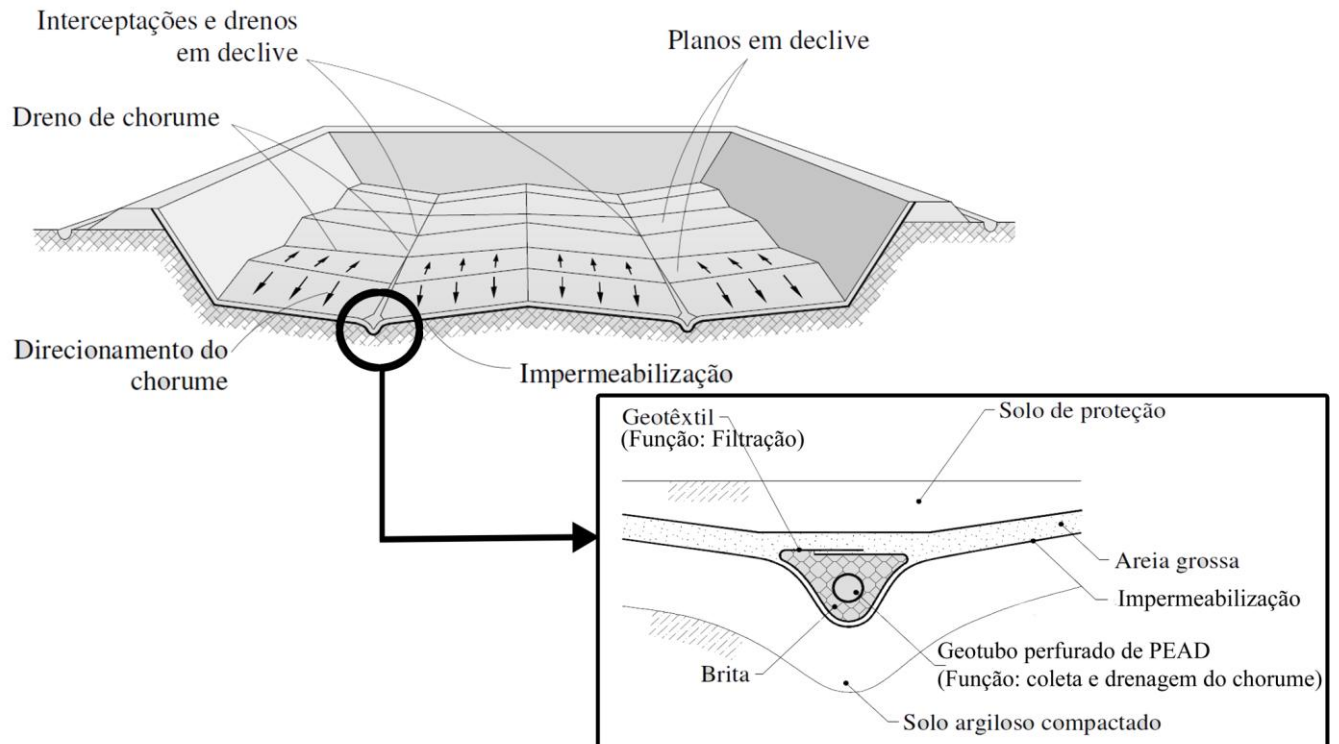
Fonte: Autora.

- **Geotêxteis**

No Aterro Sanitário de João Pessoa, os geotêxteis são utilizados como camada de proteção da geomembrana de PEAD na célula de Resíduos de Classe I (Perigosos), como foi mostrado na Figura 39. Também foi informado que já foram utilizados na cobertura final de algumas células com a função de controle de erosão.

Além disso também são utilizados na cobertura do sistema de tubulação de drenagem do chorume da célula, atuando com função de filtração para impedir que os rejeitos entupam a tubulação, como pode ser visto através da representação na Figura 42.

Figura 42 - Representação do sistema de drenagem do chorume nas células do Aterro Sanitário de João Pessoa/PB, com utilização do geotêxtil e do geotubo.



Fonte: MANCINI, S. D. UNESP, 2019. Modificado pela autora.

- **Geotubos**

Os geotubos perfurados de PEAD são utilizados no aterro sanitário no sistema de coleta e drenagem do chorume, como foi mostrado na Figura 42, e são utilizados ao longo da tubulação que leva o chorume produzido na célula até a Estação de Tratamento do lixiviado, como é representado na Figura 43.

