



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

**ARIANE MARINA DE ALBUQUERQUE TEIXEIRA**

**A UTILIZAÇÃO DE GARRAFA PET COMO MATERIAL GEOSINTÉTICO:  
VANTAGENS E DESVANTAGENS**

**JOÃO PESSOA**

**2019**

ARIANE MARINA DE ALBUQUERQUE TEIXEIRA

**A UTILIZAÇÃO DE GARRAFA PET COMO MATERIAL GEOSSINTÉTICO:  
VANTAGENS E DESVANTAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado 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 bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

JOÃO PESSOA

2019

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

T266u Teixeira, Ariane Marina de Albuquerque.

A Utilização de Garrafa PET como Material  
Geossintético: Vantagens e Desvantagens / Ariane Marina  
de Albuquerque Teixeira. - João Pessoa, 2019.  
66 f. : il.

Orientação: Aline Flávia Nunes Remígio Antunes.  
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Geossintéticos. 2. Reciclagem. 3. Garrafa PET. 4.  
Sustentabilidade. I. Antunes, Aline Flávia Nunes  
Remígio. II. Título.

UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

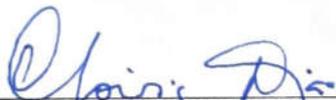
ARIANE MARINA DE ALBUQUERQUE TEIXEIRA

### A UTILIZAÇÃO DE GARRAFA PET COMO MATERIAL GEOSSINTÉTICO: VANTAGENS E DESVANTAGENS

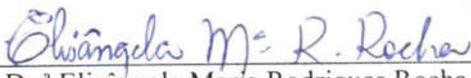
Trabalho de Conclusão de Curso em 24/09/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Aline Flávia Nunes Remígio Antunes  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

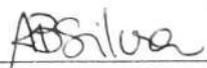
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Clóvis Dias  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elisângela Maria Rodrigues Rocha  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADA

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Andrea Brasiliano Silva  
Matricula Siape: 1549557  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, por todo  
carinho e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por sempre me guiar e me dar saúde e força.

Aos meus pais, por todo amor e carinho e por sempre acreditarem no meu potencial, minha eterna gratidão.

Agradeço também aos meus irmãos por toda ajuda, união, parceria e amizade em todos os momentos.

Aos meus amigos formados durante a vida universitária pelo companheirismo durante toda a graduação, e aos meus amigos mais antigos pelo apoio ao longo de todos esses anos de amizade, meus agradecimentos.

Aos meus professores, em especial, a minha orientadora e professora Aline Remígio, por todos os ensinamentos e por confiar no meu trabalho. E aos professores, Clóvis Dias e Elisângela Rodrigues, por terem aceitado fazer parte de minha banca e por todos os conhecimentos compartilhados.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, pessoal e profissional.

## RESUMO

Nos últimos anos, a geração de lixo nas cidades aumentou três vezes mais do que a população urbana. Na tentativa de diminuir os impactos causados por esses resíduos, a reciclagem de materiais de difícil degradação, como a garrafa PET, tem sido uma das maiores preocupações da atualidade. Este trabalho, realizado a partir de levantamento bibliográfico, apresenta e discute a aplicação de garrafas PET recicladas para a fabricação de produtos geossintéticos e sua associação aos geossintéticos tradicionais para soluções em obras de engenharia. A utilização dos geossintéticos pode reduzir significativamente os impactos causados ao ambiente em comparação com os métodos tradicionais e trazer mais simplicidades as obras. As garrafas PET podem ser utilizadas como matéria-prima para os geotêxteis, como material de preenchimento para drenagem em construções e como núcleo para geocompostos. Podem também ser empregadas com a função de reforço, para a fabricação de geocélulas e geofibras que atuarão para o melhoramento do comportamento do solo. Apesar dos benefícios do uso desse resíduo nos projetos de engenharia é preciso ter em mente que a demanda excessiva por um tipo específico de material pode aumentar o seu custo, o que pode comprometer a sua utilização em alguns casos. Assim, uma dada utilização de resíduo que hoje é viável em uma aplicação de engenharia pode não ser no futuro. Dessa forma, a avaliação completa dos benefícios, limitações e os impactos causados pelo uso do material devem ser estudados antecipadamente.

**Palavras chave:** Geossintéticos. Reciclagem. Garrafa PET. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

In recent years, the generation of waste in cities has increased three times more than the urban population. In an attempt to mitigate the impacts caused by these wastes, recycling difficult-to-degrade materials such as the PET bottle has been a major concern today. This work, conducted from the bibliographic survey, presents and discusses the application of recycled PET bottles for the manufacture of geosynthetic products and their association with traditional geosynthetics for solutions in engineering works. The use of geosynthetics can significantly reduce environmental impacts compared to traditional methods and bring more simplicity to the works. PET bottles can be used as raw material for geotextiles, as a filler for drainage in buildings and as a core for geocomposites. They can also be used with the reinforcement function for the manufacture of geocells and geofibres that will act to improve soil behavior. Despite the benefits of using this waste in engineering projects, it should be borne in mind that excessive demand for a specific type of material may increase its cost, which may compromise its use in some cases. Thus, a given waste utilization that is feasible today in an engineering application may not be in the future. Thus, the full assessment of the benefits, limitations and impacts caused by the use of the material should be studied in advance.

**Keywords:** Geosynthetics. Recycling. PET bottles. Sustainability.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINT – Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria de PET

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRALATAS – Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CTG – Comitê Técnico de Geossintéticos

EBR – Empresa Brasileira de Reciclagem

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

FEA USP – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo

FIA – Fundação Instituto de Administração

IGS – Sociedade Internacional de Geossintéticos

IGSBR – Associação Brasileira de Geossintéticos

ONU – Organização das Nações Unidas

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PET – Polietileno Tereftalato

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PVC – Cloreto de Polivinila

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Panorama do PET no Brasil.....	22
Figura 2: Aplicações dos Geossintéticos.....	24
Figura 3: Instalação de geotêxtil em taludes. ....	25
Figura 4: Geogrelha.....	26
Figura 5: Georredes.....	26
Figura 6: Geomembrana.....	27
Figura 7: Geocomposto.....	28
Figura 8: Geotubos.....	28
Figura 9: Geocélula.....	29
Figura 10: Uso da geocélula em revestimento de canais.....	29
Figura 11: Geoespaçador.....	30
Figura 12: Geofibras.....	30
Figura 13: Função do geossintético de controle de erosão.....	31
Figura 14: Função do geossintético de drenagem.....	31
Figura 15: Função do geossintético de filtração.....	32
Figura 16: Função do geossintético de impermeabilização.....	33
Figura 17: Função do geossintético de proteção.....	33
Figura 18: Função do geossintético de reforço.....	34
Figura 19: Função do geossintético de separação.....	34
Figura 20: Parâmetro hidráulico da permissividade.....	38
Figura 21: Parâmetro hidráulico da transmissividade.....	38
Figura 22: Manta Geotêxtil Bidim® RT.....	42
Figura 23: Fabricação do DrenoPET.....	44
Figura 24: Manuseio e aplicação do DrenoPET.....	46
Figura 25: Principais etapas para a instalação de uma trincheira drenante convencional.....	46
Figura 26: Etapas para instalação de uma trincheira drenante com DrenoPET.....	46
Figura 27: Geocompostos com garrafa PET: a) Geocomposto de 6mm b) Geocomposto de 4 cm c) geocomposto de 10 cm.....	48
Figura 28: Resultados dos testes de transmissibilidade.....	49
Figura 29: Processo de produção da Geocélula de PET.....	51
Figura 30: Geocélulas de PET aplicadas em um estacionamento.....	51
Figura 31: Geofibras feitas de garrafa PET.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação Dos Resíduos Sólidos no Brasil .....	16
Tabela 2: Normas Brasileiras Sobre Geossintéticos.....	39
Tabela 3: Comparativo econômico entre a solução convencional e o DrenoPET para uma trincheira 100m de sessão 50 x50 cm e $i = 1\%$ . .....	47

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	OBJETIVOS .....	14
1.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....	14
2	UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS .....	15
2.1	DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU).....	15
2.2	RECICLAGEM .....	17
2.2.1	Aspectos Econômicos da Reciclagem .....	18
2.2.2	Importância da Reciclagem .....	18
2.3	RECICLAGEM DOS MATERIAIS PLÁSTICOS .....	19
2.4	O PLÁSTICO POLIETILENO TEREFTALATO (PET).....	20
2.4.1	Reciclagem do Plástico PET.....	21
3	OS GEOSSINTÉTICOS .....	24
3.1	CLASSIFICAÇÃO .....	25
3.1.1	Geotêxteis .....	25
3.1.2	Geogrelhas .....	26
3.1.3	Georredes.....	26
3.1.4	Geomembranas .....	27
3.1.5	Geocompostos .....	27
3.1.6	Geotubos.....	28
3.1.7	Geocélulas .....	28
3.1.8	Geoespaçadores .....	29
3.1.9	Geofibras .....	30
3.2	PRINCIPAIS FUNÇÕES .....	30
3.2.1	Controle de erosão superficial .....	31
3.2.2	Drenagem.....	31

3.2.3	Filtração .....	32
3.2.4	Impermeabilização.....	32
3.2.5	Proteção .....	33
3.2.6	Reforço .....	34
3.2.7	Separação.....	34
3.3	PROPRIEDADES.....	35
3.3.1	Propriedades físicas .....	35
3.3.2	Propriedade mecânicas .....	36
3.3.3	Propriedades hidráulicas.....	37
3.4	NORMAS BRASILEIRAS VIGENTES .....	39
4	UTILIZAÇÃO DE GARRAFAS PET COMO GEOSSINTÉTICOS .....	41
4.1	MATÉRIA-PRIMA PARA FABRICAÇÃO DE GEOTÊXTIL .....	41
4.1.1	Recomendação IGSR 002-1:2014.....	43
4.2	APLICAÇÕES DOS GEOSSINTÉTICOS COMPOSTOS POR PET RECICLADO EM OBRAS DE ENGENHARIA.....	43
4.2.1	Aplicações em sistemas de drenagem .....	44
4.2.1.1	Substituição de materiais drenantes.....	44
4.2.1.2	Núcleo polimérico para Geocomposto .....	47
4.2.2	Aplicações para o melhoramento do comportamento do solo.....	50
4.2.2.1	Fabricação de Geocélulas .....	50
4.2.2.2	Utilização de fibras de PET .....	52
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
	ANEXOS .....	61
	ANEXO I – Projeto de Lei do Senado N° 269, de 1999. ....	61

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e as transformações na sociedade têm provocado uma produção cada vez maior de novos produtos. Neste cenário, os plásticos têm conquistado um importante espaço em várias áreas de aplicações, como a informática, a saúde e a engenharia civil.

No campo da engenharia geotécnica, que tipicamente utiliza uma grande quantidade de materiais naturais, o uso dos materiais plásticos está gradativamente mais presente em suas obras. Esse fato tem ocasionado não só a utilização dos plásticos criados para os fins geotécnicos, como os geossintéticos, mas também a utilização dos plásticos recicláveis.

Os geossintéticos têm sido cada vez mais utilizados nas últimas décadas em obras geotécnicas, em aplicações como reforço, drenos, filtros, barreiras e proteção. Como materiais de construções, os geossintéticos são de fácil transporte e instalação, e geralmente são capazes de fornecer soluções de engenharia mais baratas, de mais rápida execução e que causam menor impacto ao meio ambiente.

A exploração dos recursos naturais dos materiais de construções tradicionais vem sendo controlada e limitada por regulamentações de proteção ambiental em muitas partes do mundo. Dessa forma, os geossintéticos podem apresentar soluções para este problema com materiais alternativos, como os resíduos. Além disso, o uso de tecnologias tradicionais de construção e procedimentos que emitam quantidade excessiva de gases poluentes e com um consumo significativo de água e energia estão cada vez menos atraentes ou, até mesmo, proibidos.

O uso dos geossintéticos combinados com materiais não convencionais pode trazer benefícios para o meio ambiente. Estes são os casos em que os geossintéticos são utilizados com resíduos em aplicações como reforço de solo e sistemas de drenagem, por exemplo. Alguns materiais comumente descartados em aterros, como garrafas PET, pneus e resíduos de construção e demolição, podem encontrar um melhor destino quando utilizados na fabricação de produtos geossintéticos alternativos e de baixo custo ou associados a geossintéticos tradicionais em soluções de engenharia.

Dessa forma, o presente trabalho apresenta e discute a aplicação de garrafas PET recicladas para a fabricação de produtos geossintéticos e sua associação aos geossintéticos tradicionais para soluções em obras de engenharia.

## **1.1 OBJETIVOS**

A proposta do trabalho consiste em apresentar os resultados de estudos realizados sobre soluções sustentáveis envolvendo o uso de geossintéticos e suas combinações com as garrafas PET em trabalhos técnicos. Deste modo, o estudo tem como objetivos:

- a) Expor sobre a importância da utilização de materiais reciclados no Brasil;
- b) Analisar os tipos de geossintéticos e suas principais aplicações e propriedades;
- c) Mostrar os usos das garrafas PET recicladas como materiais geossintéticos.

## **1.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO**

Foi realizado um estudo teórico-descritivo visando discorrer sobre o uso da reciclagem de garrafas PET para a fabricação de produtos geossintéticos e sua associação aos geossintéticos tradicionais para soluções em obras de engenharia a partir de uma pesquisa bibliográfica e documental. Utilizou-se teses, dissertações, livros, revistas técnicas especializadas e artigos científicos de congressos e periódicos nacionais e internacionais a fim de discutir sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso das garrafas PET como geossintéticos.

