



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS
APLICADAS – FATECS

LUANA MOREIRA

AVALIAÇÃO DO DANO MECÂNICO DE GEOSSINTÉTICOS
EMPREGADOS EM RECAPEAMENTOS ASFÁLTICOS DURANTE O
PROCESSO CONSTRUTIVO

Brasília
2016

LUANA MOREIRA

**AVALIAÇÃO DO DANO MECÂNICO DE GEOSSINTÉTICOS
EMPREGADOS EM RECAPEAMENTOS ASFÁLTICOS DURANTE O
PROCESSO CONSTRUTIVO**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como um dos requisitos para conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB – Centro Universitário de Brasília

Orientador: Eng^o. Civil Jaime Rafael Obando
Ante (D.Sc.) (c)

Brasília
2016

LUANA MOREIRA

**Avaliação do dano Mecânico de Geossintéticos empregados em
Recapamentos Asfálticos durante o processo construtivo**

Trabalho de Curso (TC) apresentado como
um dos requisitos para conclusão do curso de
Engenharia Civil do UniCEUB – Centro
Universitário de Brasília

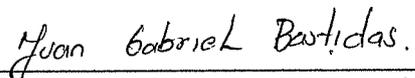
Orientador: Engº. Civil Jaime Rafael Obando
Ante (D.Sc.) (c)

Brasília, 24 de Junho 2016.

Banca Examinadora


Engº. Civil Jaime Rafael Obando Ante, D.Sc. (c)
Orientador


Engº. Civil Ivonne Alejandra Maria Gutierrez Gongora, D.Sc
Examinador Interno


Engº. Civil Juan Gabriel Bastidas Martinez, M.Sc.
Examinador Externo

*“Portanto, quem ouve estas minhas palavras e
as pratica é como um homem prudente que
construiu a sua casa sobre a rocha.
Caiu a chuva, transbordaram os rios,
sopraram os ventos e deram contra aquela
casa, e ela não caiu, porque tinha seus
alicerces na rocha.”*

Mateus 7:24,25

RESUMO

Os geossintéticos empregados em reforço de pavimentos asfálticos, são compostos poliméricos utilizados como uma das alternativas no tratamento do fenômeno de reflexão de trincas. Durante a instalação deste material, o geossintético sofre uma série de danos que podem reduzir sua eficiência durante a vida útil do pavimento. Existem diversas pesquisas a respeito dos danos que o geossintético pode sofrer durante sua instalação, como por exemplo, o dano térmico devido à alta temperatura do concreto asfáltico usinado a quente (CBUQ), que é lançado sobre o material, e o dano mecânico gerado pelo processo de compactação do revestimento. Já o presente trabalho destina-se a avaliar o dano causado por máquinas vibro acabadoras sobre rodas de pneu e vibro acabadoras sobre esteiras, submetendo o geossintético ao esforço destas máquinas em campo. Os materiais selecionados para o estudo foram dois tipos de geocompostos reforçados com fibras de vidro. Para analisar e determinar os danos causados aos materiais foram feitos ensaios de tração de faixa larga, com objetivo de determinar a mudança nas propriedades mecânicas. Uma das conclusões deste trabalho foi que os dois tipos de máquina vibro acabadora geram dano ao geossintético, porém a intensidade do dano pode variar dependendo das propriedades físicas do geossintético.

Palavras-chave:

Geocomposto, Recapeamento asfáltico, Resistência à tração, Dano mecânico, Reflexão de trincas.

ABSTRACT

To increase the service life, enhancing layers or replacing layers of asphalt pavement, geosynthetics can be used as solutions for pavement restoration works. The geosynthetics used in reinforcement of asphalt pavements are polymeric compounds, used as an alternative in anti-reflective cracking systems. During its installation, the material can suffer some damages that reduce its efficiency during the pavements life. There are several studies about the damage that the geosynthetic may suffer during its installation, such as thermal damage due to the high temperature of the hot mix asphalt (HMA), which is spread over the material, and the mechanical damage generated by the compaction of the surface layer. This study is intended to evaluate the damage caused by pavers machines on wheels and tire pavers crawler, by subjecting the geosynthetic to the efforts of these machines in the field. The materials selected for this search were two types of geocomposite reinforced with glass fibers. To analyze and determine the damage, were made wide-width tensile tests, in order to determinate the tensile properties such as load and elongation of geosynthetics. One of the conclusions of this study was that the two types of paver machines actually generate damage to geosynthetics, but the intensity of the damage may vary depending on the physical properties of the geosynthetics.

Keywords:

Geocomposite, Asphalt resurfacing, Tensile strength, Mechanical damage, Reflective crack.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1.	Objetivo Geral	3
2.2.	Objetivo Específico	3
3.	JUSTIFICATIVA	3
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1.	Geossintéticos.....	5
4.2.	Classificação dos Geossintéticos Empregados em Pavimentação.....	6
4.3.	Mecanismos de Atuação.....	8
4.4.	Propriedades Mecânicas dos Geossintéticos	9
4.4.1.	Descrição do Equipamento e dos Procedimentos para o Ensaio de Tração Faixa Larga 9	
4.5.	Dano Mecânico em Geossintéticos em Pavimentação	12
5.	METODOLOGIA.....	20
5.1.	Separação das Amostras	20
5.2.	Danos com as Máquinas Vibro Acabadoras.....	21
5.3.	Preparação dos Corpos de Prova	22
5.4.	Ensaio de Tração Faixa Larga	23
6.	RESULTADOS E ANÁLISES	25
	Valores apresentados: valor médio \pm desvio padrão (coeficiente de variação).....	30
7.	CONCLUSÕES	32
8.	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Representação esquemática das principais funções que um geossintético pode desempenhar: (a) drenagem; (b) filtragem; (c) proteção; (d) reforço; (e) separação; (f) controle de erosão superficial; (g) barreira de fluidos (ISO 10318, 2010).....	5
Figura 4.2 Geogrelha fabricada em fibra de vidro.....	7
Figura 4.3 Geotêxtil fabricado em fibra de vidro.	7
Figura 4.4 Geocomposto utilizado em recapamentos asfálticos.....	7
Figura 4.5 Redução da reflexão de trincas.	8
Figura 4.6 Barreira que evita bombeamento de finos.....	8
Figura 4.7 Redução da espessura capa asfáltica.	8
Figura 4.8 Redução da espessura do pavimento.....	8
Figura 4.9 Aumento da vida útil do pavimento (Geossintéticos em Rodovias – IGS).....	9
Figura 4.10 Equipamento para ensaio de Tração Faixa Larga.	10
Figura 4.11 Curva típica carga por unidade de largura/deformação (NBR 10319, 2013).	11
Figura 4.12 Esquema teste de aquecimento (Norambuena-Contreras <i>et al.</i> 2009).	13
Figura 4.13 Corpo de após degradação térmica: (a) Polipropileno; (b) Poliéster (Norambuena-Contreras <i>et al.</i> , 2009).	13
Figura 4.14 Esquema do processo de dano utilizando compactação Proctor (Norambuena-Contreras <i>et al.</i> , 2016).	14
Figura 4.15 Ensaio de Tração na Fibra do Geossintético (Norambuena-Contreras <i>et al.</i> , 2016).	15
Figura 4.16 Estrutura dos geossintéticos utilizados. (a) – geotêxtil; (b) – geotêxtil reforçado com fibra de vidro; (c) e (d) – geocompostos; (e) – geogrelha (Gonzalez-Torre <i>et al.</i> , 2014).	15
Figura 4.17 avaliação dano mecânico e térmico em geossintéticos: (a) Remoção da camada de CBUQ; (b) Remoção do geossintético (Gonzalez-Torre <i>et al.</i> , 2014).	16
Figura 4.18 Remoção do geossintético (Gonzalez-Torre <i>et al.</i> 2014).	16
Figura 4.19 Força de tração obtida após ensaio de tração faixa larga. (valores em kN/m) (Gonzalez-Torre <i>et al.</i> 2014).	17
Figura 4.20 Módulos residual de secante (Gonzalez-Torre <i>et al.</i> , 2014).	17
Figura 4.21 Exemplo da situação do pavimento : (a) Pavimento sem reforço; (b) Pavimento com reforço.....	18
Figura 4.22 Face superior dos geossintéticos utilizados na pesquisa: (a) G1; (b) G2.....	19
Figura 4.23 Face inferior do material G1 (Fonte: Fabricante).	19

Figura 4.24 Face inferior do material G2 (Fonte: Fabricante).	19
Figura 5.1 Amostras cortadas prontas para serem armazenadas.	20
Figura 5.2 Máquina Vibro Acabadora: (a) Sobre Esteiras; (b) Sobre Pneus.....	21
Figura 5.3 Amostra sendo submetida ao esforço da Vibro Acabadora de Esteiras: (a) Geossintético sendo danificado pelo equipamento sobre esteiras; (b) Esteiras.	22
Figura 5.4 Amostra sendo submetida ao esforço da Vibro Acabadora de Pneus: (a) Geossintético sendo danificado pelo equipamento sobre pneus; (b) Pneu traseiro do equipamento.	22
Figura 5.5 Corpo de prova e ferramentas utilizadas para a preparação.....	23
Figura 5.6 Ensaio de tração faixa larga.	24
Figura 5.7 Corpo de prova após seu rompimento.....	24
Figura 6.1 Curvas de Carga-Alongamento G1- ORIGINAIS	25
Figura 6.2 Curvas de Carga-Alongamento G1- ESTEIRA	25
Figura 6.3 Curvas de Carga-Alongamento G1- PNEU	25
Figura 6.4 Curvas de Carga-Alongamento G2- ORIGINAIS	26
Figura 6.5 Curvas de Carga-Alongamento G2- PNEU	26
Figura 6.6 Curvas de Carga-Alongamento G2- ESTEIRA	26
Figura 6.7 Valores da Tensão Máxima do material G2.....	27
Figura 6.8 Valores da Tensão Máxima do material G1.....	27
Figura 6.9 Resistência à tração máxima do material G1 expressa em porcentagem (%).	28
Figura 6.10 Resistência à tração máxima dos material G2 expressa em porcentagem (%).	28
Figura 6.11 Valores da Rigidez Secante máxima à deformação de 1% do material G2.	29
Figura 6.12 Valores da Rigidez Secante máxima à deformação de 1% do material G1.	29
Figura 6.13 Valores da rigidez secante à 1%, expressos em porcentagem (%) do material G1.	30
Figura 6.14 Valores da rigidez secante à 1%, expressos em porcentagem (%) do material G2.	30
Figura 0.1 Valores de Alongamento na Ruptura, expressos em porcentagem (%) do material G1.	31
Figura 0.2 Valores de Alongamento na Ruptura, expressos em porcentagem (%) do material G2.	31

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 Principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (modificado Maccaferri, 2009).	6
Tabela 4.2 Propriedades Físicas dos Materiais.....	18
Tabela 5.1 Características das Máquinas Vibro Acabadoras.	21
Tabela 5.2 Quantidade de Corpos de Prova.	23
Tabela 6.1 Tensão de Tração Máxima (kN/m) obtida através do Ensaio de Tração Faixa Larga.	27
Tabela 6.2 Rigidez Secante (kN/m) à deformação de 1% obtida através do Ensaio de Tração Faixa Larga.	28
Tabela 6.3 Alongamento na Ruptura.....	30

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Resistência à tração.....	11
Equação 2 – Rigidez secante	12

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnica
ASTM.....	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CBUQ.....	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
IGS.....	<i>International Geosynthetics Society</i>
PA.....	Poliamida
PE.....	Polietileno
PET.....	Poliéster
PP.....	Polipropileno
PVC.....	Policloreto de Vinila
NBR.....	Norma Brasileira
ISO.....	<i>International Organization for Standardization</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

cm.....	Centímetro
g/m ²	Gramas por metro quadrado
ξ.....	Deformação
α.....	Alpha
Kgf.....	Quilograma-Força
kN.....	Quilonewton
kN/m.....	Quilonewton por metro
kN/m ²	Quilonewton por metro quadrado
m.....	Metros
mm.....	Milímetros
°C.....	Graus Célsius
mPa.....	Megapascal
rpm.....	Rotação por minuto
%.....	Porcentagem

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno de reflexão de trincas no pavimento asfáltico é um dos principais problemas que deterioram rodovias restauradas, diminuindo assim, o índice de serventia do pavimento. De acordo com a norma DNIT 009/2003-PRO, serventia é a capacidade de um trecho específico de pavimento proporcionar, na opinião do usuário, rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego. E algumas vezes, as rodovias não apresentam a serventia adequada devido à certas patologias no pavimento como trincas por fadiga, trincas térmicas e afundamento da trilha de roda.