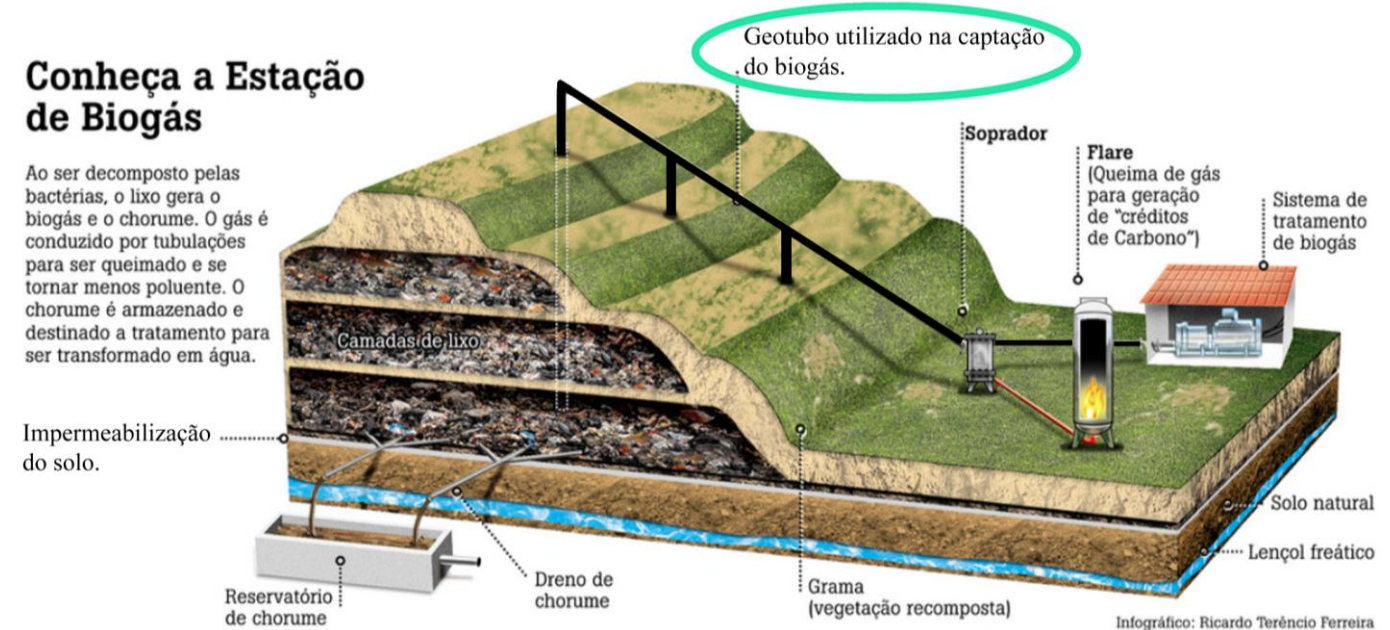
Figura 43 - Tubulação composta de geotubo de PEAD, que leva o chorume desde a célula onde é feita sua coleta e drenagem até a Estação de Tratamento do lixiviado no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.



Fonte: Autora.

Também são utilizados no sistema de coleta e drenagem de gases (metano, CO<sub>2</sub>), também denominado de biogases, produzidos através da decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos depositados no aterro. Posteriormente esse gás é encaminhado pela tubulação para o Sistema de Tratamento de Biogás e em seguida é queimado. Um exemplo de sua aplicação no aterro pode ser mostrado através da Figura 44.

Figura 44 - Sistema de coleta e drenagem de gases no Aterro Sanitário de João Pessoa/PB.



Fonte: FERREIRA, R. T. 2009. Modificado pela autora.

### 5.3. SOLUÇÕES EM GEOSSINTÉTICOS PARA EVITAR A CONTAMINAÇÃO EM POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Para evitar a contaminação de solos e águas subterrâneas por substâncias químicas presentes no combustível, pode-se utilizar a geomembrana, como estudado por Alves et al (2018), na impermeabilização das áreas onde se encontram o Sistema de Abastecimento Subterrâneo, uma vez que a geomembrana funciona como uma barreira impermeabilizante e têm resistência química aos contaminantes do combustível.