## **2 UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS**

Atualmente o lixo é um problema ambiental e social. A cada ano a humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de resíduos. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), 99% dos produtos que compramos são descartados dentro do prazo de seis meses. Nesse ritmo, muitas regiões apresentam uma acentuada carência de espaço para armazenar os resíduos sólidos gerados pela atividade humana. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), nas grandes cidades do mundo é comum os detritos viajarem centenas de quilômetros para serem depositados em aterros, como na cidade de Toronto, no Canadá, onde os caminhões de lixo chegam a percorrer 800 km até seu destino.

A disposição do lixo o mais longe possível só aumenta os custos e transfere o problema de lugar, sem resolvê-lo, pois parte dos resíduos sólidos são constituídos de matérias-primas recicláveis como plástico, papel e vidro, que podem servir de insumos para obtenção de novos produtos. As cidades de grande porte são as que mais sofrem com essa problemática (SANTOS, 2005). Os dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) apontam que no ano de 2017 foram geradas 78,4 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em todo o País, dos quais, desse total 14% são plásticos, em suas diversas formas de apresentação (ABRELPE, 2018).

Na tentativa de diminuir os impactos causados pelos resíduos, países como a Alemanha, chegam a reciclar quase metade do seu lixo produzido. Em muitas cidades da Europa são adotadas ações para diminuir a geração de lixo, como a separação dos resíduos na origem, a coleta diretamente na casa das pessoas, a efetivação de projetos de compostagem, a ampliação das ações de reciclagem e políticas de ciclo zero, voltadas ao reaproveitamento dos materiais (EBC, 2018).

### **2.1 DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)**

É comum os autores de publicação sobre os resíduos sólidos urbanos RSU utilizarem os termos “lixo” e “resíduos sólidos” sem critérios de diferenciação. Segundo Grimberg (2004), lixo são restos de alimentos, embalagens descartadas e objetos inservíveis misturados. Quando separados em materiais secos e úmidos, a parte útil do lixo é transformado em resíduo reaproveitável ou reciclável. A parte restante, que não se tem como aproveitar, dar-se o nome de rejeito.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define lixo como sendo os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, desde que não seja passível de tratamento convencional (MONTEIRO et al., 2001).

A escolha do tratamento, aproveitamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos deve ser orientada pela sua composição física, química e biológica, que são importantes para determinar a melhor tecnologia a ser utilizada, e os custos financeiros envolvidos. É importante considerar nestes processos a preservação do meio ambiente e os aspectos relacionados ao desenvolvimento social (SANTOS, 2005).

De acordo com Santaella et al. (2014), os resíduos são classificados de diferentes formas, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação Dos Resíduos Sólidos no Brasil

<b>Classificação</b>	<b>Tipo de material</b>
Origem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resíduos domiciliares;</li> <li>• Resíduos de limpeza urbana;</li> <li>• Resíduos industriais;</li> <li>• Resíduos de serviços de saúde;</li> <li>• Resíduos da construção civil;</li> <li>• Resíduos agrossilvopastoris;</li> <li>• Resíduos de serviços de transportes;</li> <li>• Resíduos de mineração.</li> </ul>
Composição química	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orgânico;</li> <li>• Inorgânico.</li> </ul>
Periculosidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classe I – perigosos;</li> <li>• Classe II – não perigosos; <ul style="list-style-type: none"> <li>Subclasse IIA – não inerte;</li> <li>Subclasse IIB – inerte.</li> </ul> </li> </ul>

Fonte: Santaella et al. (2014)

Até meados do século XVIII, a maior parte o lixo era formado basicamente por matéria orgânica. Como a população era pequena, o destino do pouco lixo produzido era de fácil solução, eram enterrados. Essa prática favorecia a fertilização do solo e o controle de doenças.

Após a Revolução Industrial na Europa, com o aumento populacional e o crescimento industrial, a “cara” do lixo começou a mudar. Atualmente, eles não são mais formados essencialmente por matéria orgânica, mas por diversos tipos de materiais, como os papéis, plásticos, metais e vidros. O aumento do volume do lixo tem demandando cada vez maiores áreas para sua disposição. A composição diversificada e o aumento da consciência ambiental levaram a uma reavaliação das formas tradicionais de disposição (SANTOS, 2005).

Segundo Demajorovic (1995), os aterros sanitários, que é o meio mais utilizado para a disposição de resíduos com algum tratamento, apresentam graves problemas. A falta de espaço disponível, nos países desenvolvidos, para a construção de novos aterros e os problemas relacionados a poluição ambiental torna claro que o aterro não se constitui como melhor alternativa.

Outra forma de disposição final de resíduos é a incineração. No seu processo, alguns materiais presentes nos resíduos, geram compostos tóxicos e corrosivos que podem ser eliminados com a combustão, exigindo a instalação de sistema de limpeza de gases, tornando o custo muito elevado. A incineração é indicada apenas em situações que outras formas de disposição final do lixo sejam inviáveis.

A prática da reciclagem vem ganhando espaço, pois permite o reaproveitamento de parte desses resíduos, contribuindo para eliminar um dos maiores problemas urbanos da atualidade, que é o que fazer com o lixo.

## **2.2 REICLAGEM**

A reciclagem permite reintroduzir no ciclo produtivo, sob a forma de matéria-prima, aqueles materiais que não se degradam facilmente e que podem ser reprocessados, mantendo suas características básicas (VALLE, 1995). O retorno da matéria-prima ao ciclo produtivo envolve separação, coleta e muitos processos químicos. O processo de separação dos materiais a serem reciclados podem ser feitos através da coleta seletiva e de usinas de triagem.

A coleta seletiva é a separação dos materiais, na fonte geradora, de acordo com suas características e seu recolhimento. Esse procedimento apresenta quatro modalidades:

- Coleta porta a porta: O lixo é separado pelo morador em seco e úmido;

- Postos de entrega voluntária: São contêineres ou pequenos depósitos que são disponibilizados em pontos urbanos com o objetivo de estimular a entrega voluntária de materiais recicláveis;
- Pontos de troca: Programas que recebem materiais reciclados em troca de descontos ou vale-compras;
- Catadores de materiais recicláveis: Os catadores coletam os materiais e entregam à cooperativa de catadores de materiais recicláveis.

As usinas de triagem têm como atividade principal transformar materiais recicláveis em matéria-prima para a indústria. A central de triagem, que tem como objetivo receber os resíduos sólidos dos catadores e de empresas, é o lugar onde é realizada a separação de todos os materiais recicláveis, inclusive os materiais orgânicos que são destinados a compostagem.

### ***2.2.1 Aspectos Econômicos da Reciclagem***

A reciclagem não é apenas uma questão de recuperar o material reciclável, mas a oportunidade de gerar ganhos econômicos (BIDLLE, 1993). Segundo Coelho (2005), para garantir a sustentabilidade econômica da reciclagem, deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

- Os custos da separação, da coleta, do transporte, do armazenamento e da preparação antes do processamento;
- Quantidade de material disponível e suas condições de limpeza;
- Proximidade da fonte geradora com o local onde será reciclado o material;
- Os custos do processamento do produto;
- Características e aplicação do produto resultante;
- Demanda do mercado para o material reciclado;
- Aumento da vida útil dos locais de deposição de lixo e economia de energia consumida nos processos de produção de material virgem.

### ***2.2.2 Importância da Reciclagem***

De acordo com Valle (1995), a reciclagem tem como maiores estímulos dois fatores:

- Possibilidade de reduzir substancialmente o volume dos resíduos urbanos a serem dispostos ou tratados;

- Permite a recuperação de valores contidos nesses resíduos urbanos que, de certa forma, seriam perdidos.

Apesar de ser um processo caro, a reciclagem proporciona benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia e o meio social, que são destacados por Grippi (2001):

“Melhoria das condições ambientais e sanitárias dentro do município, a diminuição no volume de lixo que necessita ser aterrado, o aumento da vida útil do aterro, a economia de energia, a economia de matéria-prima virgem. Os benefícios sociais, geração de empregos diretos e indiretos, geração de renda com a venda do composto orgânico e de materiais recicláveis, o despertar do sentimento de cidadania.” (GRIPPI, 2001, p. 78).

### 2.3 RECICLAGEM DOS MATERIAIS PLÁSTICOS

Os plásticos são materiais utilizados nas indústrias para a fabricação de diversos tipos de produtos, desde embalagens e recipientes, até peças automotivas e dispositivos eletrônicos. Quando descartados de maneira inadequada, esses materiais podem trazer grandes prejuízos ao meio ambiente. Sendo assim, a separação de materiais plásticos dos outros tipos de resíduos através da coleta seletiva é um ponto fundamental. Segundo Brasil e Santos (2004):

“Quando o lixo é depositado em lixões, os problemas principais relacionados ao material plástico provêm da queima indevida e sem controle. Quando a disposição é feita em aterros os plásticos dificultam sua compactação e prejudicam a decomposição dos materiais biologicamente degradáveis” (BRASIL; SANTOS, 2004, p.88)

Além da questão do descarte inadequado, outro aspecto que causa preocupação é o volume cada vez maior de utilização do plástico, tornando ainda mais importantes as medidas para seu reaproveitamento. Segundo Forlin e Faria (2002), a reciclagem de embalagens plásticas preocupa a sociedade no mundo todo, diante do crescente volume de utilização e das consequências ambientais devido ao seu descarte não racional pós-consumo.

O aumento crescente da produção e do consumo de plásticos motivaram o senado federal brasileiro a propor o projeto de lei nº 269/99, que estabelece normas para a destinação final de garrafas e outras embalagens plásticas (Anexo I). A justificativa desse projeto de lei é o dado que só em 1997 foram produzidas no país 121 mil toneladas de plástico PET e, das quais apenas 15% foram recicladas. Isto quer dizer que, apenas nesse ano, mais de 102 mil toneladas desses

materiais foram parar nos lixões e aterros das cidades brasileiras, quando não em mares, rios e galerias de drenagem de águas pluviais.

No ano de 2016, segundo estudo encomendado pela cadeia do plástico à Fundação Instituto de Administração (FIA) da FEA-USP, a reciclagem de materiais plásticos no Brasil foi de 550,4 mil toneladas. Comparando esse volume com o que efetivamente é consumido de embalagens e equiparáveis no Brasil, temos um índice de reciclagem de 25,8% de plásticos. Considerando os dados apresentados pela *Plastics Europe*, verificou-se que o Brasil apresenta taxa de reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo próxima ao de países como Suíça e Áustria, o que indica termos avançado nesse tema, apesar de ainda não ser suficiente, principalmente quando observado as diferentes dimensões territoriais destes países (ABIPLAST, 2018).

O consumo de plástico em todo o mundo, inclusive no Brasil vem aumentando devido as vantagens proporcionadas pelos plásticos, como: a ampla gama de propriedade que vão desde a rigidez até a alta elasticidade e transparência, a segurança no manuseio, a resistência a corrosão, a baixa densidade que possibilita conseguir propriedades mecânicas extraordinárias com um peso relativamente reduzido e a grande durabilidade.

Dentre os plásticos mais utilizados no país podemos destacar os termoplásticos. Apesar da sua grande variedade, apenas seis representam cerca de 90% de consumo no mercado brasileiro (CEMPRE, 2019):

- Polietileno tereftalato (PET): Usado em garrafas de refrigerantes;
- Polietileno de alta densidade (PEAD): É consumido por fabricantes de engradados de bebidas, baldes, tambores, autopeças e outros produtos;
- Cloreto de polivinila (PVC): Comum em tubos e conexões e garrafas para água mineral e detergentes líquidos;
- Polipropileno (PP): Que compõe embalagens de massas e biscoitos, potes de margarina, utilidades domésticas e as embalagens de salgadinhos;
- Poliestireno (PS): Utilizado na fabricação de eletrodomésticos e copos descartáveis.

## 2.4 O PLÁSTICO POLIETILENO TEREFTALATO (PET)

PET é a sigla designada para o Polietileno Tereftalato, poliéster ou polímero termoplástico, isto é, uma espécie de plástico extremamente resistente e 100% reciclável, cuja composição química não produz nenhum produto tóxico, sendo formada apenas de carbono, hidrogênio e oxigênio (LUCAS; MORAES, 2014). O PET hoje é utilizado no envasamento de

água, refrigerantes, medicamentos, cosméticos, óleos comestíveis, entre outros. No Brasil, a sua primeira utilização ocorreu na indústria têxtil, no ano de 1988, e apenas em 1993 passou a ser usado como embalagem de refrigerantes (ABIPET, 2019).

Sua utilização em larga escala foi possível devido as vantagens das embalagens do PET frente aos outros tipos de materiais. Podendo ser destacado como vantagens (ABIPET, 2012):

- Excelentes propriedades de barreira para gases e odores;
- Alta resistência mecânica e química;
- Embalagens mais livres, com otimização no transporte e manuseio;
- Peso reduzido, fator importante para a redução dos custos com frete;
- Evita interrupções na linha de montagem por quebra de embalagens;
- Apresenta segurança e praticidade;
- Composição de material 100% reciclável.

A sua maior aplicação, em torno de 90% é direcionada a fabricação de embalagens (ABIPLAST, 2018). As embalagens PET são as que apresentam a maior proporção entre os plásticos dentro do lixo urbano brasileiro, apesar disso, também são as mais visadas à reciclagem (BEZERRA et al., 1998).

#### ***2.4.1 Reciclagem do Plástico PET***

A garrafa PET é um material bem-sucedido, sob os aspectos técnico e econômico, em virtude do baixo custo, uma vez que se trata de um produto descartado, abundante e fácil de encontrar em ambiente urbano. No entanto, quando analisado sob ponto de vista ecológico, apresenta algumas limitações. Como a maioria das embalagens, o uso de garrafa PET tem um ciclo de vida muito curto, muitas vezes, de apenas uma semana entre sua produção, distribuição consumo e descarte. Entretanto, a vida inútil da embalagem PET, pelo contrário, é extremamente longa. Estima-se que cada garrafa produzida pode levar séculos para ser degradada pela natureza (SILVA, 2007).