A princípio trincas em pavimentos asfálticos podem surgir por diversos motivos, como uma má compactação de uma ou mais camadas do pavimento, falta de aderência entre os agregados e o ligante asfáltico, infiltração de água no pavimento, fadiga dos materiais, entre outros fatores. Quando isso acontece a solução mais empregada é o recapeamento, uma forma de manutenção que consiste basicamente em instalar uma nova camada de revestimento por cima do pavimento deteriorado.

Após a instalação dessa nova camada de concreto asfáltico, o pavimento volta a satisfazer suas condições iniciais de projeto. Porém, sob severas variações de temperatura e suportando um elevado volume de tráfego, as trincas tendem a ‘ressurgir’ no novo revestimento. Este fenômeno é chamado de trincamento por reflexão.

Com o intuito de diminuir a intensidade das trincas refletidas, são utilizados geossintéticos que reforçam a camada asfáltica recapeada, fazendo com que o desempenho do pavimento seja melhorado, e ao mesmo tempo, suporte por mais tempo as ações que o deterioram.

A utilização do geossintético como reforço para recapeamentos asfálticos, é uma solução que tem garantido a vida útil do pavimento, e seu uso está crescendo a cada dia. Porém, durante o processo de instalação do material, ele pode sofrer alguns danos que fazem com que sua resistência diminua e conseqüentemente o material perde parte de sua eficácia, não atendendo as necessidades do projeto.

Para a instalação do geossintético em obras de recapeamento o processo construtivo na maioria das vezes se dá, primeiramente, com o lançamento de uma pintura de ligação sobre a camada deteriorada. Posteriormente o geossintético é instalado de forma que cubra toda a

extensão do pavimento, em seguida o CBUQ é lançado e por fim compactado conforme especificações de projeto.

Com o intuito de avaliar e caracterizar os danos que o geossintético pode sofrer durante sua instalação, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para avaliar os danos mecânicos e de degradação térmica, causados durante o processo de instalação da nova camada. Gonzalez-Torre, I. *et al.* (2014), avaliaram os danos causados durante a instalação de geossintéticos em pavimentos asfálticos, demonstrando experimentalmente, que durante o processo de instalação o geossintético perde parte de sua capacidade estrutural, diminuindo sua resistência à tração.

O presente trabalho visa avaliar o dano mecânico que máquinas, do tipo vibro acabadoras sobre rodas de pneus e sobre esteiras, geram em geossintéticos empregados em recapeamentos asfálticos. Foram utilizados dois tipos de geocompostos reforçados com fibras de vidro, com propriedades mecânicas diferentes. Os materiais foram submetidos a condições reais de dano e avaliadas posteriormente suas propriedades mecânicas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o dano mecânico causado em geossintéticos reforçados com fibras de vidro empregados em recapeamentos asfálticos, gerados por máquinas vibro acabadoras sobre esteiras e sobre pneus, através de ensaios de tração faixa larga.

2.2. Objetivo Específico

- Submeter os corpos de prova ao esforço das máquinas vibro acabadoras em condições reais de obra;
- Avaliar as mudanças nas propriedades mecânicas de geossintéticos submetidos a dano mecânico em condições reais;
- Determinar qual tipo de vibro acabadora gera mudanças mais significativas nas propriedades mecânicas em geossintéticos empregados em recapeamentos asfálticos.

3. JUSTIFICATIVA

De acordo com Ceratti *et al.* (2004), o problema mais comum em recapeamento simples sobre um pavimento trincado, é a reflexão ou propagação de trincas das camadas antigas para as novas. Este fenômeno ocorre após vários ciclos de carregamento, em que pequenas espessuras de concreto asfáltico não resistem à rápida propagação das trincas, reduzindo assim, a vida útil do pavimento. Nesse caso, para combater o surgimento e/ou reduzir as trincas por reflexão, são implementados, em obras de recapeamento asfáltico, sistemas anti-reflexão de trincas com auxílio de geossintéticos.

A iniciativa deste trabalho deve-se à necessidade de avaliar o dano mecânico que o geossintético sofre em um dos procedimentos de construção do recapeamento asfáltico. Existem inúmeras pesquisas como a de Norambuena-Contreras *et al.* (2016), que avaliam o dano mecânico e térmico que diversos tipos de geossintético podem sofrer durante todo o processo construtivo do recapeamento asfáltico, através de ensaios e simulações em laboratório. Além disso, existe também, a pesquisa de Gonzalez-Torre, I. *et al.* (2014), que avalia o dano causado em geossintéticos utilizando três diferentes situações, onde uma delas é de instalação real de campo.

Com base nestes e em outros trabalhos, surgiu a necessidade de avaliar o dano mecânico que o geossintético sofre durante apenas um dos primeiros procedimentos do processo construtivo: o dano causado por máquinas do tipo vibro acabadoras. Estes equipamentos se apresentam em dois tipos: vibro acabadora sobre rodas de pneu e vibro acabadoras sobre esteiras

Este trabalho irá avaliar o dano que os dois tipos de máquina vibro acabadora podem gerar em geossintéticos utilizados em sistemas anti-reflexão de trincas, em condições reais de campo, buscando comparar o dano de cada uma delas.

Devido ao fato de que o dano causado por essas máquinas ainda não é foco de pesquisas atuais, este trabalho contribui de forma fundamental para avaliar um dos danos iniciais do processo construtivo do recapeamento.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Geossintéticos

A norma técnica NBR 10318/2013, afirma que geossintéticos são definidos como materiais poliméricos de material sintético ou natural. Eles se apresentam na forma de manta, tira ou em estrutura tridimensional, utilizado em contato com o solo ou outros materiais, em aplicações da engenharia geotécnica e civil.

Segundo a Associação Internacional de Geossintéticos (IGS), as funções primárias que destacam os geossintéticos são: separação, filtração, drenagem, reforço contenção de fluidos/gases, ou controle de processos erosivos. As funções primárias do geossintético estão representadas na Figura 4.1.

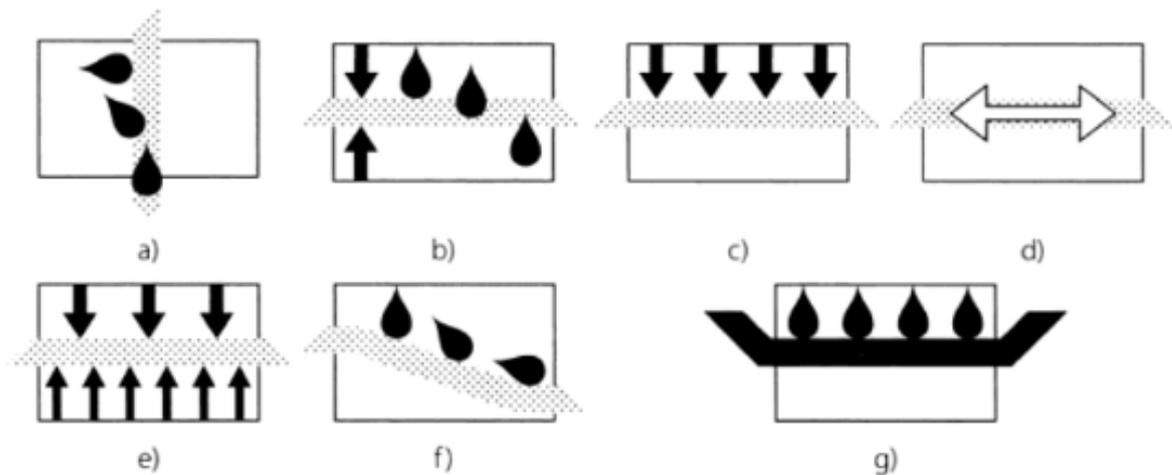


Figura 4.1 Representação esquemática das principais funções que um geossintético pode desempenhar: (a) drenagem; (b) filtração; (c) proteção; (d) reforço; (e) separação; (f) controle de erosão superficial; (g) barreira de fluidos (ISO 10318, 2010).

Diversos tipos de polímeros podem ser utilizados na fabricação de geossintéticos. Dentre os mais empregados estão o polipropileno (PP), polietileno (PE), poliéster (PET), poliamida (PA) e polivinil clorado (PVC) (Maccaferri, 2009). Na Tabela 4.1, estão listados os tipos de polímeros e em quais tipos de geossintéticos eles são principalmente utilizados.

Tabela 4.1 Principais polímeros utilizados na fabricação dos geossintéticos (modificado Maccaferri, 2009).

Polímero	Tipos de geossintéticos
Polietileno (PE)	Geotêxteis, geomembranas, geocompostos, geogrelhas e georredes.
Polipropileno (PP)	Geotêxteis, geomembranas, geogrelhas e geocompostos.
Poliéster (PET)	Geotêxteis, geogrelhas e geocompostos.
Policloreto de vinila (PVC)	Geomembranas e geocompostos.
Poliamida (PA)	Geotêxteis, geogrelhas e geocompostos.

4.2. Classificação dos Geossintéticos Empregados em Pavimentação

Desde a década de 1970, os geossintéticos vêm sendo aplicados em restauração de pavimentos asfálticos rodoviários (Ceratti *et al.*, 2004). Os geossintéticos são inseridos em obras rodoviárias como solução para reforçar camadas ou aumentar a vida útil do pavimento, podendo ter como objetivo reforçar, separar, impermeabilizar e/ou proteger as camadas que o compõe.

Os geossintéticos utilizados em pavimentação são geralmente as geogrelhas, os geotêxteis, ou geocompostos. De acordo a IGS, esses materiais são classificados da seguinte forma:

- a) **Geogrelhas:** materiais geossintéticos com forma de grelha (Figura 4.2). Sua principal aplicação é em reforço de estruturas. Elas podem ser classificadas como geogrelhas unidirecionais ou bidirecionais, de acordo com a direção da capacidade para resistir esforços de tração. Seus elementos podem ser unidos por extrusão, solda ou entrelaçamento, e suas aberturas são maiores que os elementos constituintes (NBR 10318, 2013).

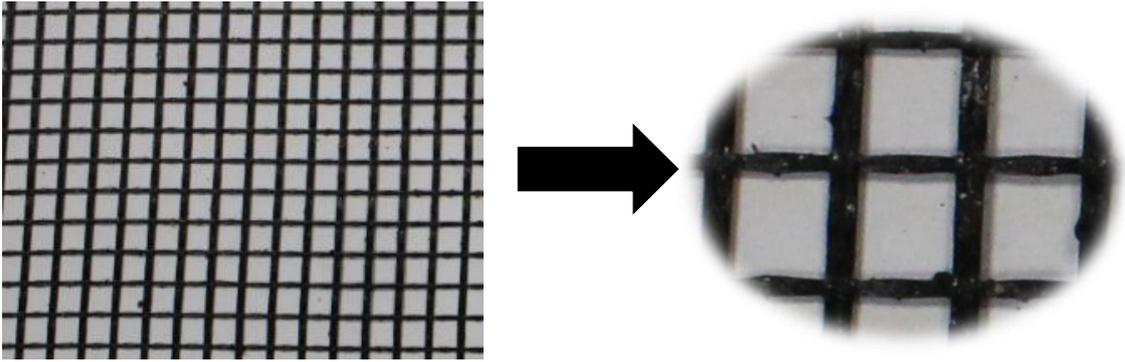


Figura 4.2 Geogrelha fabricada em fibra de vidro.

- b) **Geotêxteis:** mantas contínuas de fibras ou filamentos, podendo ser compostas de material tecido ou não tecido (Figura 4.3). O produto tecido é obtido através de entrelaçamentos por costura ou tricô, por outro lado, o não tecido é composto por fibras cortadas ou filamentos contínuos, distribuídos aleatoriamente e interligados por processos mecânicos, térmicos ou químicos (NBR 10318, 2013). Geralmente são aplicados para separar, filtrar, proteger, drenar, reforçar e controlar erosões.