Além de ser utilizada no Sistema de Abastecimento Subterrâneo, a geomembrana também pode ser aplicada em outras áreas que normalmente são afetadas pelo vazamento de combustível, como os locais abaixo dos tanques, das linhas de transmissão e das bombas.

Como exemplo de sua aplicação, pode-se observar através das Figuras 45 e 46, a instalação de uma geomembrana de PEAD na construção de um posto de combustível da cidade de Passo Fundo, no estado do Rio Grande do Sul. A geomembrana foi aplicada na área da cava onde fica o tanque subterrâneo em fevereiro de 2018 pela equipe Greab Consultoria Ambiental.

Figura 45 - Utilização da geomembrana de PEAD na cava de um tanque subterrâneo de um posto de combustível em construção em Passo Fundo/RS.



Fonte: GEAB Consultoria Ambiental, 2018.

Figura 46 - Colocação do tanque subterrâneo, após a instalação da geomembrana no posto em construção em Passo Fundo/RS.



Fonte: GEAB Consultoria Ambiental, 2018.

As geomembranas de PEAD produzidas no Brasil, normalmente têm as seguintes características apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características das geomembranas produzidas no Brasil.

<b>Geomembrana PEAD</b>		
<b>Espessura (mm)</b>		2,5
<b>Resistência a tração (MPa)</b>	Longitudinal	18
	Transversal	20
<b>Resistência a rasgos (N)</b>	Longitudinal	338
	Transversal	344
<b>Punção (N)</b>		911
<b>Tensão de escoamento</b>	Para cerca de 17% de deformação é relativamente rígida.	
<b>Grau requerido de sobrevivência à instalação</b>	Alto	67
<b>Resistência química <math>\leq 70^\circ</math></b>	Hidrocarbonos asfálticos, hidrocarbonos aromáticos, solventes clorados, solventes oxigenados, solventes de petróleo bruto, alcoóis, ácidos orgânicos e inorgânicos, bases orgânicos e inorgânicos, metais pesados, sais.	
<b>VANTAGENS</b>	Boa resistência mecânica e a soldas, bom desempenho a baixas temperaturas e boa resistência química.	
<b>DESVANTAGENS</b>	Pode haver formação de rugas devido a difícil conformação ao subleito, sendo sujeito à <i>stress cracking</i> , fenômeno de falha prematura no material, devido à aplicação de tensão juntamente com um meio agressivo.	

Fonte: Alves et al, 2018, adaptado de Vertematti, 2015, p. 457-493.

#### **5.4. SOLUÇÕES EM GEOSSINTÉTICOS PARA AUXILIAR NA DESCONTAMINAÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO**

Como visto no tópico 4.3.1 deste trabalho, o rompimento da barragem de Fundão localizado no município de Mariana provocou uma grande contaminação hídrica e trouxe impactos em inúmeras áreas. Segundo estudos realizados por Silva (2017) em sua dissertação de mestrado, para remediar a situação de algumas dessas áreas impactadas, a mineradora Samarco utilizou tubos geotêxteis para o desaguamento, confinamento e o empilhamento dos