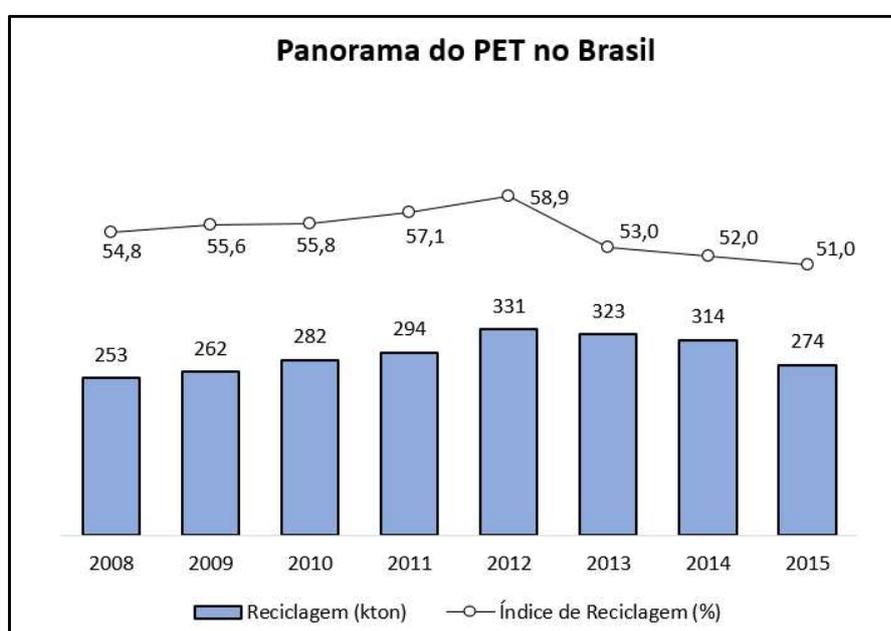
Conforme Demajorovic (1995), com o aumento da utilização do PET e os problemas relacionados à disposição dos resíduos sólidos, a reciclagem aparece como uma solução, reduzindo o volume a ser disposto, aumentando a vida útil dos aterros sanitários e permitindo o reaproveitamento dos resíduos que, possuem valor econômico como matéria-prima, reincorporando-os ao processo produtivo e reduzindo o seu impacto ambiental.

O processo de reciclagem se dá por meio da moagem e lavagem das embalagens ou da mistura com reagentes químicos capazes de restaurar o produto original. Desta maneira os polímeros são novamente transformados em grãos.

Na atualidade, o maior mercado para o PET pós-consumo no Brasil é a produção de fibras para a fabricação de cordas (multifilamentos), fios de costura (monofilamentos) e cerdas de vassouras e escovas. A outra parcela é destinada à moldagem de autopeças, garrafas de detergentes, mantas não tecidas, carpetes e enchimentos de travesseiros (CEMPRE, 2019).

A reciclagem das embalagens PET, como as garrafas de refrigerantes, teve uma leve redução nos últimos anos, conforme mostrado na Figura 1. A baixa atividade econômica, resultando na queda da demanda, e redução drástica do preço do petróleo, são fatores que reduzem a rentabilidade e, portanto, a atratividade da matéria-prima reciclável. Reflete negativamente sobre a reciclagem a queda de quase 50% nas atividades dos setores importantes, como têxtil, químico, automotivo e de transporte, já que são grandes consumidores de matéria-prima reciclada (ABIPET, 2016).

Figura 1: Panorama do PET no Brasil



Fonte: ABIPET, 2016

Em 2015, 51% das embalagens pós-consumo foram recicladas, totalizando 274 mil toneladas, número relativamente baixo se comparado com a reciclagem de latas de alumínio que, de acordo com a ABRALATAS (2019), obteve 97,7% em 2016 e 97,3% em 2017, índices maiores que o dos Estados Unidos, do Japão e de alguns países da Europa. A recuperação destas garrafas é feita principalmente pelos catadores, além das fábricas e da coleta seletiva realizada

pelos municípios. No Brasil, apenas 1227 municípios (cerca de 22%) operam programas de coleta seletiva, atendendo somente 17% da população brasileira (35 milhões de brasileiros), segundo pesquisa realizada pela CEMPRE em 2018.

As novas aplicações para o PET reciclado, principalmente na engenharia, têm sido estimuladas pelos avanços tecnológicos e pela evolução do mercado. A substituição dos materiais convencionais pelos materiais alternativos na engenharia traz como benefícios a preservação dos recursos naturais e a implementação de novas tecnologias. Estes materiais alternativos muitas vezes apresentam características parecidas ou, até mesmo, superiores aqueles que seriam utilizados para o mesmo propósito. Várias pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de utilizar materiais recicláveis PET.

Paranhos (2002) realizou uma pesquisa com o objetivo de substituir as britas e seixos rolados utilizados como elemento drenante pelas garrafas PET. A empresa de tintas Suvinil implementou, na fabricação de linha de tintas e vernizes a utilização de resina PET como seu principal componente, reduzindo em 40% a quantidade de efluentes químicos na produção desses produtos. A UFSCar & EBR desenvolveu tubos de esgoto com resina PET nos diâmetros de 40, 60, 75, 100 mm, apresentando como benefício uma maior rigidez e um custo de 15 a 20% menor que o PVC.

### 3 OS GEOSSINTÉTICOS

De acordo com a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), os geossintéticos são produtos industrializados do qual ao menos um de seus componentes é produzido com polímero sintético ou natural, sendo utilizados em contato com o solo ou com outros materiais em obras de engenharia.

De acordo com a IGS Brasil (2007), algumas das vantagens da utilização dos geossintéticos são:

- Preservação do meio ambiente, por serem alternativos aos materiais naturais;
- Menor tempo de execução das obras, por apresentarem facilidade de instalação em relação aos agregados naturais, que exigem equipamentos de grande porte;
- Confiabilidade de produtos devido ao controle de qualidade industrial;
- Disponibilidade de produtos com propriedades hidráulicas e mecânicas de boa capacidade de suporte;
- Versatilidade de aplicações, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: Aplicações dos Geossintéticos



Fonte: Adaptado de Luc, 2015

### 3.1 CLASSIFICAÇÃO

Os geossintéticos podem ser classificados de modo geral em categorias dependendo do processo de fabricação. De acordo a NBR ISO 10318:1 – Geossintéticos - Parte 1: Termos e Definições, as denominações dos geossintéticos estão brevemente descritas a seguir.

#### 3.1.1 Geotêxteis

Geotêxteis são mantas permeáveis e flexíveis cujas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem que desempenhe várias funções em obras geotécnicas. De acordo com IGS (2007), as principais funções desempenhadas pelos geotêxteis são as de separação, proteção, filtração, drenagem, reforço e controle de erosões. A Figura 3 a seguir apresenta um exemplo de aplicação do geotêxtil em taludes.

Figura 3: Instalação de geotêxtil em taludes.



Fonte: BIDIM, 2003

Segundo a NBR ISO 10318:1, os geotêxteis são divididos em três categorias, em relação a disposição de suas fibras. A primeira delas é o geotêxtil tecido, que são formados por intermédio do entrelaçamento de fios em direções preferenciais; a segunda é o geotêxtil não-tecido, compostos por fibras ou filamentos contínuos e distribuídos aleatoriamente; e a terceira é o geotêxtil tricotado, cujo fios são entrelaçados por tricotamento.

### 3.1.2 Geogrelhas

As Geogrelhas são assim denominadas pois são materiais geossintéticos com forma de grelha, como pode ser visto na Figura 4. As geogrelhas são constituídas por materiais resistentes a tração e suas aberturas permitem a interação com o meio em que estão confinadas.

Figura 4: Geogrelha



Fonte: EMANTEC, 2019

Dependendo do processo de fabricação, as grelhas podem ser soldadas, tecidas ou extrudadas. As principais aplicações desse tipo de geossintético são as de reforço em obras de aterro, pavimentos e taludes.

### 3.1.3 Georredes

As georredes são produtos com estrutura semelhantes as grelhas, como apresentado na Figura 5.

Figura 5: Georredes



Fonte: TAGAPE, 2019

A principal função da georrede é a de drenagem, elas apresentam alta porosidade ao longo do plano e são usadas para conduzir elevadas vazões de fluidos. É comum seu uso em conjunto com outros geossintéticos, como as geomembranas ou geotêxtil, formando os geocompostos.

### **3.1.4 Geomembranas**

As geomembranas são mantas, de baixíssima permeabilidade, flexíveis e contínuas, compostas de um ou mais materiais sintéticos. A Figura 6 mostra um exemplo de geomembrana. De acordo com a IGS (2003), as geomembranas são usadas como barreiras para fluidos, gases e vapores, dessa forma, é bastante empregada em canais, barragens, aterros sanitários, túneis e lagoas.

Figura 6: Geomembrana



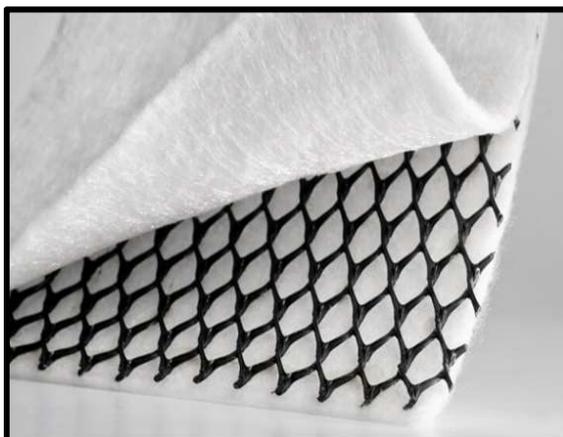
Fonte: Embu Geomembrana, 2019

### **3.1.5 Geocompostos**

Segundo a NBR ISO 10318:1, os geocompostos são materiais formados pela associação de dois geossintéticos ou entre um geossintético e outro produtos, em geral preparado para desempenhar uma função específica.

São muito usados em sistemas de drenagem, podendo trabalhar em drenos horizontais ou verticais. Os geocompostos drenantes ou geodrenos são constituídos por um núcleo de material plástico drenante envolvido por um filtro geotêxtil, como apresentado na Figura 7, e atuam na substituição dos sistemas drenantes convencionais, que são compostos de material granular.

Figura 7: Geocomposto



Fonte: Embu Geomembrana, 2019

### 3.1.6 Geotubos

Os geotubos são materiais poliméricos de forma tubular que pode ser perfurado ou não. São comumente usados na drenagem de líquidos e gases, como por exemplo, a coleta de chorume ou gases em aplicações de aterros sanitários (IGS, 2003).

A Figura 8 mostra esse tipo de material.

Figura 8: Geotubos



Fonte: IGS, 2017

### 3.1.7 Geocélulas

As geocélulas são produtos com arranjos tridimensionais abertos, constituídos por tiras poliméricas, como mostrado na Figura 9. As células são conectadas e preenchidas com materiais, como o solo, concreto ou materiais granulares.

Figura 9: Geocélula



Fonte: Inovageo, 2016

Elas podem ser utilizadas para resolver problemas da engenharia civil relacionados com a capacidade de suporte sobre solos moles, erosão em taludes, revestimento de canais e em diversas aplicações em aterros sanitários.

A Figura 10 apresenta a geocélula sendo usada para revestimento de canais.

Figura 10: Uso da geocélula em revestimento de canais



Fonte: Geossintec, 2017

### 3.1.8 Geoespaçadores

Os geoespaçadores são estruturas tridimensionais, como pode ser visto na Figura 11. Eles são utilizados para criar um espaço de ar no solo ou em outros materiais, em aplicações de obras de engenharia. São comumente usados em conjunto com outros geossintéticos formando os geocompostos.

Figura 11: Geoespaçador



Fonte: Geocontract, 2019

### 3.1.9 Geofibras

As geofibras são materiais poliméricos em forma de fibras, como mostrado na Figura 12. Elas apresentam a função predominante de reforço.

Figura 12: Geofibras



Fonte: Polyrope-fence, 2019

## 3.2 PRINCIPAIS FUNÇÕES

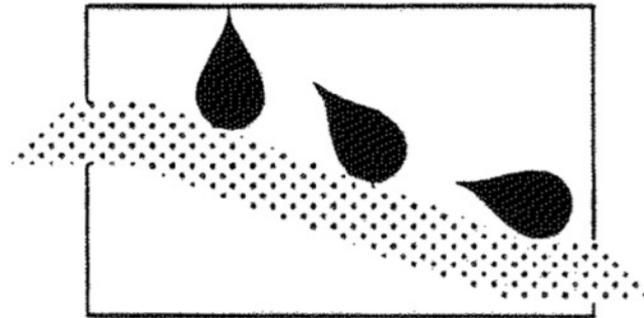
Em obras de engenharia, os geossintéticos podem desempenhas inúmeras funções. A seguir são definas as principais funções de acordo com a NBR ISO 10318:1 – Geossintéticos - Parte 1: Termos e Definições.

### 3.2.1 Controle de erosão superficial

De acordo com a NBR ISO 10318:1, o uso do geossintético aplicado ao controle de erosão permite evitar ou limitar os movimentos do solo ou de outras partículas na superfície de taludes ou margens de rios.

O geossintético, na forma de mantas ou colchões, são dispostos ao longo do talude para minimizar os efeitos da erosão na superfície causados pelo impacto da chuva e pelo escoamento superficial da água, como mostrado na Figura 13.