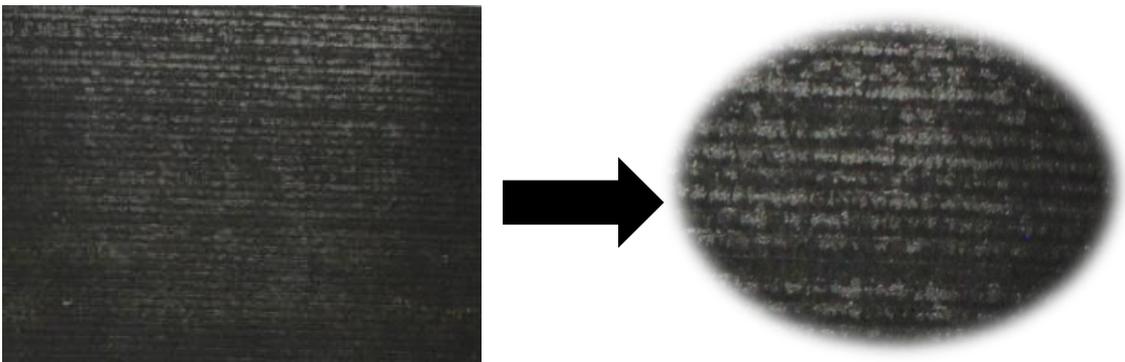


Figura 4.3 Geotêxtil fabricado em fibra de vidro.

- c) **Geocompostos:** formados pela associação de dois ou mais tipos de geossintéticos (Figura 4.4). São aplicados conforme a função dos geossintéticos combinados. No caso de geocompostos utilizados em pavimentação, a combinação do produto é feita por um geotêxtil e geogrelha, com a intenção de reforçar estruturas (NBR 10318, 2013).

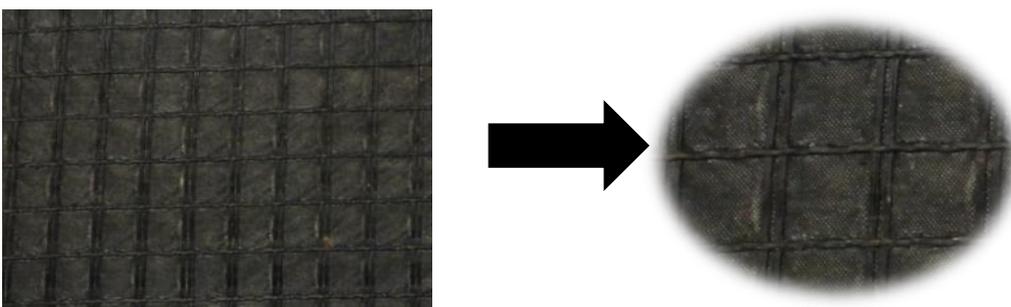


Figura 4.4 Geocomposto utilizado em recapeamentos asfálticos.

4.3. Mecanismos de Atuação

O desenvolvimento de um país aumenta juntamente com o crescimento das rodovias, que a cada dia estão sendo mais solicitadas devido à necessidade de transporte de cargas e de pessoas. Devido este desenvolvimento, é necessário construir pavimentos mais resistentes e melhorar os pavimentos existentes danificados. Uma solução para melhorar e construir melhores rodovias é a utilização de geossintéticos.

A vantagem de utilizar geossintéticos em pavimentos consiste em prover confiabilidade adicional para um desempenho adequado do pavimento restaurado (Ceratti *et al.*, 2004).

De acordo com a IGS, os geossintéticos podem ser efetivamente utilizados em pavimentação para:

- Reduzir ou evitar a reflexão de trincas (Figura 4.5);

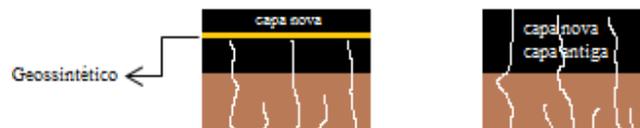


Figura 4.5 Redução da reflexão de trincas.

- Trabalhar como uma barreira evitando o bombeamento de finos (Figura 4.6);

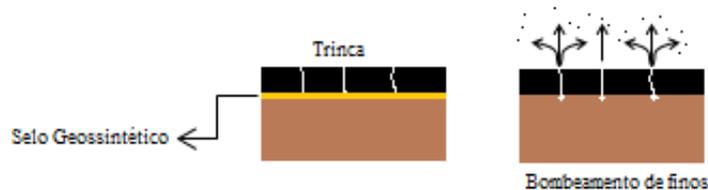


Figura 4.6 Barreira que evita bombeamento de finos.

- Reduzir a espessura da capa asfáltica (Figura 4.7);



Figura 4.7 Redução da espessura capa asfáltica.

- Reduzir a espessura do pavimento (Figura 4.8);



Figura 4.8 Redução da espessura do pavimento.

- Aumentar a vida útil do pavimento (Figura 4.9);

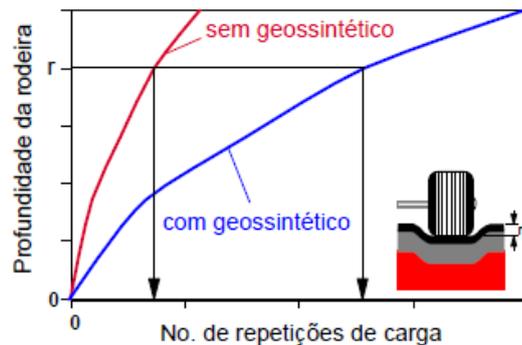


Figura 4.9 Aumento da vida útil do pavimento (Geossinéticos em Rodovias – IGS).

4.4. Propriedades Mecânicas dos Geossintéticos

Em quase todos os tipos de obras geotécnicas, seja durante a instalação, construção ou durante a vida útil da obra, os geossintéticos estão sujeitos a solicitações mecânicas. Portanto, cada tipo de geossintético deve ter propriedades mecânicas capazes de suportar os esforços para qual foi designado. As principais propriedades mecânicas dos geossintéticos são: resistência à tração, resistência à penetração e a perfuração, e resistência a danos de instalação (Maccaferri, 2009).

A propriedade mecânica analisada nesta pesquisa foi a resistência à tração em faixa larga, que pode ser medida através do ensaio normatizado pela ABNT–NBR 10319/2013(Geossintéticos – Ensaio de tração faixa larga). Ao longo do ensaio, é aplicada, no geossintético, uma força de tração contínua e crescente até sua ruptura, sendo registrados num sistema de aquisição de dados a força e seus respectivos deslocamentos.

4.4.1. Descrição do Equipamento e dos Procedimentos para o Ensaio de Tração Faixa Larga

O método de ensaio abrange a medida das características de carga e alongamento, incluindo procedimentos para calcular a rigidez secante, a carga máxima por unidade de largura e a deformação na carga máxima (NBR 10319, 2013).

A aparelhagem necessária para o ensaio de tração é composta de uma máquina de ensaio de tração, mostrada na Figura 4.10, equipada com um par de garras (o tipo de garra varia dependendo do material), com capacidade de esticar o material à uma velocidade constante.

Um medidor de deslocamento, capaz de medir a distância entre dois pontos de referência no corpo de prova (geralmente acoplado na máquina), sistema de aquisição de dados.



Figura 4.10 Equipamento para ensaio de Tração Faixa Larga.

Para a realização do ensaio, primeiramente deve-se preparar o corpo de prova, com as dimensões estabelecidas por norma. Em seguida é necessário configurar a máquina estabelecendo alguns parâmetros como a distância entre as garras e velocidade de deformação. Posteriormente o corpo de prova é fixado em toda sua largura no conjunto de garras da máquina de forma centralizada. Para iniciar o ensaio deve-se ligar a máquina e aplicar uma pré-carga de aproximadamente 1% da força máxima estimada para estabelecer o ponto inicial, em seguida o carregamento continua até a ruptura do geossintético.

De acordo com a ABNT-NBR 10319/2013, o que diferencia este ensaio dos demais ensaios de tração em geossintético é o tamanho do corpo de prova, que neste caso, a largura é maior que o comprimento, o que reduz o efeito de contração do material (estricção), e faz com que o ensaio se aproxime das condições de campo, chegando a resultados satisfatórios.

A medida das deformações é obtida a partir da medição do aumento na distância real entre as garras durante o ensaio.

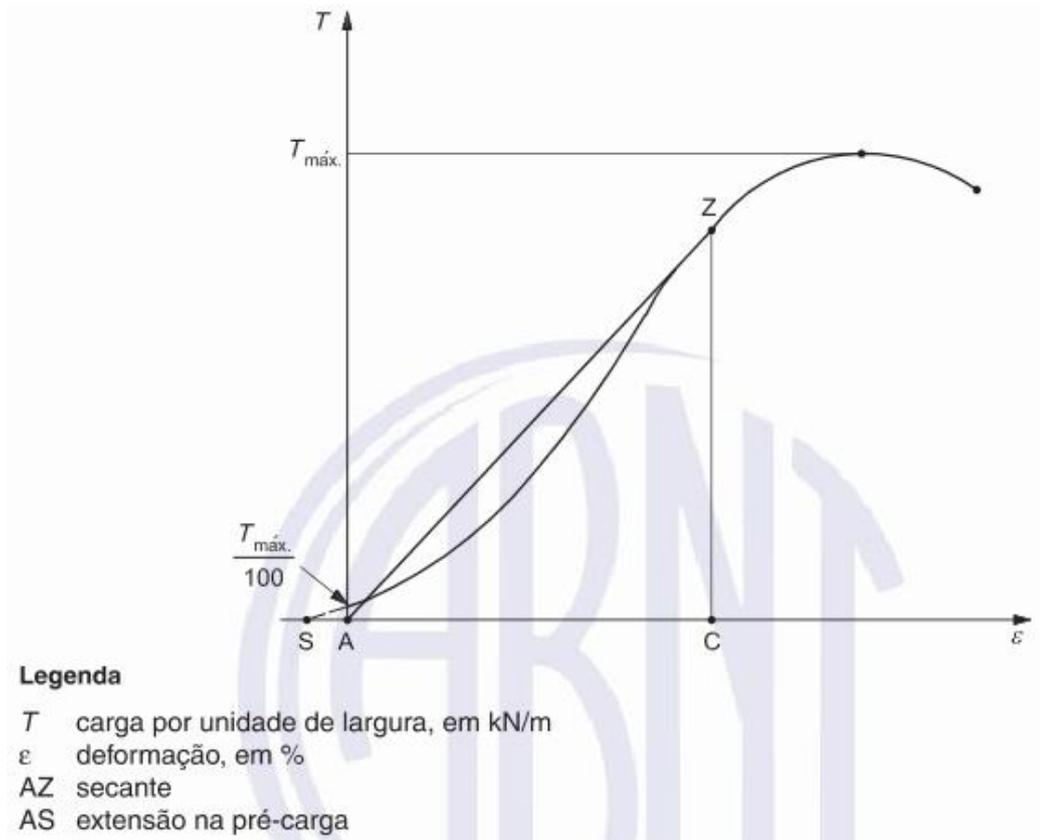


Figura 4.11 Curva típica carga por unidade de largura/deformação (NBR 10319, 2013).

A resposta que este ensaio gera é caracterizada pela relação entre a força por unidade de largura, em kN/m, e a deformação longitudinal, expressa em porcentagem. A Figura 4.11 apresenta uma curva carga-alongamento típica e os parâmetros determinados a partir dela.

Os cálculos a serem feitos para quantificar a força e a deformação são feitos a partir das equações:

$$T_{máx} = F_{máx} \times c \quad \text{Equação (1) – Resistência à tração}$$

Onde:

$T_{máx}$ é a resistência á tração, em quilonewtons por metro (kN/m);

$F_{máx}$ é a força máxima registrada, em quilonewtons (kN);

$c = 1/B$, onde B é a largura nominal do corpo de prova em metros (m).

$$j = \frac{F \times c \times 100}{\varepsilon} \quad \text{Equação (2) – Rigidez secante}$$

Onde:

J é a rigidez secante, em quilonewtons por metro (kN/m);

F é a força determinada à deformação, ε , em quilonewtons (kN);

ε é a deformação específica, em porcentagem (%);

$c = 1/B$, onde B é a largura nominal do corpo de prova em metros (m).