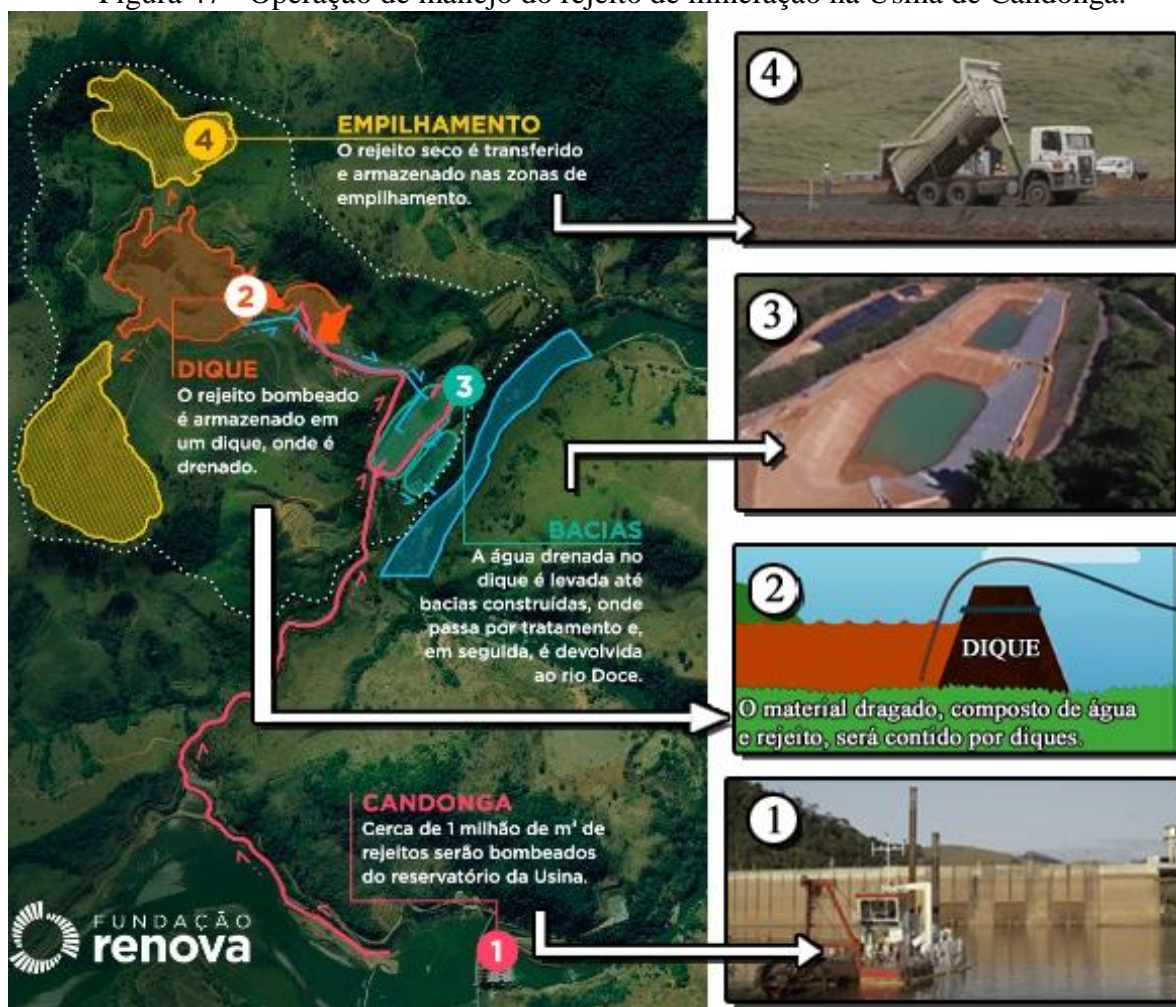


rejeitos de mineração retirados da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, conhecida como Candonga um dos locais atingidos pelo desastre, onde 10,5 milhões de m<sup>3</sup> da lama de rejeitos ficaram retidos no seu reservatório.

O procedimento empregado com a utilização do geossintético foi usado para a retirada de 1,3 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos do lago da usina na primeira etapa, buscando a volta do seu funcionamento e a melhora na qualidade da água do Rio Doce.

Segundo informações dadas pela fundação Renova (2018), a operação funcionou da seguinte maneira, primeiramente foi construído 3 barramentos metálicos para a contenção de rejeitos para impedir que eles voltassem a se acumular próximos as comportas da usina, em seguida foi dragado os rejeitos depositados em 400 metros do reservatório de Candonga, o material dragado, com 80% de água e 20% de rejeito, foi encaminhado para um dique intermediário, que serviu de apoio para o dique principal, em que o rejeito foi drenado. A operação pode ser vista através da Figura 47.

Figura 47 - Operação de manejo do rejeito de mineração na Usina de Candonga.



Fonte: Fundação Renova, 2018. Modificada pela autora.

O rejeito drenado foi encaminhado e armazenado com segurança nas áreas de empilhamento, enquanto que a água que foi retirada do dique foi encaminhada até 2 bacias, onde foi realizado o seu tratamento para sua descarga no Rio Doce.

Depois da dragagem, foi através de tubos geotêxteis tecidos que os sólidos retirados foram desaguados, confinado e empilhados em zonas de empilhamento.