Figura 13: Função do geossintético de controle de erosão

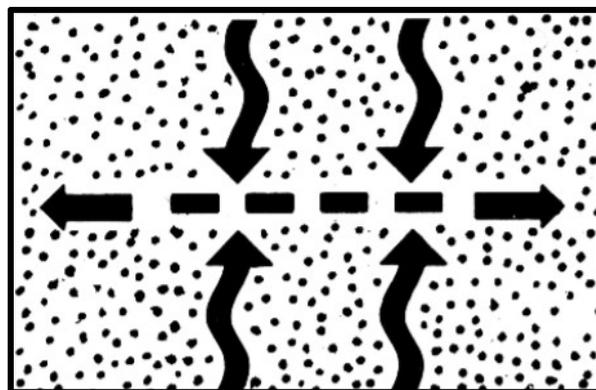


Fonte: Courard, 2015

### 3.2.2 Drenagem

O geossintético age como um dreno que coleta e conduz águas pluviais, águas subterrâneas e outros fluidos através de solos com menor permeabilidade, como apresentado na Figura 14.

Figura 14: Função do geossintético de drenagem



Fonte: ABINT, 2001

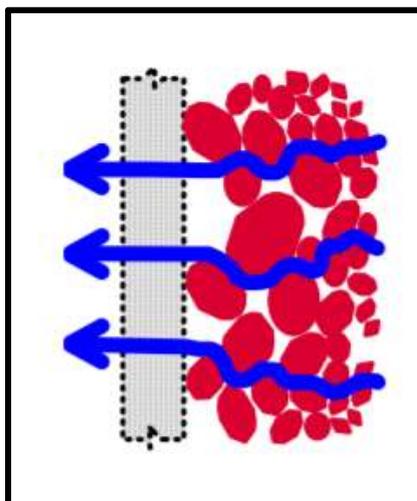
Geossintéticos que apresentam essa função são utilizados no sistema de drenagem de pavimentos, taludes, contaminantes em aterros e em obras de saneamento.

Os drenos de agregados naturais de brita ou de areia podem ser substituídos, por exemplo, pelas georredes, que garantem as vantagens de maior rapidez de execução e economia de espaço, pois uma georrede com espessura de 5 mm pode substituir uma camada drenante de areia grossa de 30 cm (NORTÈNE, 2012).

### 3.2.3 Filtração

De acordo com a NBR ISO 10318:1, o uso do geossintético como função de filtração desempenha papel similar a um filtro de areia, permitindo a livre passagem de água através do solo enquanto retém as partículas sólidas, de acordo com a Figura 15.

Figura 15: Função do geossintético de filtração



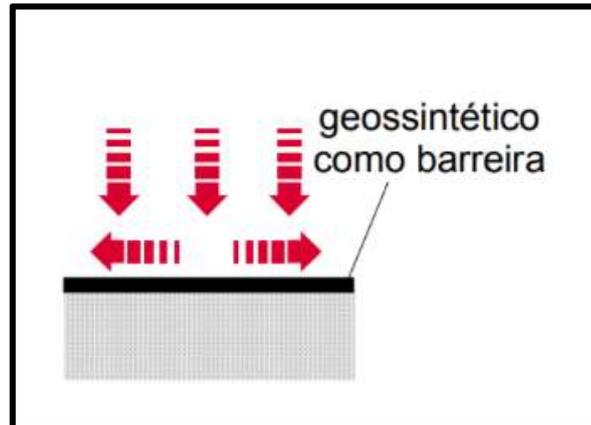
Fonte: IGS, 2013

Os geossintéticos substituem com vantagem uma ou mais camadas de agregado naturais nos sistemas filtrantes convencionais. Além disso, sua regularidade como produto industrial, portanto com características controladas e regulares, dá a obra uma qualidade elevada, proporcionando também sensível redução de custos, em relação as camadas de filtros naturais (VERTEMATTI, 2015).

### 3.2.4 Impermeabilização

O geossintético atua como uma barreira de fluxo prevenindo e limitando a migração de fluidos e gases, como ilustrado na Figura 16.

Figura 16: Função do geossintético de impermeabilização



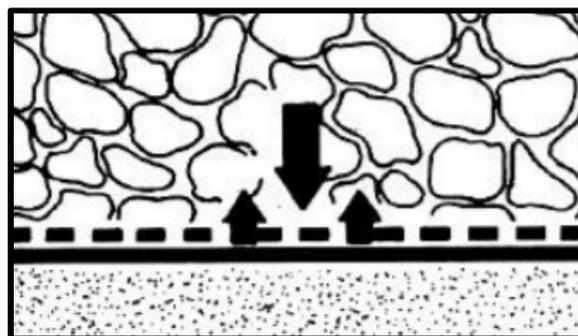
Fonte: IGS, 2013

Além de serem empregados como barreiras para impedir o escoamento de líquidos e gases, os geossintéticos podem ser utilizados na capa asfáltica de pavimentos, no envelopamento de solos expansivos e na contenção de contaminantes em aterros sanitários e em lagoas de decantação de barragem de rejeitos de mineração.

### 3.2.5 Proteção

O geossintético com a função de proteção é utilizado na prevenção ou limitação de danos que possam ocorrer em um dado elemento ou material, como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17: Função do geossintético de proteção



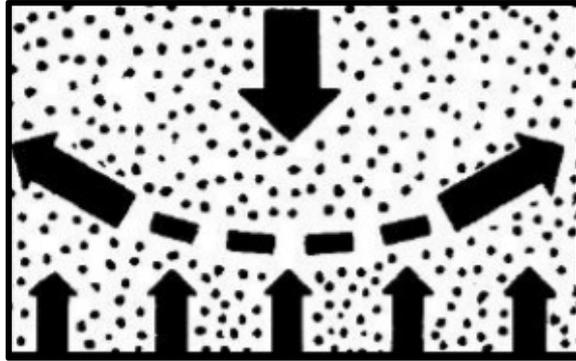
Fonte: ABINT, 2001

Quando são utilizados como protetores, o objetivo dos geossintéticos reduzir os danos causados a uma determinada superfície, preservando suas características originais (VERTEMATTI, 2015).

### 3.2.6 Reforço

A função de reforço de um geossintético é a utilização da sua resistência a tração para reforçar e/ou restringir deformações, assim melhorando o comportamento mecânico do solo ou de outros materiais de construção, como apresentado na Figura 18.

Figura 18: Função do geossintético de reforço



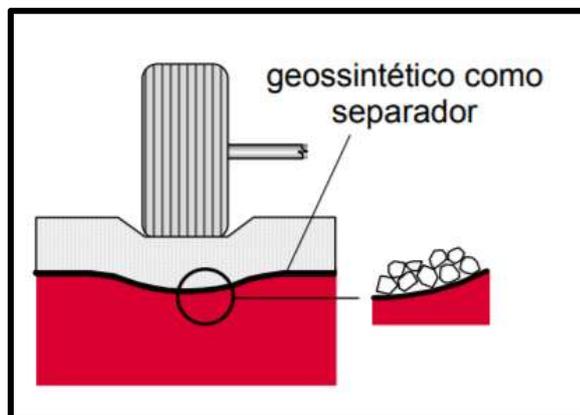
Fonte: ABINT, 2001

Os geossintéticos que apresentam essa função são aplicados em obras de reforço de aterro sobre solos moles, de muros e taludes íngremes, de fundações e da base de pavimentos, tendo a capacidade de absorver as tensões de cisalhamento e distribuir a carga sobre a superfície.

### 3.2.7 Separação

A função de separação é definida como a introdução de um geossintético entre materiais diferentes, de forma que evite a sua mistura, mantendo a integridade e funcionalidade desses materiais, como apresentado na Figura 19.

Figura 19: Função do geossintético de separação



Fonte: IGS, 2013

Os geossintéticos com essa função são utilizados em obras de pavimentação para evitar que os materiais da base penetrem no solo mole de camadas subjacentes, assim mantendo a espessura da camada de projeto e a integridade da estrada.

### 3.3 PROPRIEDADES

Como visto anteriormente, os geossintéticos podem desempenhar diversas funções em um projeto de engenharia. A escolha dos geossintéticos para atender as exigências de cada obra deve se basear em propriedades que retratam as condições técnicas a que serão submetidos (VERTEMATTI, 2015).

As propriedades são determinadas, normalmente, a partir dos ensaios de laboratório, os quais reproduzem os aspectos importantes da interação do geossintéticos com o meio em que estão inseridos. Além do mais, esses materiais devem apresentar uma vida útil compatível com a das obras onde serão aplicados (BUENO, 2003a).

As principais propriedades dos geossintéticos que em geral são requeridas nas especificações e orientações de cada obra são as propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas.

#### 3.3.1 *Propriedades físicas*

As propriedades físicas do geossintéticos são consideradas propriedades-índices. Elas servem para identificar os produtos. As principais são: gramatura, espessura nominal, porosidade e porcentagem de área aberta. Conforme Vertematti (2015), descreve-se a seguir as propriedades físicas desses materiais:

##### **Gramatura**

É a relação entre massa e a área de um corpo de prova de geometria regular, expressa em g/m<sup>2</sup>. Está associada ao custo do material e a sua resistência mecânica. A gramatura deve ser entendida apenas como um índice de caracterização e ser utilizada apenas como comparação entre os geossintéticos com os mesmos processos de fabricação e as mesmas matérias-primas. Ela não deve sozinha ser utilizada como propriedade de especificação, pois produtos com a mesma gramatura podem apresentar propriedades mecânicas e hidráulicas completamente diferentes.

### **Espessura Nominal**

É determinada a partir da medição entre a distância entre duas placas rígidas que comprimem um corpo de prova sob uma tensão de 2 kPa. A espessura nominal é expressa em milímetros.

### **Porosidade**

A porosidade é definida como sendo a relação entre o volume de poros e o volume total de uma amostra.

### **Porcentagem de Área Aberta**

A porcentagem de área aberta é a área dos espaços vazios resultante dos processos de tecelagem, entre os elementos longitudinais e os transversais, em alguns tipos de geossintéticos.

## ***3.3.2 Propriedade mecânicas***

Segundo Vertematti (2015), as propriedades mecânicas dos geossintéticos, em princípio, são utilizadas em métodos de dimensionamento. É importante analisar a resistência dos geossintéticos às tensões ao qual será submetido em uma obra. O ensaio mais comum é o de tração, sendo realizado segundo diferentes arranjos e configurações. As principais propriedades mecânicas são descritas a seguir (VERTEMATTI, 2015):

### **Compressibilidade**

A compressibilidade é obtida através do registro da espessura do geossintéticos quando submetido a diversos níveis de carregamentos. Normalmente são utilizadas as tensões de 10, 20, 50, 100 e 200 kPa.

### **Resistência à Tração Unidirecional**

A resistência à tração de um geossintético pode ser obtida de diferentes formas, cada uma buscando se aproximar das condições de campo. Em geral, esse tipo de ensaio se resume em prender as extremidades dos corpos de prova com um par de garras metálicas e submeter o conjunto a uma máquina universal de ensaio.

### **Resistência ao Estouro**

Em algumas situações, os geossintéticos podem ser tracionados multidirecionalmente, como, por exemplo, no reforço de aterro sobre um vazio circular. Ao ser tracionados, eles deformam-se e assume uma forma esférica. O ensaio de resistência ao estouro fornece um índice de classificação qualitativa dos geossintéticos em relação a esse tipo de solicitação.

### **Resistência à Propagação de Rasgos**

No decorrer da sua vida útil, os geossintéticos podem ser solicitados à propagação de rasgos, que ocorreria a partir de um corte inicial. Tal situação pode ocorrer desde a sua fase inicial, pelo manuseio descuidado ou sob ação de vento. O ensaio de propagação do rasgo trapezoidal, comumente utilizado em geotêxtil e materiais correlatos, mede a resistência à propagação de um rasgo.

### **Resistência à Puncionamentos**

Em muitas situações práticas, os geossintéticos podem ficar submetidos a esforços de compressão causados pelo contato com grãos isolados, podendo sofrer perfurações. A quantificação da resistência à puncionamentos é realizada fixando-se um corpo de prova às bordas de um cilindro rígido e submetendo-o a uma força estática ou dinâmica. São registrados a força máxima necessária para perfurar o corpo de prova e o deslocamento correspondente.

### **Fluência**

A fluência representa a deformação ao longo do tempo que os geossintéticos sofrem sob carregamento de longa duração. A fluência é tanto maior quando for a magnitude do carregamento aplicado e a temperatura do meio em que o geossintético é inserido.

#### ***3.3.3 Propriedades hidráulicas***

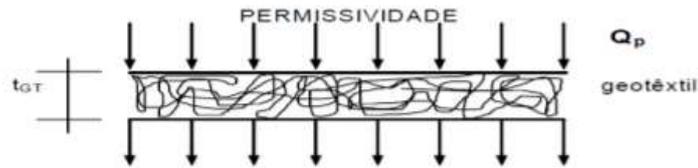
No Brasil, os geossintéticos são mais empregados para o uso em obras de drenagem e filtração. Dessa maneira, é necessário conhecer propriedades hidráulicas desses materiais para determinar a sua correta aplicação no sistema em que será utilizado.

### **Permissividade**

A permissividade é a relação entre a permeabilidade normal do geossintético e a sua espessura sob determinada tensão. Para a determinação do coeficiente de permeabilidade

utiliza-se os parâmetros de carga constante e de carga variável (MACCAFERRI, 2008). Esta propriedade é importante quando o geossintético desempenha a função de dreno. A Figura 20 mostra o parâmetro da permissividade, onde  $Q_p$  representa a vazão correspondente à permissividade e  $t_{GT}$  é a espessura do geotêxtil.