4.5. Dano Mecânico em Geossintéticos em Pavimentação

O uso de geossintéticos em obras geotécnicas de reforço é essencial para garantir que a estrutura tenha um melhor desempenho, bem como um longo prazo de vida útil. No entanto, muitas vezes esse melhoramento com geossintético pode não ser tão eficaz quanto o esperado, uma vez que o material pode vir a sofrer danos durante o processo de instalação e/ou manuseio, e conseqüentemente apresentar um desempenho insatisfatório.

Em obras de pavimentação este dano é comumente gerado no material durante os processos construtivos da obra, seja por causa da grande quantidade de equipamentos que passam sobre o pavimento, seja durante a instalação do geossintético, ou devido compactação das diversas camadas do pavimento, ou por causa da alta temperatura do CBUQ. De acordo com Hufenus *et al.* (2005), o processo de instalação pode representar a solicitação mais difícil que um geossintético sofre durante sua vida útil.

Em relação aos danos que o geossintético pode sofrer durante sua instalação, Norambuena-Contreras *et al.* (2009), estudaram o efeito de altas temperaturas sobre geossintéticos. Para isso, eles realizaram dois ensaios: o primeiro deles avaliava o aumento da temperatura do geossintético, adquirida por convecção, quando em contato com ar quente, permitindo a obtenção dos dados de temperatura máxima atingida em função do tempo de exposição ao ar quente (150 °C). Já o segundo ensaio, representado na Figura 4.12, tinha o objetivo de estudar a variação do tamanho da superfície do corpo de prova de geossintético após ser aquecido, por condução térmica, quando em contato com material granular quente, a 135 °C e 165°C.

Na pesquisa dos autores, foram analisados geossintéticos de poliéster, polipropileno e geotêxtil de polipropileno reforçado com fibra de vidro.

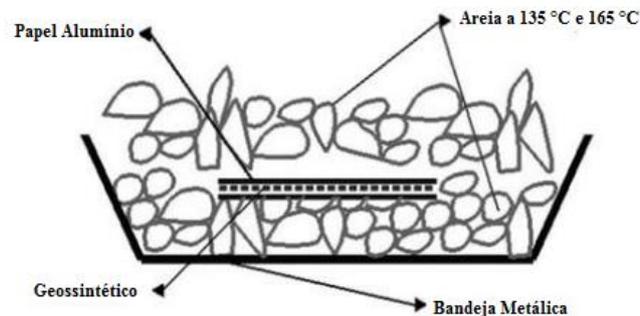


Figura 4.12 Esquema teste de aquecimento (Norambuena-Contreras *et al.* 2009).

A Figura 4.13, faz uma comparação de dois corpos de prova de geossintético, um de polipropileno e outro de poliéster, antes e depois de serem submetidos ao ensaio de aquecimento por condução com o calor do material granular. É notório que ambas as superfícies dos corpos de prova sofreram encolhimento devido ao calor.

Dos resultados obtidos na pesquisa, foi possível concluir que o polipropileno, material muito comum para a fabricação de geossintéticos, sobre temperaturas acima de 140°C sofre um dano significativo. Ou seja, não é aconselhável lançar o CBUQ diretamente sobre o geossintético fabricado com polipropileno se ele estiver com temperatura maior que 140°C. Com esta pesquisa também concluíram que geossintéticos fabricados com poliéster podem suportar temperaturas de até 165°C.

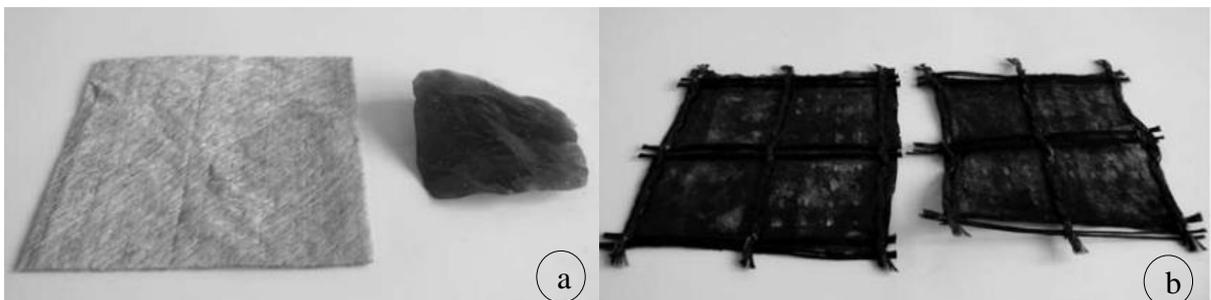


Figura 4.13 Corpo de após degradação térmica: (a) Polipropileno; (b) Poliéster (Norambuena-Contreras *et al.*, 2009).

Em outra pesquisa mais recente, Norambuena-Contreras *et al.* (2016), avaliaram o dano físico e mecânico em fibras de geossintéticos utilizados em sistemas de anti-reflexão de trincas de pavimentos asfálticos. Para isso, desenvolveram uma simulação em laboratório dos danos causados devido ao lançamento e a compactação do CBUQ em geossintéticos, utilizando

compactação dinâmica de agregados em alta temperatura. Os materiais utilizados foram geogrelhas de materiais sintéticos como poliéster, álcool polivinílico e fibras de vidro. Os procedimentos simularam experimentalmente as cargas térmicas e mecânicas através da compactação Proctor e compactação Marshall. Para a compactação tipo Proctor, primeiro eles aqueceram a amostra de geossintético entre duas camadas de CBUQ dentro de um forno a 160°C, após o aquecimento do geossintético eles realizaram a compactação Proctor, composta pelas camadas de CBUQ, geossintético e agregado, como ilustrado na Figura 4.14.

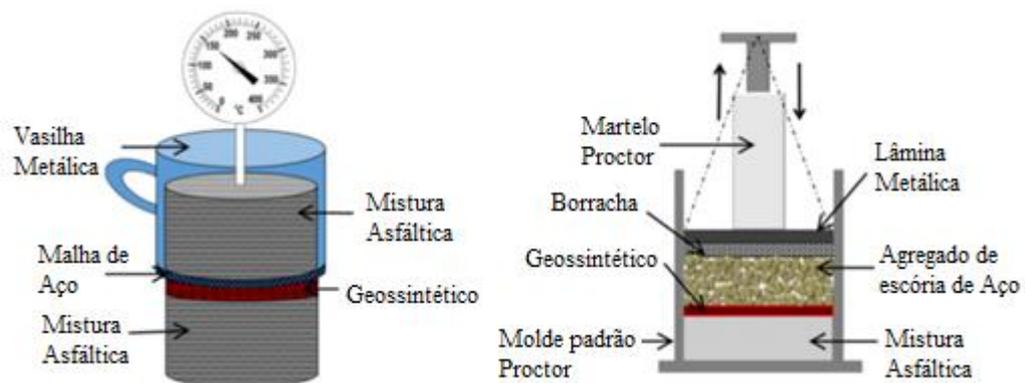


Figura 4.14 Esquema do processo de dano utilizando compactação Proctor (Norambuena-Contreras *et al.*, 2016).

Para a compactação Marshall, eles moldaram o corpo de prova com o geossintético no meio das duas camadas de CBUQ, efetuando a compactação conforme a norma ASTM D6926-10. Para remover o geossintético do corpo de prova, após a compactação, foi necessário deixar o corpo de prova dentro de uma estufa a uma temperatura de 110°C durante 3 horas, posteriormente removeram o geossintético sem causar mais danos. Estes procedimentos foram feitos com todos os três tipos de geogrelhas. Visando determinar as mudanças nas propriedades mecânicas, avaliaram as propriedades físicas e mecânicas através de ensaios de caracterização e ensaios de tração nas fibras dos geossintéticos, conforme mostrado na Figura 4.15. Uma das principais conclusões desta pesquisa, foi que as fibras danificadas pelo procedimento de compactação Proctor, apesar de esmagar e até romper algumas fibras do geossintético, não gerou um dano significativo no valor da tensão máxima das fibras ($F_{m\acute{a}x}$). Porém, concluíram que o procedimento utilizando compactação Marshall produziu uma perda significativa no valor do $F_{m\acute{a}x}$ das fibras, verificando que o lançamento e a compactação do CBUQ causam uma redução nas propriedades mecânicas das fibras.

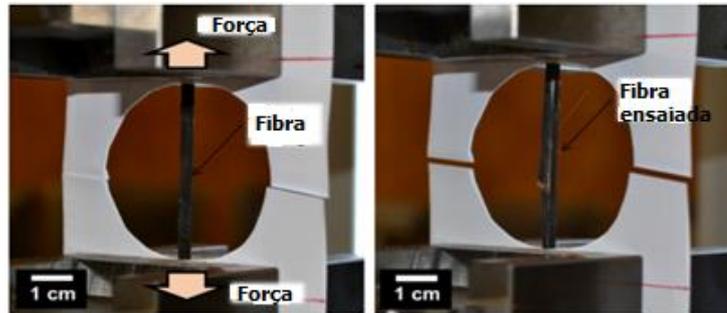


Figura 4.15 Ensaio de Tração na Fibra do Geossintético (Norambuena-Contreras *et al.*, 2016).

Cabe também, citar o estudo sobre a avaliação do dano gerado durante a instalação de geossintéticos utilizados em pavimentos asfálticos, desenvolvido por Gonzalez-Torre *et al.* (2014), onde os autores avaliaram o dano de instalação em cinco diferentes tipos de geossintéticos, utilizados em pavimentação como sistema de anti-reflexão de trincas representados na Figura 4.16. Os geossintéticos utilizados foram: dois geotêxteis, dois geocompostos (geotêxtil ligado a geogrelha) e uma geogrelha.

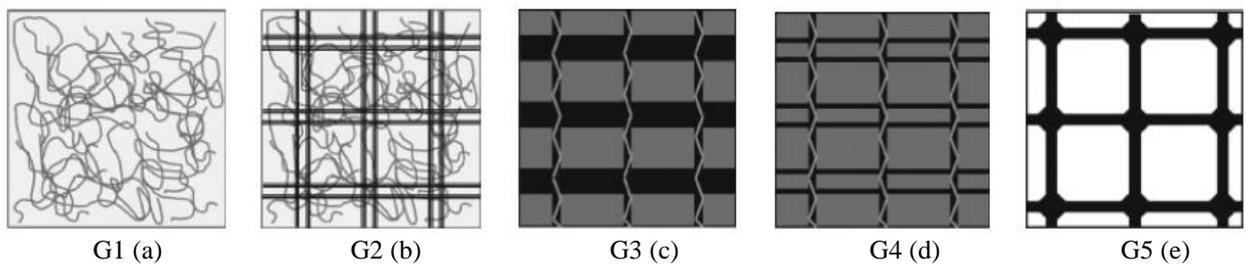


Figura 4.16 Estrutura dos geossintéticos utilizados. (a) – geotêxtil; (b) – geotêxtil reforçado com fibra de vidro; (c) e (d) – geocompostos; (e) – geogrelha (Gonzalez-Torre *et al.*, 2014).

Os três procedimentos utilizados para danificar os geossintéticos foram o teste de dano mecânico com agregados, teste de instalação real e um procedimento novo de instalação feito em laboratório. O primeiro procedimento de dano mecânico feito foi o ensaio com os agregados, baseado na ISO 10722/2007, onde o geossintético é colocado entre duas camadas de agregado, dentro de um recipiente quadrado, e uma carga dinâmica é aplicada. Após a aplicação da carga, o agregado é removido, e posteriormente o corpo de prova (geossintético) é analisado através da avaliação de referência, para medir as propriedades mecânicas após o procedimento.

Para realizar o teste de instalação real, primeiramente os geossintéticos foram posicionados sobre o pavimento existente, em seguida, uma camada de CBUQ foi lançada e compactada de acordo com a instalação usual, utilizando rolo vibratório e em seguida o rolo

pneumático. Após o esfriamento do CBUQ (+/- 80 °C), foi possível retirar os geossintéticos, removendo primeiro a camada de CBUQ manualmente, como mostrado na Figura 4.17.