Para a disposição de sedimentos, foram feitos 5 setores no reservatório, como mostrado na Figura 48. No setor 1, os tubos geotêxteis já realizaram a operação de desaguamento, confinamento e empilhamento, onde foi retirado 5000 m<sup>3</sup>/dia.

Figura 48 - Localização dos setores de disposição dos sólidos dos rejeitos na Usina de Candonga.



Fonte: SAMARCO, 2016.

- **Vantagens da utilização dos tubos de geotêxteis**

Silva (2017) aponta que as grandes vantagens da utilização dos tubos geotêxteis na técnica de resolução da retirada de rejeitos de mineração da usina de Candonga é ter resistência a tração, suportando as tensões mecânicas geradas enquanto acontece o enchimento do tubo, possuir a propriedade de filtração, retendo os sólidos do líquido e permitindo a passagem da água, e ter vida útil necessária até a finalização da operação em que foi empregado. Em resumo pode-se destacar como suas principais funções e características:

- Resistência a tração;
- Filtração;
- Durabilidade;

- Permeabilidade;
- Resistência química e à luz solar;
- Resistência da costura que faz o fechamento dos tubos;
- Resistência ao puncionamento.

Através da Figura 49, é possível visualizar como funciona a operação realizada pelos tubos geotêxteis na descontaminação de resíduos tóxicos da água na obra de dragagem que ocorreu no Canal do Fundão, no município do Rio de Janeiro, em 2009. A obra visava a retirada do fundo do canal de aproximadamente 3,2 milhões de m<sup>3</sup> de resíduos contaminadas por metais pesados, como níquel, cobre e mercúrio.

Figura 49 - Esquema de operação realizada pelos tubos geotêxteis na descontaminação de resíduos tóxicos da água na obra de dragagem que ocorreu no Canal do Fundão, no município do Rio de Janeiro, em 2009.



Fonte: Monteiro, 2010.

Segundo Monteiro et al (2014), o processo realizado pelos tubos geotêxteis funcionam da seguinte maneira, na Figura 49-a o material que foi dragado é encaminhado através da tubulação em que é adicionado polímeros floculantes, que servem para floculação das partículas sólidas presentes no líquido dragado, ajudando no processo de decantação desses

sólidos, impedindo que os mesmos passem pelos poros dos tubos geotêxteis. Na Figura 49-b o material contaminado é transferido para chicana que o direciona para seu confinamento no tubos geotêxteis.

Na Figura 49-c, mostra o processo de drenagem da água pelos poros do geotêxtil, onde é possível visualizar pelo seu aspecto que já está mais limpa, uma vez que os resíduos de contaminação ficaram retidos nos tubos. Posteriormente a água drenada é encaminhada para uma Estação de Tratamento e depois é lançada de volta ao ambiente, com melhora na qualidade do curso de água.

Já na Figura 49-d é possível visualizar como os tubos geotêxteis são dispostos na obra, o material sólido retido nesse procedimento pode ser posteriormente utilizado em aterros ou podem ser transferidos e armazenados em zonas de empilhamento.

## 6. CONCLUSÃO

Problemas relacionados a contaminação de solos, águas subterrâneas e superfícias por postos de combustíveis, rejeitos de mineração e projetos mal elaborados de aterros é uma realidade que o Brasil enfrenta, como foi mostrado nesse trabalho.

A procura de técnicas e produtos que resolvessem esses problemas sem causar impactos maiores ao meio ambiente e que ao mesmo tempo não apresentassem valores muito altos e fossem eficientes no projeto, está fazendo crescer o destaque na utilização de geossintéticos nas obras.

Os geossintéticos apresentam inúmeras funções, além de apresentarem boas propriedades físicas, mecânicas, hidráulicas e de durabilidade, podendo ter vastas aplicações nos mais diversos tipos de obras, dado destaque nesse trabalho às voltadas para a prevenção e resolução dos impactos ambientais causados por ação antrópica. Ainda sim, a falta de normatizações, legislações, informações e divulgação prejudicam a utilização desse material no Brasil.

No trabalho foi apresentado primeiramente o caso de contaminação no Aterro Sanitário de Marituba, no estado do Pará, onde o solo, o ar e a água da região foram contaminados devido inúmeros problemas encontrados no aterro, como o sistema de tratamento do chorume defeituoso. Como prevenção desses problemas, apontou-se as inúmeras aplicações dos geossintéticos em aterros sanitários, como por exemplo, a utilização de geotubos na coleta e drenagem do chorume e dos gases produzidos através da decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos.