Figura 20: Parâmetro hidráulico da permissividade

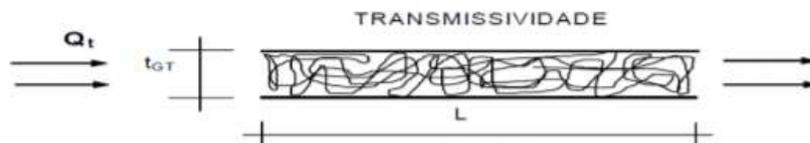


Fonte: FARIAS, 2005

### **Transmissividade**

A transmissividade é determinada pelo produto entre permeabilidade planar do geossintético e da sua espessura, sob determinada tensão normal de confinamento. O valor da transmissividade é obtido através da medição da quantidade de água que passa por um corpo de prova em um determinado tempo, sob uma tensão normal e um gradiente hidráulico específico (NORTÈNE, 2012). A Figura 21 mostra o parâmetro da transmissividade, onde  $Q_t$  representa a vazão correspondente à transmissividade,  $t_{GT}$  é a espessura do geotêxtil e  $L$  é o comprimento pelo qual o fluxo correspondente a transmissividade percorre.

Figura 21: Parâmetro hidráulico da transmissividade



Fonte: FARIAS, 2005

### **Abertura de Filtração**

A abertura de filtração é o diâmetro correspondente a maior partícula que pode atravessar o geossintético. Esse parâmetro é determinado através do peneiramento úmido (BUENO, 2003a).

### 3.4 NORMAS BRASILEIRAS VIGENTES

A maioria das propriedades dos geossintéticos de interesse numa obra de engenharia possui normas de ensaios especiais e procedimentos gerais que norteiam a direção dos estudos.

É relevante destacar que a grande experiência acumulada com o uso dos geossintéticos provém dos países do hemisfério norte, cujo clima é temperado. Dessa maneira, foi criado o Comitê Brasileiro de geossintéticos/ABNT, que vem atuando intensamente desde 1990, na intenção de criar normas brasileiras adequadas as nossas condições (VERTEMATTI, 2015).

A Tabela 2 sintetiza as normas brasileiras disponíveis na ABNT sobre geossintéticos.

Tabela 2: Normas Brasileiras Sobre Geossintéticos

<b>Código</b>	<b>Norma</b>	<b>Ano</b>
ABNT NBR ISO 10318-1	Geossintéticos — Parte 1: Termos e definições	2018
ABNT NBR ISO 10318-2	Geossintéticos — Parte 2: Símbolos e pictogramas.	2018
ABNT NBR ISO 10319	Geossintéticos — Ensaio de tração faixa larga	2013
ABNT NBR ISO 10320	Geotêxteis e produtos correlatos — Identificação na obra	2013
ABNT NBR ISO 10321	Geossintéticos — Ensaio de tração de emendas pelo método da faixa larga	2013
ABNT NBR ISO 11058	Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento	2013
ABNT NBR ISO 12236	Geossintéticos — Ensaio de puncionamentos estático (punção CBR)	2013
ABNT NBR ISO 12956	Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação da abertura de filtração característica	2013
ABNT NBR ISO 12957-1	Geossintéticos — Determinação das características de atrito - Parte 1: Ensaio de cisalhamento direto	2013
ABNT NBR ISO 12957-2	Geossintéticos — Determinação das características de atrito - Parte 2: Ensaio de plano inclinado.	2013
ABNT NBR ISO 12958	Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação da capacidade de fluxo no plano	2013

ABNT NBR ISO 13433	Geossintéticos — Ensaio de perfuração dinâmica (ensaio de queda de cone)	2013
ABNT NBR ISO 25619-1	Geossintéticos — Determinação do comportamento em compressão - Parte 1: Propriedades na fluência à compressão.	2013
ABNT NBR ISO 9862	Geossintéticos — Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios	2013
ABNT NBR ISO 9863-1	Geossintéticos — Determinação da espessura a pressões especificadas - Parte 1: Camada única	2013
ABNT NBR ISO 9864	Geossintéticos — Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos	2013
ABNT NBR 15856	Geomembranas e produtos correlatos — Determinação das propriedades de tração	2010
ABNT NBR 15226	Geossintéticos — Determinação do comportamento em deformação e na ruptura, por fluência sob tração não confinada	2005

Fonte: ABNT, 2019

## **4 UTILIZAÇÃO DE GARRAFAS PET COMO GEOSSINTÉTICOS**

Nas obras de engenharia, é essencial o emprego de diferentes materiais que possibilitem atender as necessidades impostas pelas suas solicitações, bem como pelo ambiente ao redor. Neste cenário, a utilização de produtos sintéticos vem, gradualmente, tendo uma aceitabilidade em diversas etapas de uma obra, devido às vantagens oferecidas.

De acordo com Silva (2007), a fabricação dos materiais geossintéticos necessitam de um controle do processo produtivo, o que pode resultar em um custo elevado de produção por parte das indústrias, sendo assim aumentando o custo do material. Tal motivo, pode dificultar a utilização dos geossintéticos em larga escala, sendo necessária a aplicação de alternativas que venham agregar eficiência construtiva e economia nas obras de engenharia.

Além das questões econômicas para a utilização de materiais alternativos, contribui também as questões ambientais. Devido aos danos causados pela excessiva geração de resíduos sólidos nas cidades, tem aumentado o interesse no gerenciamento e na disposição dos resíduos sólidos urbanos. Dessa forma, algumas práticas como a reciclagem vem ganhando destaque por todo mundo.

As garrafas PET já vêm sendo utilizadas há bastante tempo como matéria-prima para os geotêxteis. Atualmente existem diversas pesquisas desenvolvidas no Brasil que tratam da utilização de garrafas PET como material alternativo ao geossintético para aplicações em obras de engenharia, como a sua utilização em sistemas de drenagem e melhoramentos de solo, que serão abordados neste trabalho.

### **4.1 MATÉRIA-PRIMA PARA FABRICAÇÃO DE GEOTÊXTIL**

A indústria dos geossintéticos utiliza o plástico PET reciclado há mais de 20 anos para a matéria-prima dos geotêxteis. A garrafa PET apresenta diversos benefícios sobre outros materiais reciclados. É um polímero nobre que possibilita uma reciclagem eficiente com baixa perda das características do material. Esse material garante uma qualidade de reciclado mais estável, já que é a primeira reciclagem do produto.

O setor de não-tecidos utiliza cerca 35 mil toneladas de garrafa PET reciclada por ano, o que representa 12,7% do total de garrafas recicladas no país. A categoria dos não-tecidos, é composta por outros produtos, além dos geotêxteis, como os produtos da indústria automobilística (ABIPET, 2016). De acordo com o CTG – Comitê Técnico de Geossintéticos

da ABINT, o que impede a indústria de reciclagem crescer no país é a falta de coleta das embalagens.

É relevante ressaltar que independentemente da matéria-prima utilizada na fabricação dos geossintéticos, a qualidade da aplicação deles é garantida a partir de normas.

Os geossintéticos como os geotêxtis já apresentam na sua composição o PET reciclado, segundo o CTG, em alguns casos, o material reciclado chegam a representar 70% da matéria-prima desse tipo de geossintético (SANTOMAURO, 2018).

A qualidade do material é fundamental para o procedimento de fabricação das fibras e dos filamentos que darão origem ao geotêxtil, já que muitas vezes são usados em obras que necessitam uma longa duração. Diversos estudos mostram que os geotêxtis que apresentam matéria-prima de materiais reciclados mantêm-se com suas propriedades inalteradas mesmo após 20 anos de utilização.

O procedimento para a fabricação desses geossintéticos é simples, mas necessita de cuidados técnicos em suas etapas. Primeiramente, os volumes de PET originados do pós-consumo são recebidos e passam por um processo de seleção e separação de possíveis contaminantes. Na sequência, são conduzidos para o processo de lavagem, descontaminação e moagem, se transformando em flakes, que é o plástico PET triturado e descontaminado em formato de flocos. Em seguida, os flakes são fundidos por aquecimento e transformados em filamentos muito finos, que são estirados, frisados, cortados em fibras e enfardados (AMBIENTE BRASIL, 2018).

A Figura 22 mostra a Manta Geotêxtil Bidim® RT que foi produzida a partir de matéria-prima reciclada sob rigorosos padrões internacionais de qualidade.

Figura 22: Manta Geotêxtil Bidim® RT



Fonte: Geocontract, 2019

#### **4.1.1 Recomendação IGSR 002-1:2014**

Devido à expansão da utilização dos geotêxteis em todo o país, a Associação Brasileira de Geossintéticos (IGSR) elaborou a recomendação 002-1:2014 – Características Requeridas para o Emprego de Geossintéticos – Parte 1: Geotêxteis e Produtos Correlatos. Ela especifica as características relevantes dos geotêxteis e dos produtos correlatos e os métodos de ensaio apropriados para determinar estas características, considerando a função ou as funções que estes produtos irão desempenhar para cada tipo de aplicação.

A recomendação cita o uso de materiais reciclados pós-consumo como matéria-prima para os geotêxteis. De acordo com o IGS, devido aos avanços na técnica de reciclagem do PET e a experiência brasileira, um produto contendo essa matéria-prima pode ser aplicado para obras com vida útil superior a 5 anos, em obras com solo e água naturais (que estejam entre  $4 < \text{pH} < 9$  e temperatura  $< 25^{\circ}\text{C}$ ), desde que não desempenhe função de reforço e atenda aos critérios como (IGS BRASIL, 2014):

- A matéria-prima seja fornecida por empresa recicladora que tenha certificação ISO 9001;
- O certificado de qualidade do produto indique:
  - Que contém matéria-prima proveniente de reciclagem pós-consumo;
  - O valor da Viscosidade Intrínseca do produto acabado submetido aos ensaios de controle e de durabilidade; e
  - Que os resultados dos ensaios de durabilidade satisfazem os valores exigidos.

#### **4.2 APLICAÇÕES DOS GEOSINTÉTICOS COMPOSTOS POR PET RECICLADO EM OBRAS DE ENGENHARIA**

Alguns materiais, geralmente considerados como resíduos pelo público em geral, podem ser combinados com geossintéticos em obras de engenharia, como as garrafas PET. O uso desses materiais pode ser interessante em diversas aplicações, como por exemplo em sistemas de drenagem.

Como qualquer material de construção não convencional, esses materiais precisam ser estudados e devem ter suas respectivas propriedades de engenharia determinadas para serem utilizados em obras. Dependendo do material considerado, isso pode exigir que testes em larga escala sejam realizados.

#### 4.2.1 Aplicações em sistemas de drenagem

Sistemas de drenagem são elementos ou conjuntos de elementos cujo a função é coletar e conduzir rapidamente fluidos, como os líquidos e gases (IGS BRASIL, 2016). Esta seção apresenta algumas aplicações em que os geossintéticos foram utilizados em sistemas de drenagem em combinação com as garrafas PET.

##### 4.2.1.1 Substituição de materiais drenantes

As garrafas de PET recicladas podem ser utilizadas em substituição a materiais como brita, areia e cascalho, em núcleo drenante de sistemas de drenagem na construção civil e ambiental. Isso apresenta benefícios em regiões onde materiais granulares convencionais são caros ou que não possam ser utilizados devido a restrições impostas por regulamentos ambientais, por causa da exploração descontrolada de suas jazidas naturais. Esse sistema já foi utilizado em cidades como a de Brasília, em drenos de vias e de estradas.

A garrafa PET prensada assume a forma parecida com a de uma pedra, dessa forma ela pode ser utilizada como núcleo drenante combinada ao elemento de filtro, como por exemplo o geotêxtil não tecido, dando origem a um cilindro flexível cujo comprimento e diâmetro variam de acordo com as características da obra em que o dreno é empregado. A esse cilindro foi dado o nome de DrenoPET.

Desenvolvido por Paranhos (2016), o DrenoPET é um dreno pré-moldado constituído de geotêxtil e um núcleo drenante de garrafas de PET prensadas, como apresentado na Figura 23. Esse material é utilizado para a aplicação em obras geotécnicas e de meio ambiente.

Figura 23: Fabricação do DrenoPET



Fonte: Paranhos, 2016

No DrenoPET o geotêxtil é o filtro e as garrafas de PET tem a função de material drenante e condutor ao mesmo tempo, pela sua elevada permeabilidade. Se a vazão em obras no qual o dreno vá ser utilizado seja exagerada, pode ser colocado no seu interior um tudo de dreno no seu interior. A utilização desse tipo de dreno, por ser pré-moldado, elimina completamente qualquer tendência errônea nas aplicações técnicas dos materiais (PARANHOS, 2016).

O uso do DrenoPET é indicado para aplicações em obras de drenagem sobre lajes, como os jardins suspensos, pois alivia significativamente os esforços transmitidos para as estruturas de lajes, vigas, pilares e fundações. Ele apresenta também um uso potencial em obras de rebaixamento de lençol freático, obras viárias, drenagem de chorume, drenagem industrial, drenagem de áreas verdes e de lazer, drenagem agrícola, entre outras.

Segundo Paranhos (2016), o DrenoPET reduz o tempo dos funcionários dentro de valas de drenagem em 95%, elimina a presença de máquinas pesadas próximo das escavações, reduz a zero as contusões causadas por impacto de pedras, retira por completo o operário do ambiente insalubre, úmido e com muito pó na hora do lançamento da brita.

Entre as principais vantagens da utilização do DrenoPET, podemos destacar:

- Facilidade de transporte, manuseio e aplicação (Figura 24);
- Alta produtividade na obra;
- Melhor custo x benefício;
- Maior segurança, pois apresenta redução do tempo de exposição das valas abertas;
- 0% de materiais finos dentro do dreno;
- Redução das perdas de material;
- Material reaproveitado;
- Redução de materiais inertes em aterros sanitários;
- Menor quantidade de exploração de jazidas de agregado;
- Alívio das cargas nas estruturas (no caso de drenos em lajes).