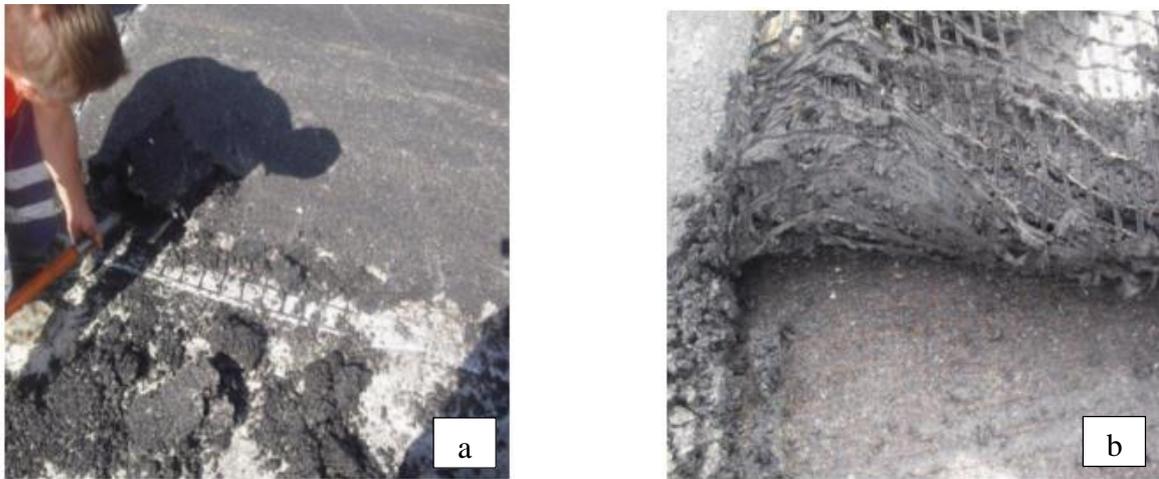


Figura 4.17 avaliação dano mecânico e térmico em geossintéticos: (a) Remoção da camada de CBUQ; (b) Remoção do geossintético (Gonzalez-Torre *et al.*, 2014).

O novo procedimento realizado pelos pesquisadores foi desenvolvido em laboratório, onde foram moldados diversos corpos de prova, no qual o geossintético ficava entre duas camadas de uma mistura asfáltica densa, ambas as camadas de mistura asfáltica foram compactadas até atingirem espessura de 40 mm. Para garantir que o geossintético ficasse bem aderido às superfícies das camadas de mistura asfáltica, foi lançada uma fina camada de emulsão betuminosa sobre as placas antes de colocar o geossintético. Após atingirem temperatura ambiente, os corpos de prova foram aquecidos a 110 °C e as camadas foram separadas, possibilitando a remoção do geossintético (Figura 4.18).



Figura 4.18 Remoção do geossintético (Gonzalez-Torre *et al.* 2014).

Após realizarem cada teste de dano no material, os geossintéticos foram submetidos ao ensaio de tração para que suas propriedades mecânicas fossem analisadas. Alguns dos resultados obtidos na pesquisa, sobre as amostras danificadas, estão representados na Figura

4.19 que apresenta os valores de tração máxima obtidos após realizarem ensaios de tração faixa larga nos corpos de prova de cada tipo de geossintético. Já a Figura 4.20 representa, em forma de gráfico, os valores dos módulos de rigidez secante à deformação de 2% de cada geossintético estudado, onde se pode comparar a intensidade do dano em cada material de acordo com os procedimentos realizados na pesquisa.

Geossintético	Teste aplicado			
	Caracterização (Original)	Dano mecânico (agregados)	Instalação real	Instalação em laboratório
G1	10.1 ± 1.1 (11)	9.0 ± 1.5 (17)	5.1 ± 2.6 (51)	3.8 ± 1.7 (45)
G2	57.5 ± 4.8 (8)	12.1 ± 1.5 (12)	10.4 ± 5.1 (49)	5 ± 0.1 (2)
G3	51.2 ± 2.1 (4)	46.2 ± 0.6 (1)	27.6 ± 2.9 (11)	32.2 ± 6.6 (21)
G4	30.8 ± 0.7 (2)	30.5 ± 1.9 (6)	16.8 ± 2.3 (14)	19.5 ± 0.6 (3)
G5	27.2 ± 0.4 (2)	27.2 ± 0.4 (2)	22.5 ± 4.1 (18)	22.8 ± 0.27 (1)

Figura 4.19 Força de tração obtida após ensaio de tração faixa larga. (valores em kN/m) (Gonzalez-Torre *et al.* 2014).

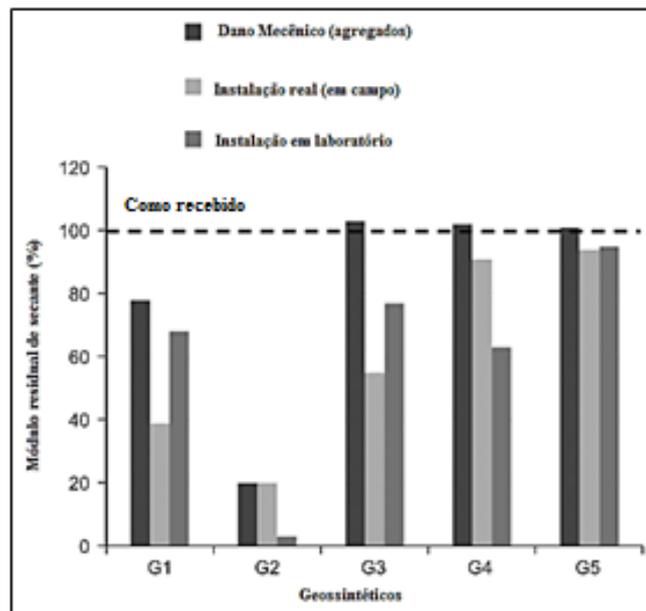


Figura 4.20 Módulos residual de secante (Gonzalez-Torre *et al.*, 2014).

Após analisar os resultados, os pesquisadores concluíram, que o comportamento do geossintético utilizado em soluções de sistemas de anti-reflexão de trincas depende de suas propriedades resistentes, e que elas podem ser afetadas após danos mecânicos e térmicos causados durante a instalação do revestimento. Concluíram também que este comportamento está ligado diretamente com o material que o geossintético é fabricado.

MATERIAIS

Para a realização desta pesquisa, foram selecionados geossintéticos utilizados exclusivamente em obras de pavimentação, como solução para diminuir a reflexão de trincas, podendo estender a vida útil do pavimento, além de servir como reforço impermeabilizante, conforme representado na Figura 5.1.

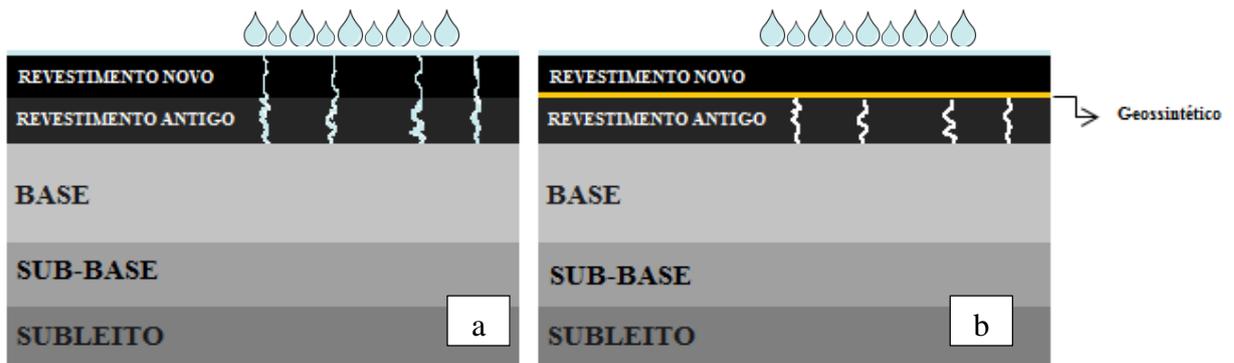


Figura 4.21 Exemplo da situação do pavimento : (a) Pavimento sem reforço; (b) Pavimento com reforço.

Dois diferentes tipos de geossintético, G1 e G2, foram analisados com a intenção de avaliar o dano que as máquinas do tipo vibro acabadora podem causar no material durante a obra de recapeamento asfáltico. Ambos geossintéticos foram do tipo geocomposto não-tecido de poliéster reforçados com matriz de fibra de vidro, porém, possuindo características físicas distintas.

A Tabela 5.1 apresenta as principais propriedades físicas dos materiais, fornecidas pelo fabricante do produto.

Tabela 4.2 Propriedades Físicas dos Materiais

Geossintético	Resistência à Tração (kN/m)	Gramatura (g/m ²)	Alongamento (%)	Módulo de Elasticidade E (mPa)	Ponto de Fusão (°C)
G1	25	136	≤ 5	73000	> 232
G2	50	237	≤ 5	73000	> 232

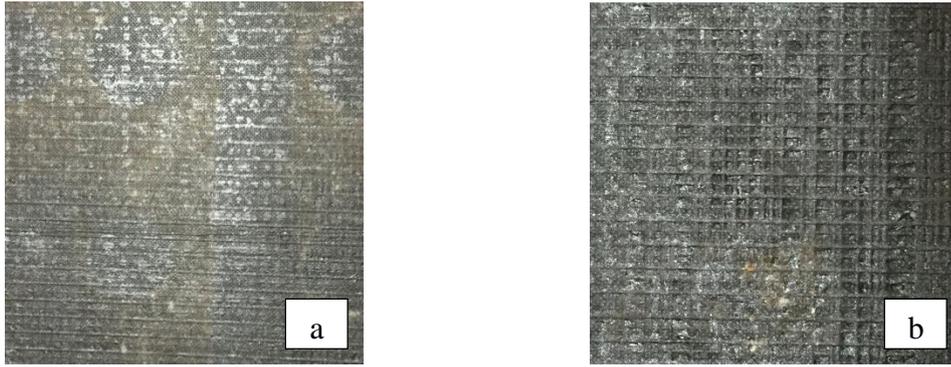


Figura 4.22 Face superior dos geossintéticos utilizados na pesquisa: (a) G1; (b) G2.

Conforme a Figura 5.2, é possível perceber que se trata de materiais muito parecidos. Porém, analisando os dados das propriedades físicas do material na Tabela 5.1, pode-se identificar que a maior diferença entre eles é o valor da unidade de massa por área (gramatura), e a resistência à tração. Observando as Figuras 5.3 e 5.4, também é possível ver um pouco da diferença dos geossintéticos estudados.

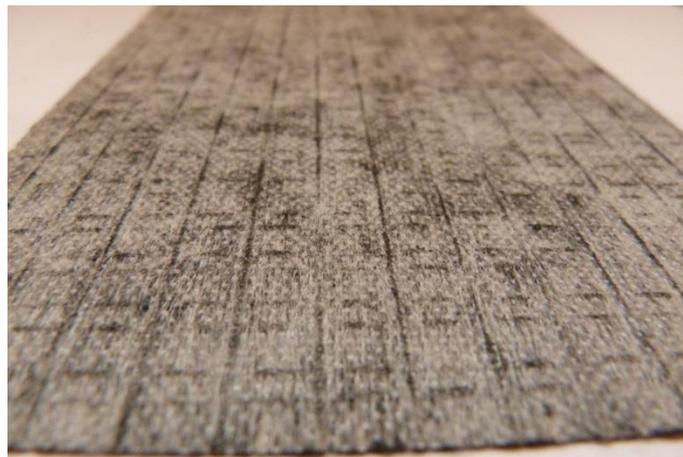


Figura 4.23 Face inferior do material G1 (Fonte: Fabricante).

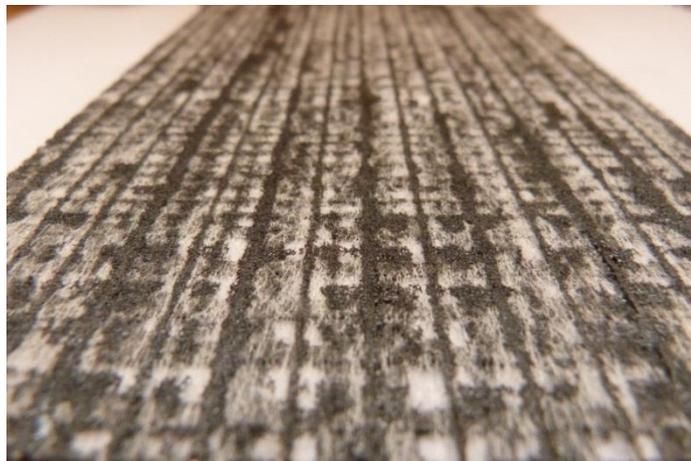


Figura 4.24 Face inferior do material G2 (Fonte: Fabricante).

5. METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa foi dividida nas seguintes etapas: preparação das amostras, submissão das amostras ao dano mecânico e ensaios de resistência à tração em faixa larga. As descrições das atividades realizadas em cada uma das etapas estão explicadas nos próximos itens.

5.1. Separação das Amostras

Para a realização dos ensaios, os corpos de prova foram preparados para realizar ensaios em três condições diferentes: original, dano mecânico por vibro acabadora de pneus e dano mecânico por vibro acabadora de esteiras. Para a realização dos ensaios as amostras foram cortadas nas seguintes dimensões: 1,20 metros e 0,30 metros de largura (Figura 6.1), na direção de fabricação dos geotêxteis. Para evitar algum dano induzido pela manipulação, os materiais foram armazenados em uma caixa com as mesmas dimensões, onde ficaram retas, sem qualquer risco de ocorrência de dobras ou ondulações em sua extensão.

Todas as amostras foram cortadas e armazenadas conforme as recomendações da norma técnica ABNT NBR 9862/2013 (Geossintéticos: Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios), durante todas as etapas dos procedimentos realizados nesta pesquisa.



Figura 5.1 Amostras cortadas prontas para serem armazenadas.

Após a preparação, as amostras foram levadas a campo para serem submetidas ao esforço das máquinas vibro acabadoras.

5.2. Danos com as Máquinas Vibro Acabadoras

As máquinas utilizadas para danificar as amostras foram: uma vibro acabadora sobre esteiras, em boas condições e relativamente nova (Figura 6.2 a); e uma vibro acabadora sobre rodas de pneu, antiga, com os pneus dianteiros parcialmente danificados (Figura 6.2 b). Ambas as máquinas estavam sendo utilizadas em uma obra de recapeamento na BR 070, nas proximidades da cidade de Girassol – Goiás. As especificações técnicas de cada uma das máquinas estão relacionadas na Tabela 6.1 a seguir:

Tabela 5.1 Características das Máquinas Vibro Acabadoras.

Marca	Modelo	Tipo de Rolamento	Largura do Rolamento (cm)	Extensão	Potência (rpm)	Peso (kgf)
Vogele	Super 1800-2	ESTEIRA	30	até 6 m	2000	12100
Cifali	VDA 621 BM	PNEU	30	até 6 m	1800	19300



Figura 5.2 Máquina Vibro Acabadora: (a) Sobre Esteiras; (b) Sobre Pneus.

Para submeter as amostras ao dano mecânico das máquinas, elas foram colocadas sobre o pavimento antigo, de modo com que o eixo ficasse no mesmo sentido do eixo do rolamento das máquinas. Para garantir que o rolamento das máquinas passasse por cima de toda a extensão das amostras, sem que ficassem presas no rolamento, elas foram dispostas em apenas um dos lados da máquina. As máquinas passaram apenas uma vez sobre cada amostra de geossintético. As Figuras 6.3 e 6.4, apresentam como as máquinas passaram sobre os geossintéticos. Após este processo, as amostras foram devidamente etiquetadas e armazenadas.



Figura 5.3 Amostra sendo submetida ao esforço da Vibro Acabadora de Esteiras: (a) Geossintético sendo danificado pelo equipamento sobre esteiras; (b) Esteiras.



Figura 5.4 Amostra sendo submetida ao esforço da Vibro Acabadora de Pneus: (a) Geossintético sendo danificado pelo equipamento sobre pneus; (b) Pneu traseiro do equipamento.

Após o processo de dano nas amostras em campo, elas foram levadas ao laboratório para a preparação dos corpos de prova, para realizar a avaliação das propriedades mecânicas.

5.3. Preparação dos Corpos de Prova

Para a realização de ensaios de resistência à tração em faixa larga, foram recortados 24 (vinte e quatro) corpos de prova de cada um dos materiais, G1 e G2, totalizando em 48 corpos de prova (Tabela 6.2). Eles foram separados da seguinte forma: 8 (oito) corpos de prova originais (intactos), 8 corpos de prova danificados com a vibro acabadora sobre esteiras, e 8 corpos de prova danificados com a vibro acabadora sobre rodas de pneus, para cada um os materiais.

Tabela 5.2 Quantidade de Corpos de Prova.

Material	Originais	Esteira	Pneu	Total CPs
G1	8	8	8	24
G2	8	8	8	24

Como se trata de geossintético do tipo geocomposto, a norma técnica NBR 10319/2013, recomenda que o corpo de prova tenha largura de 200 mm, e um comprimento que garanta a distância de 100 mm entre as garras. Foram colocadas tiras de fita para demarcar a área a ser tracionada, e também para garantir a distância de 100 mm entre as garras da máquina (Figura 6.5).

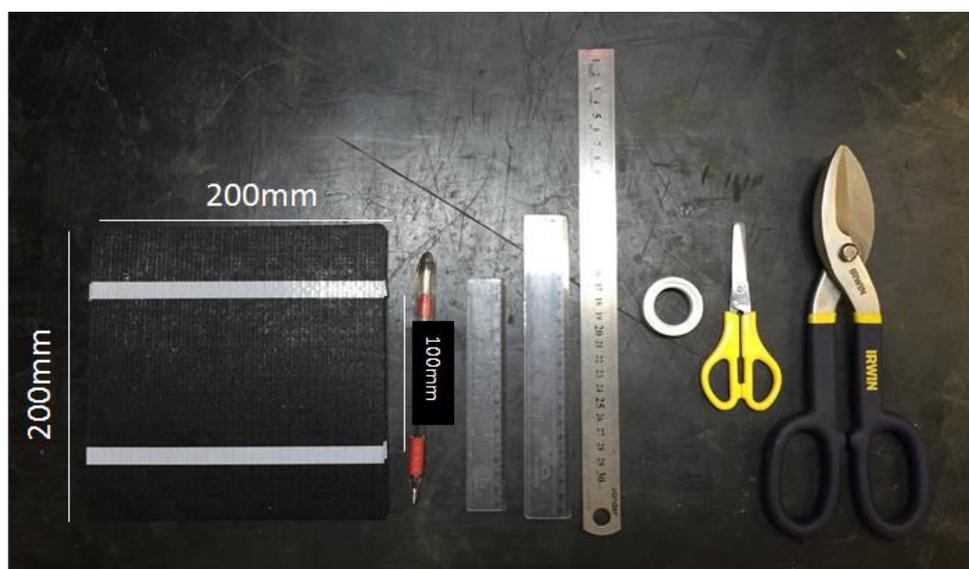


Figura 5.5 Corpo de prova e ferramentas utilizadas para a preparação.

5.4. Ensaio de Tração Faixa Larga

Posteriormente à fase de preparação dos corpos de prova, eles foram submetidos ao ensaio de tração faixa larga, padronizado pela NBR 10319/2013, no qual o material é tracionado até sua ruptura. Durante o ensaio são coletadas informações de carga e alongamento, enquanto o corpo de prova é tracionado. A máquina utilizada para o ensaio de tração foi uma prensa universal de ensaios DL 2000 EMIC. Os dados de carga e alongamento foram obtidos através de um software, para o computador, como é constatado na Figura 6.6. Após a ruptura do corpo de prova ele se apresenta conforme a Figura 6.7.

Todos os 48 corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração faixa larga na direção de fabricação do material.

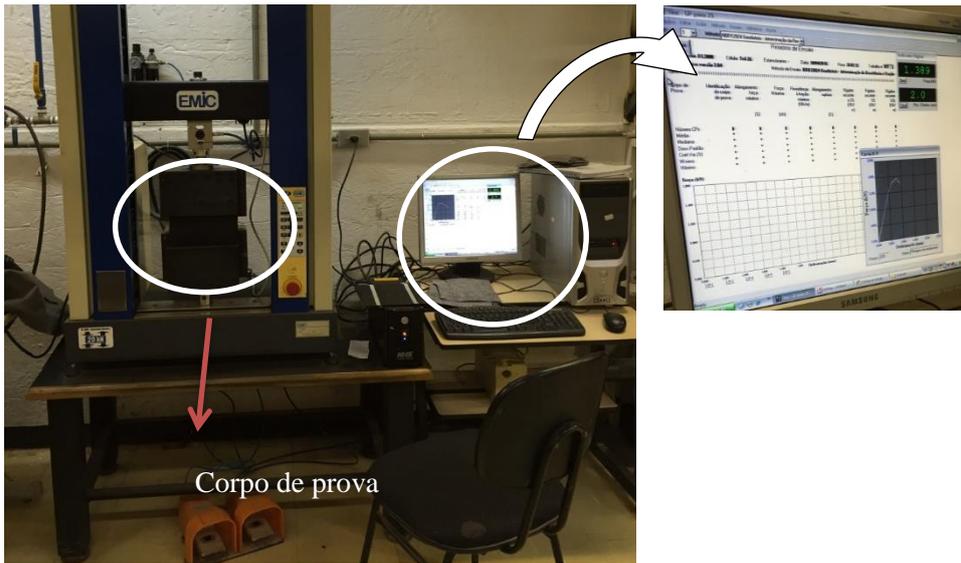


Figura 5.6 Ensaio de tração faixa larga.

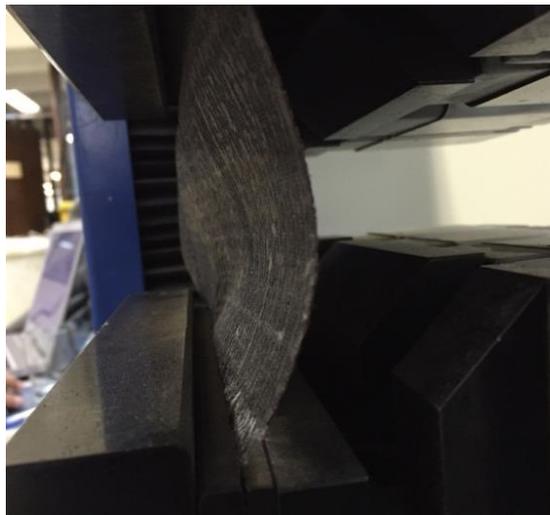


Figura 5.7 Corpo de prova após seu rompimento.

Após a coleta dos dados de carga e de alongamento, foram determinadas as características de resistências à tração: deformação na carga máxima, resistência à tração e a rigidez secante avaliada a 1% de deformação, de cada corpo de prova ensaiado.

Todos os procedimentos de preparação de corpo de prova e ensaios de tração faixa larga foram feitos no Laboratório de Geotecnia do SG-12, da Universidade de Brasília – UnB.

6. RESULTADOS E ANÁLISES

Apesar de terem sido ensaiados 8 (oito) corpos de prova de cada situação (original, dano mecânico com pneus e esteiras), foram selecionados apenas 5 (cinco) corpos de prova de cada, quantidade esta que está dentro das exigências da norma.

Para definir quais seriam os cinco corpos de prova selecionados, decidiu-se, como critério de escolha, selecionar os valores que gerassem o menor coeficiente de variação possível.

Os gráficos a seguir, representados nas Figuras 7.1(Originais), 7.2 (Esteira) e 7.3(Pneu), apresentam curvas dos valores de carga e alongamento, obtidos através do ensaio de tração faixa larga, de cada um dos corpos de prova dos materiais estudados.

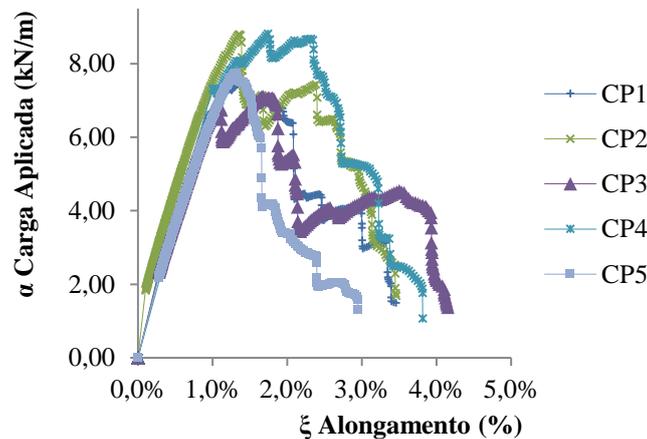


Figura 6.1 Curvas de Carga-Alongamento

G1- ORIGINAIS.