Também foi colocado em destaque a utilização de geossintéticos no Aterro Sanitário de João Pessoa, localizado no município de Santa Rita, no estado da Paraíba. Através de visitas realizadas ao local, foi possível analisar a utilização de geomembranas, geotubos e geotêxteis no aterro sanitário.

O segundo estudo de caso analisado foi na contaminação por postos de combustíveis em Cuiabá, no estado de Mato Grosso, onde 17 postos causaram impactos ambientais, através da contaminação do solo e da água subterrânea. As principais causas apontadas foi devido ao vazamento no sistema de armazenamento subterrâneo e no abastecimento dos caminhões transportadores, enquanto que alguns dos principais contaminantes foram o BTEX e os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos.

Além disso também foi analisado o caso de possíveis áreas contaminadas por combustível em João Pessoa, devido a desobediência as normas e legislações da distância mínima que os postos devem ter dos cursos de água e das APP's. Como uma solução de prevenção desses problemas, foi destacado o uso da geomembrana de PEAD na impermeabilização das cavas onde são colocados os tanques subterrâneos.

O terceiro estudo de caso foi na contaminação por rejeitos de mineração causada pelo rompimento da Barragem de Fundão, no município de Mariana, no estado de Minas Gerais, provocando um imenso impacto ambiental, social e econômico no Brasil. Entre os inúmeros problemas, aconteceu a contaminação de aproximadamente 663,2 km de corpos hídricos, além da lama também ter atingido o reservatório da Usina Hidrelétrica Risoleta Neves com 10,3 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos. Uma das soluções que estão sendo executadas pela Fundação Renova, é a utilização de tubos geotêxteis no desaguamento, confinamento e empilhamento dos sólidos retirados na dragagem que está sendo feita no reservatório da usina, com o objetivo da volta do seu funcionamento e na melhora da qualidade da água no Rio Doce.

É importante destacar que além do interesse de apenas querer remediar os desastres ambientais que vêm ocorrendo em curtos intervalos de tempo, como o rompimento da Barragem de rejeitos de Fundão em 2015 e logo em seguida o rompimento da barragem 1 da Mina Córrego do Feijão no município de Brumadinho, também no estado de Minas Gerais, em 2019, é fundamental lembrar que técnicas de prevenção e manutenção são mais importantes em obras de qualidade que se preocupem em atrelar a engenharia civil junto com a preservação de todo um ecossistema.

## 7. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólido - Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13786: Posto de serviço - Seleção de Equipamentos e Sistemas para Instalações Subterrâneas de Combustíveis**. Rio de Janeiro. 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 10318-1: Geossintéticos Parte 1: Termos e definições**. 2018.

ALVES, A. B. **Métodos construtivos e procedimentos de prevenção à contaminação química de solos e águas subterrâneas causada por vazamento de combustíveis**. Anais do VII SINGEP. Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade. São Paulo: 22 e 23 de out. 2018.

BATHURST, R. J. **Classificação dos geossintéticos**. Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), disponibilizado pela Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS BRASIL), traduzido por MENDES, M. J. A. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/1.pdf>>. Acesso em: 02 de fev. 2019.

BATHURST, R. J. **Funções dos geossintéticos**. Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), disponibilizado pela Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS BRASIL), traduzido por MAIA, K. C. A. P. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/2.pdf>>. Acesso em: 02 de fev. 2019.

BOUAZZA, M.; ZORNBERG, J. **Geossintéticos em Aterros Sanitários**. Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), disponibilizado pela Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS BRASIL), traduzido por MENDES, M. J. A. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/4.pdf>>. Acesso em: 03 de mar. 2019.