Figura 24: Manuseio e aplicação do DrenoPET

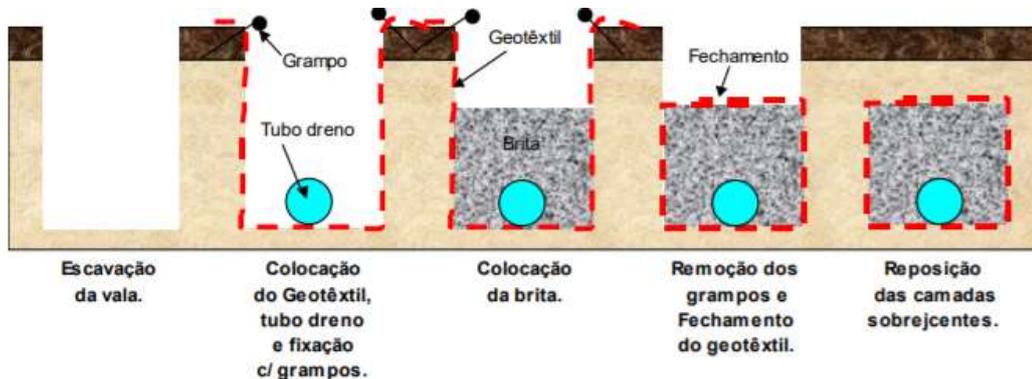


Fonte: Paranhos, 2016

A fabricação do dreno pré-moldado, é bastante simples, consiste basicamente em 4 etapas: compressão das garrafas de PET no sentido do comprimento; costura do geotêxtil em forma de “salsicha”, preenchimento do geotêxtil costurado com as garrafas de PET prensadas e fechamento das extremidades.

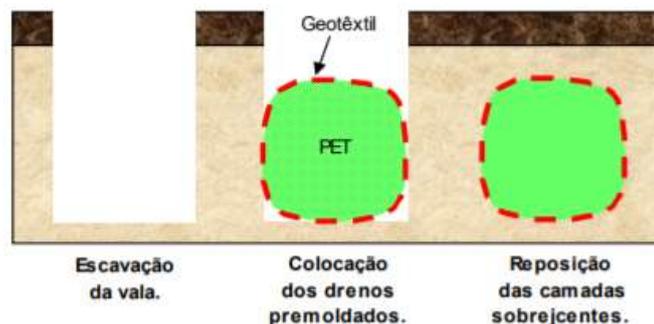
O uso do Dreno PET apresenta uma redução de tempo de execução, com sua utilização várias etapas deixam de ser necessárias nas obras de drenagem em geral, como apresentado na Figura 25 e Figura 26.

Figura 25: Principais etapas para a instalação de uma trincheira drenante convencional



Fonte: Paranhos, 2016

Figura 26: Etapas para instalação de uma trincheira drenante com DrenoPET



Fonte: Paranhos, 2016

Para a execução de 100m de trincheira drenantes, o DrenoPET apresentou uma redução de mais de 15% no valor do custo em relação à técnica convencional de execução de drenos com britas, e um tempo de execução três vezes menor comparando com a técnica tradicional, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3: Comparativo econômico entre a solução convencional e o DrenoPET para uma trincheira 100m de sessão 50 x50 cm e  $i = 1\%$ .

Serviços	Custo Unitário (R\$)	Convencional		PET	
		Quantidade	Custo (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
Escavação de valas (50 x 50 cm) – m <sup>3</sup>	10,27	25	256,75	25	256,75
DrenoPET (D=45 cm) - m	11,95	-	-	100	1195,00
Aplicação do DrenoPET - m	0,10	-	-	100	10,00
Geotêxtil 200 g/m <sup>2</sup> – m <sup>2</sup>	1,80	225	405,00	-	-
Aplicação do Geotêxtil – m <sup>2</sup>	0,17	225	38,25	-	-
Brita n.º 02 – m <sup>3</sup>	26,53	25	663,25	-	-
Transporte da Brita (até 30 m) – m <sup>3</sup>	9,80	25	245,00	-	-
Aplicação da Brita – m <sup>3</sup>	5,60	25	140,00	-	-
Limpeza e remoção do entulho – m <sup>3</sup>	11,50	2	23,00	-	-
<b>Total</b>			<b>R\$ 1771,25</b>		<b>R\$ 1461,75</b>
<b>Tempo de execução</b>			<b>3 dias</b>		<b>1 dia</b>

Fonte: Paranhos, 2016

“Os drenos pré-moldados, DrenoPET, podem ser descritos pelo trinômio: técnica, economia e meio ambiente. É sem dúvida um produto de grande eficiência e pela sua leveza e praticidade, traz para as obras de drenagem um enorme potencial de aplicação.” (PARANHOS, 2016, p. 6)

#### 4.2.1.2 Núcleo polimérico para Geocomposto

Materiais alternativos de baixo custo podem ser usados para substituir os geoespacadores em geocompostos para drenagem. Este produto oferece uma melhor utilização para alguns materiais que são geralmente dispostos em aterros, além de reduzir os custos desse tipo de geossintético. Silva e Palmeira (2007) apresenta um geocomposto alternativo, uma combinação de filtros geotêxteis não tecidos com tampas de garrafas PET, cuja capacidades de drenagem foram investigadas por meio de teste de compressão e de transmissibilidade, que a

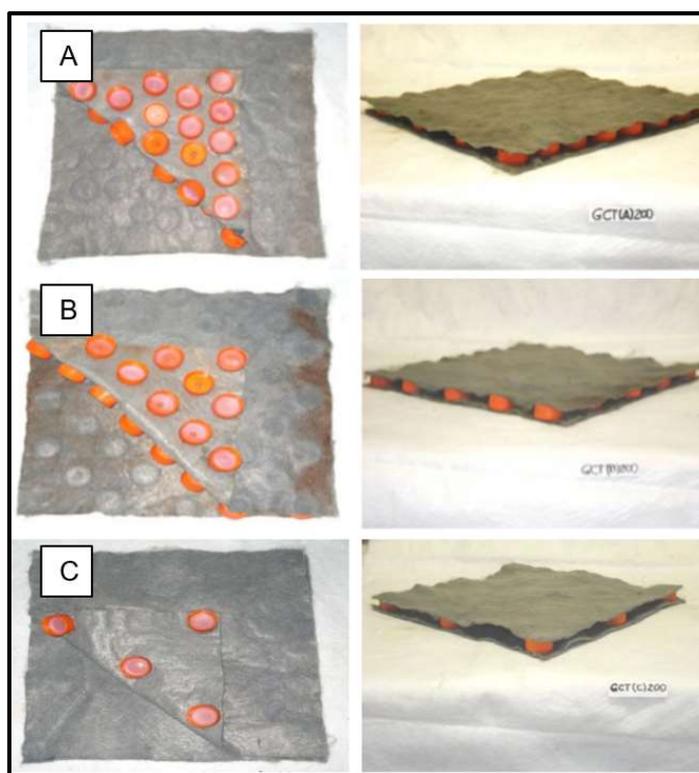
capacidade de transmissão de fluidos ao longo do plano. A transmissibilidade é obtida em função da permeabilidade ao longo do plano e da espessura do geossintético.

As tampas de garrafas PET na formação de geocompostos, como material constituinte do núcleo drenante, é utilizado formando uma estrutura tridimensional rígida com elevado volume de vazios.

Os geocompostos foram obtidos por meio da colagem, com selante de silicone ou adesivo, do fundo cego das tampas no geotêxtil não tecido, o qual atuou como elemento filtrante. A adição de um outro geotêxtil como camada inferior do geocomposto resultou em um produto flexível com espessura normalmente encontradas em geocompostos que utilizam geoespaçadores como núcleo drenante (SILVA, 2007).

Foram criados três geocompostos cujos espaçamentos entre as tampas foram de 0,6, 4,0 e 10 cm, respectivamente, como apresentado na Figura 27.

Figura 27: Geocompostos com garrafa PET: a) Geocomposto de 6mm b) Geocomposto de 4 cm c) geocomposto de 10 cm

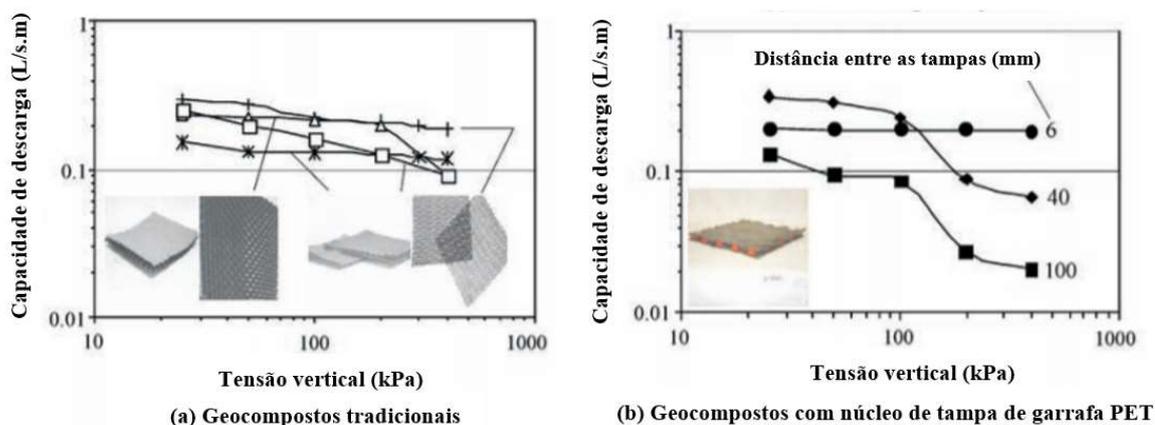


Fonte: Silva, 2007.

Os resultados dos testes de transmissividade de alguns geocompostos convencionais e dos alternativos são mostrados na Figura 28, em termos de capacidade de descarga ao longo do plano vs. a tensão vertical. A capacidade de descarga ao longo do plano é a vazão por unidade

de comprimento normal ao fluxo, L/s.m, e a tensão vertical é força aplicada verticalmente a um plano por unidade de área, kN/m<sup>2</sup> ou kPa.

Figura 28: Resultados dos testes de transmissibilidade.



Fonte: Silva e Palmeira, 2007

Como pode ser observado na Figura 28, a capacidade de descarga diminui com a compressão causada pelo aumento das tensões normais e com isso a redução foi mais intensa nos testes com os geocompostos com núcleos feitos de tampas de garrafas PET, dependendo da tensão normal considerada e do espaçamento entre tampas. No entanto, os resultados obtidos para o geocompostos alternativos menos compressíveis foi semelhante aos obtidos para os produtos convencionais. Os maiores espaçamentos entre tampas conferiram uma maior susceptibilidade à diminuição de espessura dos geocompostos, bem como da capacidade de descarga, também afetada pela elevada intrusão dos materiais de cobertura.

Apesar dos resultados satisfatórios obtidos nos ensaios com os geocompostos alternativos, além de fatores de capacidade de drenagem, como durabilidade, também devem ser levadas em consideração, principalmente em aplicações em aterros, por exemplo.

De acordo com Silva (2007), a técnica empregada na formação dos geocompostos alternativos utilizados na pesquisa, tem como proposição a criação de um processo industrial para confecção de tais produtos. Com relação as tampas de garrafas PET, existem poucos inconvenientes em sua obtenção, em virtude da elevada quantidade de garrafas descartadas, além da existência de usinas de reciclagem, que possibilitam o fornecimento desses materiais em grandes quantidades. É importante salientar que o processo de separação das tampas de suas respectivas garrafas é autossustentável, uma vez que, a garrafa, tem sua utilização em diversos segmentos da sociedade.

## ***4.2.2 Aplicações para o melhoramento do comportamento do solo***

Uma das funções que os geossintéticos apresentam é a função de reforço de solo. Esta seção apresenta algumas aplicações em que as garrafas PET recicladas foram utilizadas para fabricação de geossintéticos para a função de reforço de solo.

### ***4.2.2.1 Fabricação de Geocélulas***

Ainda é um estudo que está em andamento o uso de garrafas PET para a execução de geocélulas. O projeto tem como objetivo a produção de geocélulas a partir da manipulação de garrafas PET, dessa forma, podendo colaborar no aumento dos índices de reciclagem desse produto e possibilitando a redução de custos para suas aplicações, como o melhoramento do comportamento mecânico do solo.

O sistema de confinamento celular, segundo Farias (2005), se apresenta como uma ótima solução para os processos erosivos, principalmente, nas obras de proteção de taludes e revestimento de canais. O confinamento oferece ao sistema alta resistência às forças hidráulicas de arraste, impedindo o processo de erosão. O estudo engloba a avaliação das propriedades das geocélulas de PET, explorando as suas resistências físicas e mecânicas que as tornam fortes candidatas a serem utilizadas no ramo da construção civil. Estas propriedades permitem aumentar a capacidade de suporte das tensões no solo, como por exemplo, para estabilizar a base de estradas ou vias ferroviárias, pátios de estacionamento ou de cargas e reforço para o controle da erosão.

De acordo com Santos et al. (2018), no estudo foi utilizada a garrafa PET cortada em circunferências para o emprego na execução de uma geocélula, como apresentado na Figura 29, com definições semelhantes a geocélula convencional, apresentando estruturas tridimensionais abertas, constituídas com rebites para conectar as células, dessa maneira podendo ser produzida no tamanho que for desejado. Quando preenchidas com areia, brita ou concreto, comportam-se como uma placa semirrígida, distribuindo as solicitações verticais concentradas, e, conseqüentemente, atendendo melhor aos esforços para a compactação do solo.

Figura 29: Processo de produção da Geocélula de PET



Fonte: Santos et al., 2018

Uma geocélula de garrafa PET apresenta propriedades que a tornam capaz de responder muito bem as tensões necessárias, pois a sua estrutura é muito similar à de uma geocélula convencional: vazadas, assim a malha de abertura permite uma maior interação e ancoragem no solo onde será inserida.