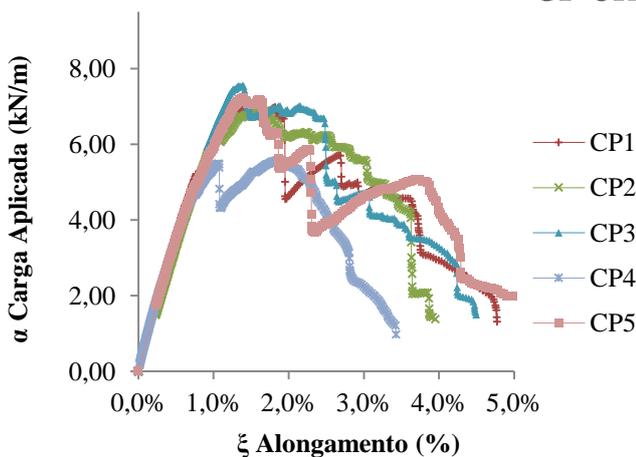


Figura 6.2 Curvas de Carga-Alongamento

G1- ESTEIRA.

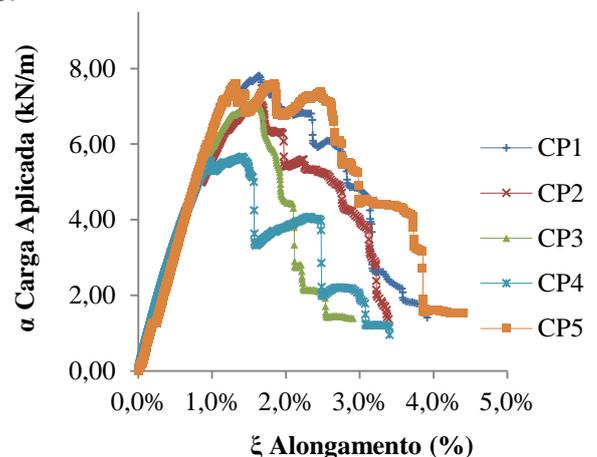


Figura 6.3 Curvas de Carga-Alongamento

G1- PNEU.

Ao analisar os gráficos, comparando o gráfico das amostras originais (Figura 7.1) com os gráficos dos corpos de prova submetidos aos esforços da máquina sobre esteiras e sobre pneus

(Figuras 7.2 e 7.3), é possível perceber que houve algumas mudanças nas tendências das curvas alongamento *versus* carga aplicada, das amostras danificadas mecânicamente em comparação às amostras em estado original.

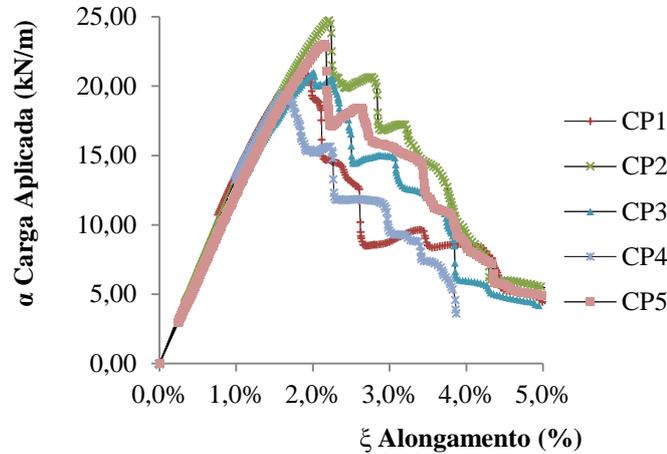


Figura 6.4 Curvas de Carga-Alongamento

G2- ORIGINAIS.

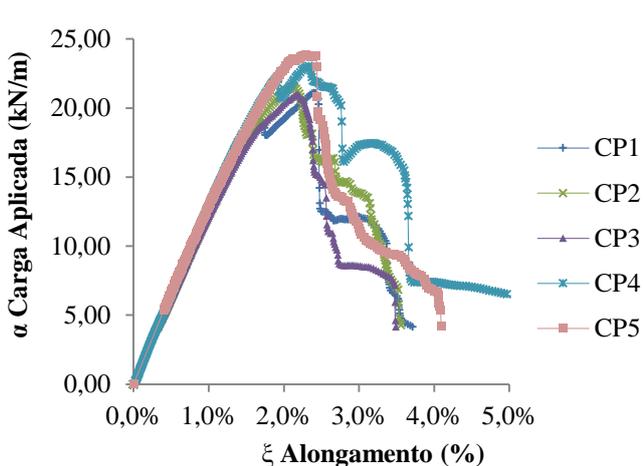


Figura 6.6 Curvas de Carga-Alongamento

G2- ESTEIRA.

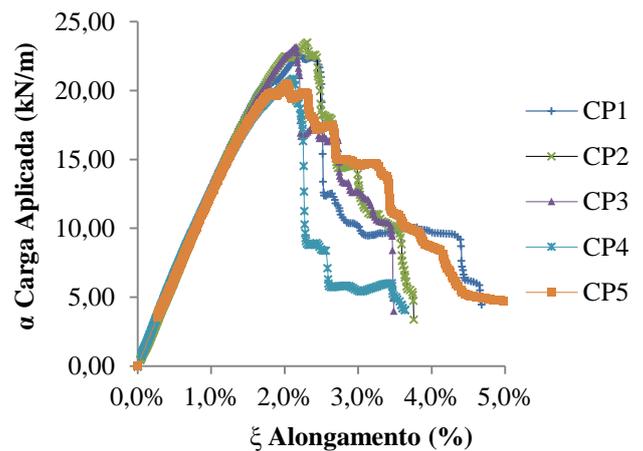


Figura 6.5 Curvas de Carga-Alongamento

G2- PNEU.

Observando os gráficos do material G2, representados nas Figuras 7.4 (Originais), 7.5 (Pneu) e 7.6 (Esteira), é possível perceber que o resultado não foi muito diferente do resultado do G1, observando que as amostras submetidas ao esforço das máquinas geraram mudanças nas curvas alongamento *versus* carga aplicada.

A tabela 7.1 apresenta os valores de tensão de tração máxima ($T_{m\acute{a}x}$) que cada material atingiu, juntamente com os parâmetros estatísticos (valor médio, desvio padrão e coeficiente de variação (CV)), para auxiliar na comparação entre os danos causados no geossintético.

Tabela 6.1 Tensão de Tração Máxima (kN/m) obtida através do Ensaio de Tração Faixa Larga.

Geossintético	Tensão de Tração Máxima (kN/m)		
	Original	Esteira	Pneu
G1	7,73 ± 0,76 (0,10)	7,15 ± 0,76 (0,11)	7,05 ± 0,84 (0,12)
G2	23,06 ± 2,19 (0,10)	21,54 ± 1,28 (0,06)	22,56 ± 1,37 (0,06)

Valores apresentados: valor médio ± desvio padrão (coeficiente de variação)

A partir dos dados da Tabela 7.1, é possível observar que para o material G1, os valores dos CV foram maiores nas amostras danificadas (esteira e pneu) do que na amostra original, o que indica que a variabilidade dos resultados foi menor nas amostras originais. Já as amostras danificadas do material G2, apresentaram uma redução nos valores dos CV comparadas com o CV da amostra original, indicando melhor precisão dos dados nas amostras danificadas com as máquinas sobre esteiras e sobre pneus.

Os gráficos de barra (Figuras 7.7 e 7.8) a seguir, apresentam valores de tensão à tração máxima dos materiais G1 e G2, em cada uma das situações que eles foram submetidos.

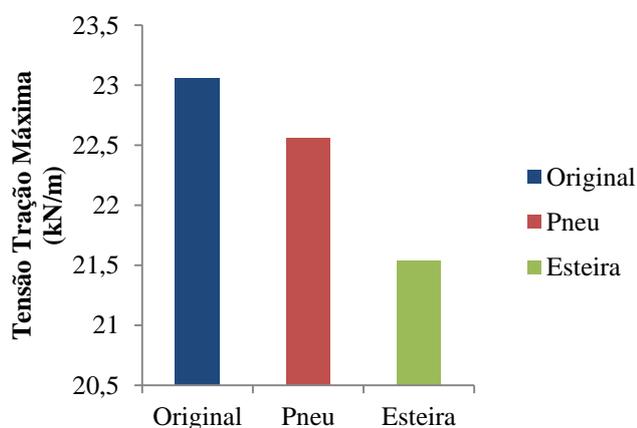


Figura 6.7 Valores da Tensão Máxima do material G2.

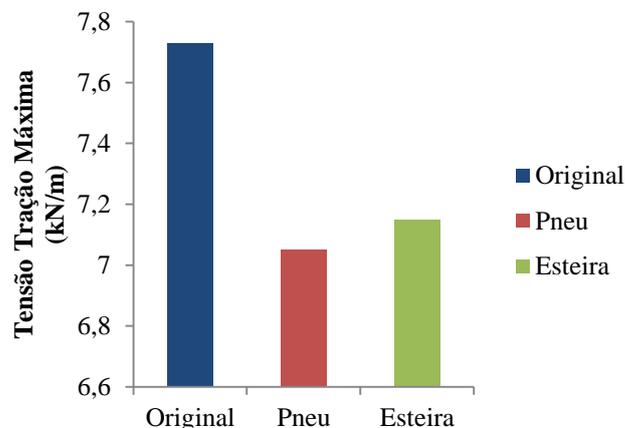


Figura 6.8 Valores da Tensão Máxima do material G1.

Dos resultados referentes à tensão a tração máxima dos materiais estudados, pode-se concluir que ambos os materiais tiveram suas propriedades mecânicas reduzidas após sofrerem o dano das máquinas do tipo vibro acabadora. Além disso, pode-se observar que no material G1, a máquina vibro acabadora sobre pneus causou mais danos do que máquina vibro acabadora sobre esteiras, pois atingiu um menor valor de tensão de tração máxima. Por outro lado, no material G2, a influência do dano da máquina sobre esteiras foi maior do que o dano com a máquina sobre pneus.

Analisando também a diferença entre as tensões máximas atingidas no material G1 e no G2, é possível concluir que, por ter o dobro de resistência e por possuir uma gramatura maior, o material G2, foi menos danificado que o G1.

A Figura 7.9 e 7.10 representam gráficos que quantificam, em porcentagem, a tensão de tração máxima atingida em cada material, quando comparados com suas amostras originais.

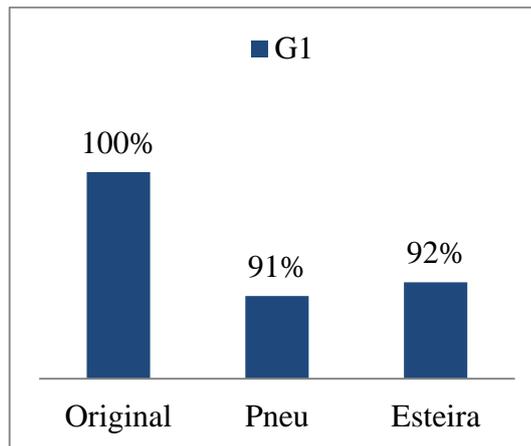


Figura 6.9 Resistência à tração máxima do material G1 expressa em porcentagem (%).

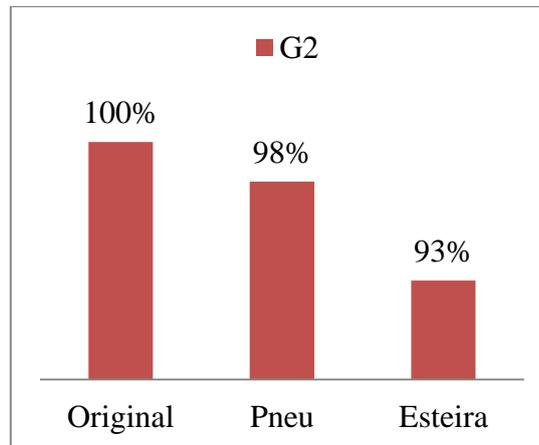


Figura 6.10 Resistência à tração máxima dos material G2 expressa em porcentagem (%).