BRASIL. CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001. **Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental**, Brasília, 23 de jan. 1986.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 24 de mar. 2019.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (Totalização por departamento) em 2010**. São Paulo, dez. 2010. Disponível em: <[https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2013/11/totalizacao\\_departamento.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2013/11/totalizacao_departamento.pdf)>. Acesso em: 26 de fev. 2019.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (Totalização por departamento) em 2017**. São Paulo, dez. 2017. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2018/01/Totaliza%C3%A7%C3%A3o-por-Departamento.pdf>>. Acesso em: 26 de fev. 2019.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (Ordem Agência Ambiental) em 2017**. São Paulo, dez. 2017. Disponível em: < [https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2018/09/Ordem-Ag%C3%Aancia-Ambiental-06\\_09\\_18.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2018/09/Ordem-Ag%C3%Aancia-Ambiental-06_09_18.pdf)>. Acesso em: 26 de fev. 2019.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas (Totalização por departamento) em 2018**. São Paulo, dez. 2018. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2019/04/Totaliza%C3%A7%C3%A3o-por-Departamento.pdf>>. Acesso em: 23 de fev. 2019.

DUARTE, A. F. S. **Aplicação de Geossintéticos na Impermeabilização e Selagem de Aterros**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Aveiro. Portugal. 2009.

FONSECA, A. C. **Mapeamento de impactos ambientais causados por postos de distribuição de combustíveis em João Pessoa-PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2018.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos Ambientais Decorrentes do Desastre Envolvendo o Rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**, nov. 2015.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente, Rio de Janeiro. **Gerenciamento de áreas contaminadas do estado do Rio de Janeiro: Cadastro de Áreas Contaminadas e Reabilitadas**. 2 ed., 2014. Disponível em: < <http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdy4/~edisp/inea0068530.pdf>>. Acesso em: 02 de mar. 2019.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente, Rio de Janeiro. **Avaliação de Áreas Contaminadas**. 3 ed., 2015. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/LicenciamentoAmbiental/Licenciamento-saiba-mais/GestaodeRiscoAmbientaTec/AvaliacaodeAreasContaminadas/index.htm&lang=>>. Acesso em: 02 de mar. 2019.

IZZO, R. L. S.; NAGALLI, A. **O desafio da geotecnia frente às questões ambientais**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2013.

JUNIOR, M. R. V.; CORRÊA, R. S. S. **Resíduos sólidos urbanos e sustentabilidade: Desafios da Implantação do Aterro Sanitário de Marituba - PA**. Anais ERESPP, v. 1. [S.I.]. 2017.



LIMA, S. D. et al. Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuibá, Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente & Água: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 12, n. 2. p 299-315. Mar./Abr. 2017.

MAIA, N. P. **O uso de materiais geossintéticos em Aterros Sanitários**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2016.

MIGUEL, M. G.; PINESE, J. P. P. Breve panorama sobre geotecnia ambiental. **Boletim de Geografia**, v. 22, n. 1, p 75-85. 2004.

MONTEIRO, A. M.; AMORIM J. C. C.; MARQUES M. E. S. **Disposição de sedimentos contaminados de dragagem em tubos geotêxteis**. Instituto Militar de Engenharia (Pós-Graduação em Engenharia de Transportes). Rio de Janeiro. 2014.

MONTEIRO, A. M. **Estudo das técnicas de disposição de sedimentos contaminados de dragagem**. Dissertação (Mestrado). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro. 2010.

PONTES, A. K. S. et al. **Análise da paisagem e formas de uso do solo, no aterro sanitário de Marituba/PA, através da ferramenta SIG**. Anais do 8º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Curitiba, jun. 2017.

ROCHA, P. E. O. et al. **Controle de erosão em taludes executados em meio urbano**. Maccaferri do Brasil LTDA. São Paulo. 2015. Disponível em: < <http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/12/CCO-2016-Controle-de-eros%C3%A3o-em-taludes-executados-em-meio-urbano.pdf>>. Acesso em: 01 de fev. 2019.

SÁNCHEZ, L. H. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos**. 2 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013.

SILVA, L. C. F. **Utilização de tubos geotêxteis para confinamento, desaguamento e empilhamento de rejeito de ouro**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2017.

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

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 1 ed. Editora Blucher, 2004.

VERTEMATTI, J. C. **Curso Básico de Geotêxteis**. 1 ed. Comitê Técnico Geotêxtil (CTG) da Associação Brasileira das Indústrias de Não-tecidos e Tecidos Técnicos (ABINT). Projeto gráfico e editoração: Rooka'z, 2001. Disponível em: <<http://www.abint.org.br/pdf/Apostila%20-%20CBG.pdf>>. Acesso em: 4 de mar. 2019.

## ANEXOS

## ANEXO 1 - Trajeto da lama tóxica liberada pelo rompimento da barragem de Fundão.