As geocélulas de PET foram aplicadas em parte do estacionamento de uma universidade no estado de São Paulo, como mostrado na Figura 30, segundo os responsáveis pelo projeto, o desempenho do geossintético tem sido satisfatório. Esse material tem a função de reforçar, proteger e revestir o solo, amenizando os impactos e prejuízos do desgaste causado pela movimentação de automóveis (PASCUA, 2018).

Figura 30: Geocélulas de PET aplicadas em um estacionamento



Fonte: Pásqua, 2018

#### 4.2.2.2 Utilização de fibras de PET

A utilização das fibras no solo possui um grande potencial de aplicação em diversos tipos de obras de engenharia como reforço de solos para apoio de fundação rasa, barreiras de vedação e capas de proteção de aterros sanitários (BUENO, 2003).

As fibras de poliéster produzidas a partir de garrafas PET (Figura 31) são muito utilizadas na indústria têxtil e apresentam uma alta densidade, rigidez e resistência aos ataques de agentes químicos e álcalis, apresentam também grande tenacidade e flexibilidade.

Figura 31: Geofibras feitas de garrafa PET



Fonte: REIS e RIBEIRO, 2011

Com o passar dos anos, a necessidade do reaproveitamento de determinados materiais como o PET cresceu devido ao aumento da sua disponibilidade no meio ambiente. Por esse motivo, a técnica de reforço de solos através da inclusão de fibras desse tipo de material tem sido estudada por vários pesquisadores ao longo dos anos (SONCIM et al., 2004; REIS; RIBEIRO, 2011; SENEZ, 2016 e outros).

Dentre esses pesquisadores, Soncim et al (2004) sugeriu que o material vindo da reciclagem de resíduo PET poderia ser utilizado como um material alternativo nas obras de reforço de sub-base de pavimentos. A adição de 30% em peso do material, adicionado em um solo considerado inapropriado para utilização em base e sub-base de pavimentos, modificou sua classificação passando a se tornar um solo apropriado.

Reis e Ribeiro (2011) estudou o reforço de solo residual expansivo com fibras de poliéster oriundas do PET. Este trabalho teve como objetivo a apresentação de uma proposta ambientalmente correta e eficiente para o aumento da resistência e redução da expansão e compressibilidade do solo. Foram realizados para o solo simples e para o solo reforçado com

fibra, ensaios de caracterização, de compactação, e de resistência. A partir dos resultados obtidos, verifica-se que o solo reforçado com 1% de fibras de PET, melhorou significamente a resistência ao cisalhamento na parcela devida à coesão. O coeficiente de compressão do solo reforçado foi maior que do solo natural, indicando indícios de melhoria da compressibilidade.

Senez (2016) demonstrou que fibras derivadas da reciclagem de garrafas PET, confeccionadas com 100% do resíduo, pela indústria têxtil, podem ser uma boa alternativa se utilizadas como reforço de solos, quando submetidos a diferentes níveis de cargas. Buscando uma melhor aplicabilidade para este material, foram executados ensaios de compressão, ensaios de prova de carga e uma simulação de um talude em modelo físico reduzido, para a determinação do comportamento mecânico de uma areia e do composto areia-fibras PET. Os resultados mostraram que a adição de fibras PET na areia melhoraram os seus parâmetros de resistência. Observou-se que composto de areia-fibra PET apresentou uma maior capacidade de suporte e a redução dos recalques. Na simulação do talude, a inserção das fibras PET promoveu uma alteração completa no mecanismo de ruptura ocorrido no composto, quando comparado à ruptura da areia pura.

Através dos estudos apresentados pode-se concluir que é possível o emprego das fibras PET para aplicação como reforço de solos em obras geotécnicas (como por exemplo, em camadas de aterros sanitários, aterros sobre solos moles, reforço de taludes, base de fundações superficiais e controle de erosão), além de eliminar problemas atuais de disposição de resíduos, dando um fim mais nobre a este material, com benefícios ambientais, sociais e econômicos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou os resultados de estudos realizados sobre soluções sustentáveis envolvendo o uso de geossintéticos e suas combinações com as garrafas PET em trabalhos técnicos, cujo objetivo foi o de trazer benefícios ao meio ambiente.

A utilização dos geossintéticos podem reduzir significativamente os impactos causados ao ambiente em comparação com os métodos tradicionais e trazer mais simplicidades às obras. As combinações de geossintéticos com as garrafas PET reduzem os custos em obras e diminuem o volume de resíduos que iriam parar em aterros sanitários. Soluções simples incorporadas aos geossintéticos também podem ter consequências importantes na solução de problemas em áreas onde os materiais naturais tradicionais são escassos ou caros ou a mão de obra especializada não está disponível.

As garrafas PET podem ser utilizadas como matéria-prima para os geotêxteis, como material de preenchimento para drenagem em construções e para formar mantas de drenagem sob um filtro geotêxtil. Podem também ser utilizadas com a função de reforço, para a fabricação de geocélulas e geofibras que atuarão para o melhoramento do comportamento do solo.

O melhor aproveitamento de resíduos e um menor desperdício em obras de engenharia é certamente importante para a redução de exploração de materiais e para a preservação do meio ambiente. Para o uso desses resíduos, é necessária a existência de um sistema eficiente e econômico de coleta, reciclagem, processamento e fornecimento.

Apesar dos benefícios do uso de resíduos nos projetos de engenharia é preciso ter em mente que a demanda excessiva por um tipo específico de material pode aumentar o seu custo, o que, em alguns casos, pode comprometer a sua utilização. Assim, um determinado uso de resíduo que hoje é viável em uma aplicação de engenharia pode não ser no futuro. Além disso, alguns resíduos ou a sua degradação pode ser perigosa para o solo ou para as águas subterrâneas.

Portanto, a avaliação completa dos benefícios, limitações e os impactos causados pelo uso do material devem ser estudados antecipadamente. No entanto, a demanda por uma melhor utilização dos resíduos na engenharia civil certamente aumentará no futuro, exigindo criatividade e soluções inovadoras para a aplicação de tais materiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINT. Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos. **Curso Básico de Geotêxteis - CTG**. 2001.

ABIPET. **Associação Brasileira da Indústria de PET**. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html>>. Acesso em: agosto de 2019.

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria de PET. **Censo da Reciclagem do PET no Brasil**. 10ª Edição. São Paulo, 2016.

ABIPLAST. **Associação Brasileira da Indústria do Plástico**. Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: agosto de 2019.

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico – Perfil 2017**. São Paulo, 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 10318-1: Geossintéticos - Parte 1: Termos e Definições**. Rio de Janeiro, 2018.

ABRALATAS. Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio. **BRASIL: Índices de Reciclagem de Embalagens – 1997 a 2017 (em %)**. 2019. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/grafico/mundo-indices-de-reciclagemda-lata-de-aluminio-para-bebidas-1991-a-2012/>>. Acesso em: agosto de 2019.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018.

**Associação Brasileira de Geossintéticos – Portal IGS Brasil**. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br>>. Acesso em: agosto de 2019.

AECweb. **Manta Geotêxtil feita com PET reciclado confere versatilidade e durabilidade**. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/manta-geotextil-feita-com-pet-reciclado-confere-versatilidade-e-durabilidade\\_24377\\_3492](https://www.aecweb.com.br/emp/cont/m/manta-geotextil-feita-com-pet-reciclado-confere-versatilidade-e-durabilidade_24377_3492)>. Acesso em: julho de 2019.

AMARAL, N. B. **Geossintéticos Aplicados a Geotecnia Ambiental**. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019.

AMBIENTE BRASIL. **Setor de geossintéticos é um dos que mais recicla plásticos no Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://noticias.ambientebrasil.com.br/divulgacao/2018/11/06/148284->

setor-de-geossinteticos-e-um-dos-que-mais-recicla-plasticos-no-brasil.html>. Acesso em: julho de 2019.

BATHURST, R.J. **Classificação dos Geossintéticos**. IGS (International Geosynthetics Society). 2013.

BATHURST, R.J. **Funções dos Geossintéticos**. IGS (International Geosynthetics Society). 2013.

BEZERRA, M. N.; MANCINI, S. D.; ZANIN, M. **Reciclagem de PET advindo de garrafas de refrigerante pós-consumo**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. 1998.

BIDLLE, D. **Recycling for Profit: The New Green Business Frontier**. Harvard Business Review, Blucher Ltda.,1993.

BRASIL, A. M.; SANTOS, F. **Equilíbrio Ambiental e Resíduos na Sociedade Moderna**. São Paulo: Faarte Editora Ambiental, 2004.

BRASIL. Projeto de lei nº 269, de 24 de abril de 1999. **Estabelece Normas para a Destinação Final de Garrafas e Outras Embalagens Plásticas e dá Outras Providências**. Diário Senado Federal, Brasília, 1999.

BUENO, B. S. **Propriedades, Especificações e Ensaios**. In: Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Porto Alegre, 2003a.

BUENO, B. S. **Uso de Fibras Plásticas para Reforço de Solos Compactados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003b.

CEMPRE. **Compromisso Empresarial para Reciclagem**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/>>. Acesso em: agosto de 2019.

CEMPRE. **Lixo municipal**. Manual de gerenciamento integrado. 3ª edição, São Paulo, 2010.

COELHO, R. T. **Contribuição ao estudo da aplicação de materiais alternativos nos compósitos à base de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2005.

DA SILVA, C.C. **Comportamento de solos siltosos quando reforçados com fibras e melhorados com aditivos químicos e orgânicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

DEMAJOROVIC, J. **Da Política Habitacional de Tratamento do Lixo a Política de Gestão de Resíduos Sólidos as Novas Prioridades**. Revista de Administração de Empresas. São Paulo, 1995.

DIAS, J. C. **Rotas de Destinação dos Resíduos Plásticos e seus Aspectos Ambientais: Uma Análise da Potencialidade da Biodegradação**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2007**. Washington, 2008.

EBC. Empresa Brasil de Comunicação. Agência Brasil. **Experiências ao redor do mundo apontam caminhos para redução do lixo**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-06/experiencias-ao-redor-do-mundo-apontam-caminhos-para-reducao-do-lixo>>. Acesso em: julho de 2019.

FARIAS, R. J. C. **Utilização de Geossintéticos em Sistemas de Controle de Erosões**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2005.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. A. F. **Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 2002.

GRIMBERG, E. **A Política Nacional de Resíduos Sólidos: A responsabilidade das empresas e a inclusão social**. Instituto Pólis. São Paulo, 2004.

GRIPPI, S. **Lixo, Reciclagem e sua História: Guia para as prefeituras brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

IGS BRASIL. **Características requeridas para o emprego de geossintéticos: Parte 1 – Geotêxteis e Produtos Correlatos**. Associação Brasileira de Geossintéticos. 2014.

IGS BRASIL. **Aplicação de Geossintéticos em Áreas de Disposição de Resíduos**. Associação Brasileira de Geossintéticos. 2016.

LUC. **Geosynthetics: materials, design, durability and applications**. Département ArGEnCo. Université de Liège. 2015.

LUCARELLI, D. C. **Estudo do Comportamento Mecânico de Solos Reforçados com Fibras de Polietileno Tereftalato (PET) de Distribuição Aleatória**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

LUCAS, D. D.; MORAES, L. C. K. **Alternativas para o Descarte de Embalagens do Tipo PET: Reutilização e Reciclagem**. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2014.

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

MELO, J. F. G. **Utilização de Geossintético no Controle da Erosão**. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2016.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Ibam. 2001.

NORTÈNE. **Manual de Geossintéticos**. Departamento Técnico Nortène Plásticos Ltda. São Paulo. 2012.

OFITEXTO. **Garrafa PET: de lixo que enche o mundo à geossintético**. Disponível em: <<https://www.ofitexto.com.br/comunitexto/garrafa-pet-de-lixo-a-geossintetico/>>. Acesso em: julho de 2019.

ONU HABITAT. **Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos**, 2018. Disponível em: <<https://unhabitat.org/ms-maimunah-mohd-sharif-united-nations-under-secretary-general-and-executive-directors-message-on-world-habitat-day/>>. Acesso em: agosto de 2019.

PALMEIRA, E. M. **Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente**. Oficina de Textos. São Paulo, 2018.

PALMEIRA, E. M. **Sustainability and Innovation in Geotechnics: Contributions from Geosynthetics**. Soils and Rocks. 2016.

PALMEIRA, E. M.; SILVA, A. R. L.; PARANHOS, H. **Recycled and alternative materials in drainage systems of waste disposal áreas**. 5th International Congresso on Environmental Geotechnics, Cardiff, Reino Unido. 2006.

PARANHOS, H. **Drenos Pré-Moldados DrenoPET**. Geosynthetica. 2016.

PARANHOS, H. **Utilização de Sucatas de PET, Entulho de Obras e Pneus como Material Drenantes em Obras de Geotecnia e Meio Ambiente**. Programa de Capacitação de Recursos Humanos para Atividade Estratégica. Universidade de Brasília, 2002.

PÁSCUA, M. **Visando Sustentabilidade, Engenharia Civil Utiliza Garrafas PET em Projeto de Iniciação Científica**. Unitoledo. Araçatuba, 2018. Disponível em: <<http://www.unitoledo.br/noticias/visando-sustentabilidade-engenharia-civil-utiliza-garrafas-pet-em-projeto-de-iniciacao-cientifica/>>. Acesso em: agosto de 2019.

PEDRONI, B. **Trabalho analisa vantagens de drenos pré-moldados de garrafas PET**. Geosynthetica. 2018. Disponível em: <<https://www.geosynthetica.net.br/vantagens-de-drenos-pre-moldados-de-garrafas-pet/>>. Acesso em: julho de 2019.

PIMENTEL, K.C.A. **Tubulações Pressurizadas em Aterros Reforçados com Geossintéticos**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, 2003.

SANTOMAURO, A. C. **PET – Geotêxteis usam PET reciclado**. Portal Plástico. Editora QD, 2018.

REIS, K. H.; RIBEIRO, I. **Reforço de um Solo Residual Expansivo com Fibras de Poliéster Oriundas do PET**. II Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região do Centro-oeste. Brasília, 2011.

SANTAELLA, S. T. et al. **Resíduos Sólidos e a Atual Política Ambiental Brasileira**. Universidade Federal do Ceará. Instituto de Ciências do Mar. Fortaleza, 2014.

SANTOS, C. S.; BASTOS, V. M.; VACCAREZZA, R. L.; D'SOUZA, R. M.; FIGUEIREDO, J. G. L.; CARNEIRO, W. J. O. **Uso de Garrafas de Poli-Tereftalato de Etileno – PET para a Produção de Geocélula**. 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo, 2018.

SANTOS, D. B. **Estudo do Uso de Garrafas PET em Geotecnia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2005.

SATO, S. A. S.; ALEIXO, A. D.; OLIVEIRA, N. D. A.; MELO, J. V.; COSTA, G. K. S. **Reciclagem de PET: Potencialidades para Sustentabilidade e Inclusão Social**. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. 2016.

SENEZ, P. C. **Comportamento de uma Areia Reforçada com Fibras de Polietileno Tereftalato (PET)**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, C. A. **Ensaio de Transmissibilidade em Geocompostos para Drenagem**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

SILVA, C. A.; PALMEIRA, E. M. **Ensaio de Transmissibilidade em Geocompostos para Drenagem sob Elevadas Tensões Normais**. 5o. Simpósio Brasileiro de Geossintéticos-Geossintéticos 2007/REGEO, 2007, Recife. Anais. Recife: ABMS/IGS-Brasil, 2007.

SONCIM, S.P.; JUNIOR, G.B.A.; ALMEIDA M.O.; JUNIOR, M.J.F.; ALMEIDA, S.G.; VIDAL, F.X.R. **Resíduo da Reciclagem de PET (Polietileno Tereftalato) como Material Alternativo na Construção de Reforço de Subleitos de Rodovias**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Florianópolis, 2004.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente: (como se preparar para as Normas ISO 14000)**. São Paulo: Pioneira, 1995.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

WIEBECK, H. **Reciclagem dos Plásticos e Suas Aplicações Industriais**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

## ANEXOS

**ANEXO I** – Projeto de Lei do Senado N° 269, de 1999.

### **PROJETO DE LEI DO SENADO N° 269/99**

**(Diário Senado Federal 28/04/99)**

**Autoria do Senador Carlos Bezerra**

Estabelece normas para a destinação final de garrafas e outras embalagens plásticas e dá outras providências.

O CONGRESSO NACIONAL decreta:

Art. 1º — São solidariamente responsáveis pela destinação final ambientalmente adequada de garrafas e outras embalagens plásticas, os produtores, distribuidores, importadores e comercializadores dos seguintes produtos:

- I — bebidas e alimentos de qualquer natureza;
- II — óleos combustíveis, lubrificantes e similares;
- III — cosméticos;
- IV — produtos de higiene e limpeza.

§ 1º — É também solidariamente responsável, nos termos da presente Lei, o produtor das garrafas e outras embalagens plásticas mencionadas no caput deste artigo.

§ 2º — Considera-se destinação final ambientalmente adequada, para os efeitos desta lei:

- I — a utilização de garrafas e outras embalagens plásticas em processos de reciclagem, para a fabricação de embalagens novas ou para outro uso econômico;
- II — a reutilização das garrafas e outras embalagens plásticas, respeitadas as vedações e restrições estabelecidas pelos órgãos federais competentes da área de saúde.

Art. 2º — Os fornecedores de que trata o art. 1º estabelecerão e manterão, em conjunto, procedimentos para a reutilização e recompra das garrafas plásticas após o uso do produto pelos consumidores.

Art. 3º — A obtenção ou renovação de licenciamento ambiental a que estejam obrigados os fornecedores especificados no art. 1º será condicionada à comprovação da existência de centros de recompra de plásticos ou à contratação de serviços de terceiros para recompra e reciclagem das embalagens produzidas ou utilizadas, com a finalidade de assegurar o cumprimento das determinações desta lei.

Art. 4º — Os vasilhames de polietileno tereftalato (PET) reciclado pode ser utilizado na fabricação de garrafas plásticas para embalagens de bebidas, desde que em camada que não entre em contato direto com o líquido.

Art. 5º — Fica proibida a utilização de plásticos com processos de reciclagem distintos numa mesma garrafa ou embalagem.

Art. 6º — Dez por cento, no mínimo, dos recursos financeiros utilizados em veiculação publicitária dos produtos discriminados no art. 1º, incisos de I a IV, deverão ser destinados à divulgação de mensagens educativas com vistas a:

- I — combater o lançamento de lixo plástico em corpos d'água e no meio ambiente em geral;
- II — informar sobre as formas de reaproveitamento e reutilização de vasilhames, indicando os locais e as condições de recompra das embalagens plásticas;
- III — estimular a coleta das embalagens plásticas visando a educação ambiental e sua reciclagem.

Art. 7º — É proibido o descarte de lixo plástico no solo, em corpos d'água ou em qualquer outro local não previsto pelo órgão municipal competente de limpeza pública, sujeitando-se o infrator a multa aplicada pelos órgãos competentes integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), nos valores previstos na regulamentação desta Lei.

Art. 8º — É proibida a referência à condição de descartabilidade das embalagens plásticas na rotulagem ou na divulgação publicitária, por qualquer meio, dos produtos referidos nos incisos I a IV do art. 1º.

§ 1º — A embalagem dos produtos referidos nos incisos I a IV do art. 1º deverá conter informação, na forma de um selo verde impresso na mesma, indicando sua possibilidade de reutilização e recompra, bem como sobre a proibição de seu descarte no solo, corpos d'água ou qualquer outro local não previsto pelo órgão municipal competente de limpeza pública.

§ 2º — Os fornecedores de que trata o art. 1º terão o prazo de um ano, a partir da publicação desta Lei, para adequarem seus produtos ao disposto no parágrafo anterior.

Art. 9º — Sem prejuízo da responsabilidade por danos ambientais causados pelas embalagens plásticas de seus produtos, a infração aos arts. 1º, 2º, 5º, 6º e 8º sujeita os fornecedores a uma ou mais das seguintes sanções, aplicadas pelos órgãos competentes integrantes do SISNAMA:

- I — multa, nos valores previstos na regulamentação desta Lei;
- II — interdição;
- III — suspensão ou cassação de licença ambiental.

Art. 10 — O procedimento previsto no art. 2º será implantado segundo o seguinte cronograma:

- I — no prazo de um ano da publicação desta Lei, reutilização e/ou recompra de, no mínimo, cinquenta por cento das embalagens comercializadas;
- II — no prazo de dois anos da publicação desta Lei, reutilização e/ou recompra de, no mínimo, setenta e cinco por cento das embalagens comercializadas;

III — no prazo de três anos da publicação desta Lei, reutilização e/ou recompra de, no mínimo, noventa por cento das embalagens comercializadas.

Art. 11 — Os Estados, o Distrito Federal e os Municípios adotarão todas as medidas necessárias à eficaz aplicação da presente Lei, aditando-lhe, quando for o caso, as normas suplementares indispensáveis à consecução de seus objetivos.

Art. 12 — O Poder Executivo regulamentará esta Lei no prazo de noventa dias a contar de sua publicação.

Art. 13 — Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

### JUSTIFICAÇÃO

Em 1997, foram produzidas no Brasil 121 mil toneladas de plástico PET (polietileno tereftalato), das quais 15% foram recicladas. Nos Estados Unidos, no mesmo ano, a taxa de reciclagem foi de 40%, totalizando 760 mil toneladas. Enquanto o mercado mundial para reciclagem de plásticos se expande, em nosso País esse material ainda é, mais do que tudo, fator significativo de poluição ambiental e de agrupamento de problemas urbanos críticos, a exemplo das enchentes. É conhecido o decisivo papel que embalagens plásticas têm no entupimento de bueiros, canalizações e no assoreamento dos corpos d'água.

Deve-se considerar que a demanda por plásticos, de uma forma geral, vem aumentando entre nós. Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), a indústria de embalagens plásticas é hoje uma das de maior crescimento no País. "Para se ter uma idéia, de 1992 a 1996, o consumo brasileiro de polietilenos (todos os tipos) cresceu cerca de 14,7% ao ano. Especialistas do setor projetam, até o ano 2000, uma

taxa de crescimento estimada em 9% ao ano", afirma o boletim nº 41 do CEMPRE (out. 98). Só na composição do lixo domiciliar da cidade de São Paulo, em 1998, o plástico correspondia a 22,9%, perdendo apenas para matéria orgânica, que respondia por quase metade do volume total.

O aumento da demanda mostra que é urgente, por parte de poderes públicos, fornecedores e usuários, prevenir os graves danos ambientais e de saúde humana que são a contrapartida da praticidade e da economia do plástico. O impacto ambiental do lixo plástico decorre de vários fatores: a sua lenta degradação na natureza, o volume acumulado em locais inadequados, a negligência ou a incapacidade de órgãos municipais na gestão dos resíduos sólidos, a lenta implantação no País da cultura da reciclagem, a começar da coleta seletiva; e a falta de uma legislação adequada que crie deveres e oportunidades para os agentes sociais e econômicos diretamente vinculados ao problema.

Segundo depoimento do ex-presidente de Portugal, Mario Soares, atual coordenador da Fundação Oceanos. Um Patrimônio da Humanidade, 60% do lixo oceânico atual é originário das embalagens e resíduos plásticos. Destes, 60% são representados pelos vasilhames PET, o que justificaria que este maior causador de poluição, socializada através do consumo, sirva de base a um amplo projeto de educação ambiental.

Alguns conceitos são hoje imprescindíveis ao bom encaminhamento de soluções para a destinação dos resíduos sólidos, especificamente os plásticos. Em primeiro lugar, impõe-se a

educação, tanto de agentes econômicos quanto da população em geral, para reduzir a quantidade de lixo gerada, reutilizar e reciclar sempre que possível. Em segundo lugar, conforme já acontece em países avançados, é preciso considerar que a responsabilidade do produtor ou "fornecedor"—segundo a definição contida no art. 3º do Código de Defesa do Consumidor— não se esgota no momento da geração do produto, mas deve acompanhar o ciclo de vida deste até a destilação final ambientalmente adequada de seus resíduos.

Muitas vezes, avanços tecnológicos, a exemplo da introdução das garrafas tipo PET, fazem com que as empresas aumentem seus lucros, reduzam seus custos e ganhem em agilidade, porém, transferem os ônus para a população sob a forma do crescimento exponencial do lixo. A chamada responsabilidade pós-consumo, especialmente importante no caso de produtos de alto poder poluente, tais como baterias, pilhas e embalagens plásticas, é um passo importante, pois envolve o fornecedor na solução de um problema inerente ao produto.

Nos Estados Unidos e Canadá, a coleta para a reciclagem de garrafas fabricadas com o plástico PET já acontece desde o começo dos anos 80, inicialmente para enchimento de almofadas. Com a melhoria do material, outras aplicações surgiram, em tecidos, lâminas e garrafas para produtos não alimentícios. Já nos anos 90, o PET reciclado passou a ser utilizado também em embalagens de alimentos, porém há inúmeras restrições quanto ao potencial de contaminação de diversos componentes desse reciclado. O PET é, ademais, altamente combustível e de difícil degradação em aterros sanitários.

As embalagens plásticas, não sendo biodegradáveis, caracterizam-se por manterem suas estruturas intactas por séculos, permitindo, assim, sua reutilização diretamente logo após seu uso, em construções sólidas e resistentes, assim como em mobiliário em geral, atuando como módulo de educação ambiental e possibilitando a montagem de:

- a) bibliotecas temáticas (cultura);
- b) viveiros para reconstrução de matas ciliares (meio ambiente);
- c) hortas hidropônicas (saúde);
- d) espaços de coleta seletiva do lixo (tecnologia).

Segundo o CEMPRE, a reciclagem das embalagens PET usadas em refrigerantes está em franca ascensão no Brasil, inclusive em novas aplicações, tais como cordas e fios de costura, carpetes, bandejas de frutas e até mesmo novas garrafas. Mas a Associação Brasileira de Fabricantes de Embalagens PET informa que ainda existe ociosidade na reciclagem desse produto, principalmente pela inexistência de coleta seletiva e de uma legislação adequada.

O Projeto de Lei ora apresentado busca colaborar para um significativo avanço no trato legal da questão exposta, por meio da consagração do princípio da responsabilização pós-consumo do fornecedor de garrafas e outras embalagens plásticas, incentivando a reutilização e a reciclagem.

As construções realizadas com as embalagens plásticas se inserem a biomassa criando verdadeiras estruturas vivas capazes de absorver tanto os ruídos urbanos como a emissão de anidrido carbônico (CO<sub>2</sub>), fatores de máxima importância quando se reconhece não existirem mais florestas suficientes para esta função, conforme conclusão do último encontro mundial da atmosfera, ocorrido em Buenos Aires, no segundo semestre de 1998.

Os dispositivos constantes do texto basearam-se em proposta apresentada pelo Deputado ambientalista Fernando Gabeira à Câmara dos Deputados, em 1997, e posteriormente arquivada. Entendemos que esse é um tema sobre o qual deve-se insistir, dadas as profundas repercussões positivas que uma legislação moderna poderá trazer tanto do ponto de vista ambiental quanto para as atividades econômicas e para a melhoria de qualidade de vida da população brasileira.

Contamos com o apoio dos ilustres Parlamentares para que, com sua colaboração no aperfeiçoamento da proposta, possa o Congresso Nacional oferecer à sociedade brasileira o melhor instrumento possível para o trato legal de tão importante matéria.