A tabela 7.2 apresenta os valores médios, desvio padrão e CV dos valores da rigidez secante à deformação de 1% de cada material, para cada uma das situações que foram submetidos.

Tabela 6.2 Rigidez Secante (kN/m) à deformação de 1% obtida através do Ensaio de Tração Faixa Larga.

Geossintético	Rigidez Secante (kN/m) à 1% deformação		
	Original	Esteira	Pneu
G1	664 ± 46 (0,07)	605 ± 36 (0,06)	591 ± 42 (0,07)
G2	1334 ± 50 (0,04)	1241 ± 38 (0,03)	1277 ± 19 (0,02)

Valores apresentados: valor médio ± desvio padrão (coeficiente de variação)

De acordo com os valores da tabela 7.2, pode-se observar, quanto à rigidez secante, que no material G1 não houve muita diferença entre os valores dos CV calculados, o que mostra que os dados obtidos, para a deformação de 1%, foram mais precisos que os dados de tensão à tração máxima de cada material. Por outro lado, os valores de CV obtidos para o material G2 variaram mais, quando comparados com a variação dos valores de CV no G1.

Os gráficos representados nas Figuras 7.11 e 7.12 apresentam os valores da rigidez secante à deformação de 1% dos geossintéticos estudados.

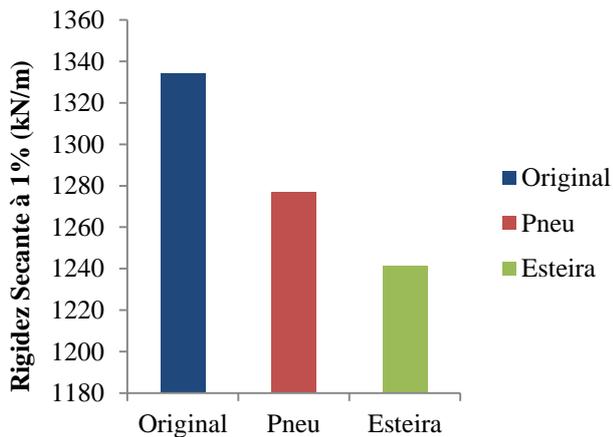


Figura 6.11 Valores da Rigidez Secante máxima à deformação de 1% do material G2.

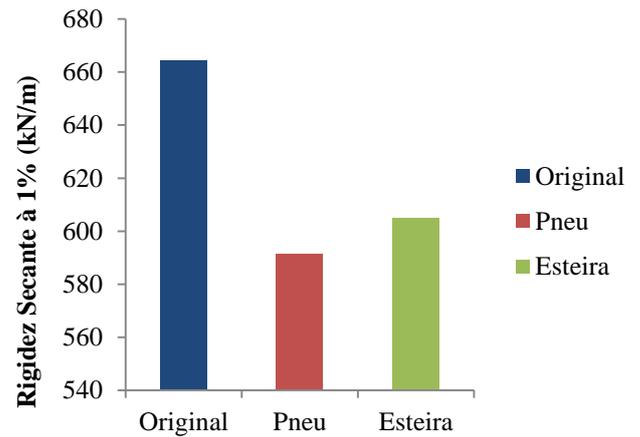


Figura 6.12 Valores da Rigidez Secante máxima à deformação de 1% do material G1.

Observando os valores de rigidez secante nos gráficos 7.11 e 7.12, conclui-se que a rigidez secante do material foram reduzidos após o dano com as máquinas, concordando com as conclusões obtidas nos valores da resistência à tração máxima.

Enquanto o material G1 sofreu uma maior perda na rigidez secante quando submetido ao esforço da máquina sobre pneus, o material G2 sofreu mais dano quando submetido ao esforço da máquina sobre esteiras.

Para facilitar a comparação entre os valores de rigidez secante atingidos por cada material em cada situação, as Figuras 7.13 e 7.14 representam gráficos que quantificam, em porcentagem, os valores de rigidez secante obtidos.

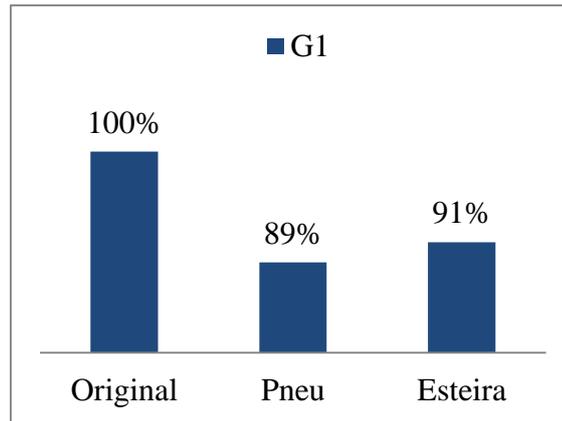


Figura 6.13 Valores da rigidez secante à 1%, expressos em percentagem (%) do material G1.

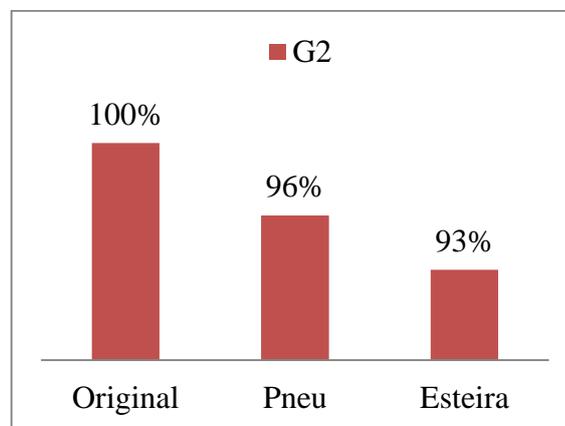


Figura 6.14 Valores da rigidez secante à 1%, expressos em percentagem (%) do material G2.

A Tabela 7.3, apresenta os valores médios de alongamento na ruptura, também chamado de alongamento máximo, obtidos através do ensaio de tração faixa larga e representado em percentagem (%).

Tabela 6.3 Alongamento na Ruptura

Geossintético	Alongamento na Ruptura (%)		
	Original	Esteira	Pneu
G1	1,41 ± 0,004 (27)	1,48 ± 0,002 (13)	1,64 ± 0,002 (10)
G2	2,01 ± 0,002 (10)	2,3 ± 0,001 (5)	2,2 ± 0,001 (5)

Valores apresentados: valor médio ± desvio padrão (coeficiente de variação)

De acordo com os dados da Tabela 7.3, analisando os resultados obtidos da amostra G1, comparando com as amostras originais, pode-se observar que os materiais danificados tiveram um aumento em suas propriedades de alongamento na ruptura. O mesmo ocorreu com as amostras G2.

É importante também citar que os valores de CV para as amostras originais dos dois materiais (G1 e G2) foram maiores dos que os CV das respectivas amostras danificadas, o que indica que os valores de alongamento máximo das amostras danificadas foram mais precisos que os resultados obtidos das amostras originais.

A Figura 7.15 apresenta os valores de alongamento na ruptura dos dois materiais, G1 e G2, representados em gráfico na forma de porcentagem.

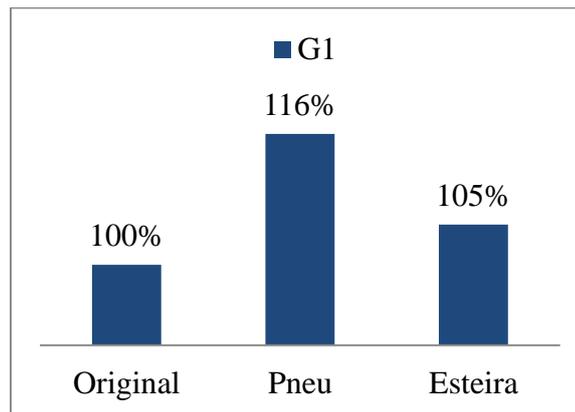


Figura 0.1 Valores de Alongamento na Ruptura, expressos em porcentagem (%) do material G1.

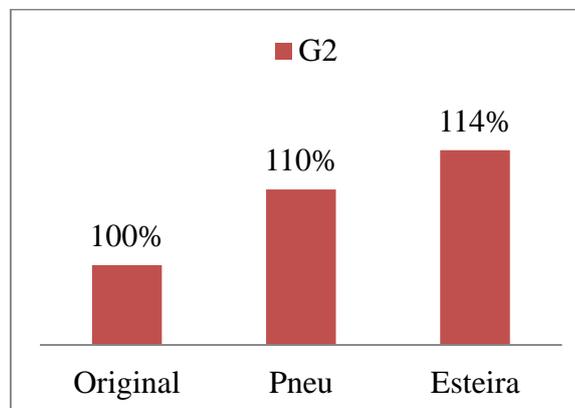


Figura 0.2 Valores de Alongamento na Ruptura, expressos em porcentagem (%) do material G2.

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi feita uma avaliação dos danos causados em geossintéticos empregados em obras de recapeamentos asfálticos, durante o processo construtivo por diferentes máquinas vibro acabadoras. Foram estudados dois diferentes tipos de geossintético utilizados em pavimentação, empregando dois tipos de máquinas vibro acabadoras. As propriedades mecânicas dos materiais foram determinadas através de ensaios de tração faixa larga para determinar se houve dano.

Quanto ao dano causado pelas máquinas nos materiais estudados foi possível obter as seguintes conclusões:

- As máquinas do tipo vibro acabadoras sobre rodas de pneu e sobre esteiras, geram danos em geossintéticos utilizados como reforço em obras de recapeamento asfáltico;
- A intensidade do dano não só depende apenas do tipo de máquina, mas também do tipo de material, já que as amostras de G1 foram mais danificadas com a máquina sobre pneus e o G2 foi mais danificado com a máquina sobre esteiras;
- Após danificar os materiais com as máquinas sobre esteiras e sobre pneus, os valores de resistência à tração máxima após o dano reduziram de 2 a 9% da resistência à tração inicial do material. E os valores da rigidez secante, após o dano, reduziram de 4 a 11% do valor inicial de rigidez do material;
- Todas as amostras danificadas atingiram maior capacidade de alongamento após o dano. Indicando que a deformabilidade do material aumenta após a tensão aplicada pela carga dos equipamentos sobre rodas e sobre esteiras.

8. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como sugestões para pesquisas futuras é recomendado:

- Avaliar o dano que as máquinas vibro acabadoras sobre pneus e sobre esteiras geram em outros tipos geossintéticos utilizados como solução no combate de reflexão de trincas;
- Estudar o possível dano causado por máquinas que instalam o geossintético no pavimento;
- Fazer a análise microscópica de amostras danificadas por máquinas do tipo vibro acabadora;
- Estudo do tempo de vida útil do material danificado instalado como sistema de reflexão de trincas;
- Duplicar a quantidade de corpos de prova danificados para obter uma menor dispersão entre os resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

_NBR 10318: Geossintéticos – Termos e Definições. Rio de Janeiro, 2013.

_NBR 9862: Geossintéticos – Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios. Rio de Janeiro, 2013.

_NBR 10319: Geossintéticos – Ensaio de tração faixa larga. Rio de Janeiro, 2013.

Ceratti, J. A. P.; Rodrigues, R. M. (2004). Manual Brasileiro de Geossintéticos. Comitê Técnico de Geossintéticos da ABINT (eds), Edgard Blücher Ltda., São Paulo, BR, pp. 395-419.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

_DNIT 009/2003-PRO: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.

Gonzalez-Torre, I., Calzada-Perez M. A., Vega-Zamanillo A., Castro-Fresno D. (2014). Damage evaluation during installation of geosynthetics used in asphalt pavements. *Geosynthetics International*, Volume 21(6): 377-386.

Hufenus R., Rügger R., Flum D., Sterba I. J., (2005). Strength reduction factors due to installation damage of reinforcing geosynthetics. *Geotextiles and Geomembranes*, Volume 23(5): 401-424.

International Geosynthetics Society – IGS. (2015) Panfletos sobre geossintéticos. Comitês Técnico e de Educação da Internacional Geosynthetics Society.

International Organization for Standardization

_ISO 10318: Geosynthetics -- Part 1: Terms and definitions. Internacinal, 2015.

Norabuena-Contreras J., Zamora B. D., Castro-Fresno D., Veja-Zamanillo A. (2009). Análisis térmico de geosintéticos utilizados en la rehabilitación de pavimentos. *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, volume 17 (1): 95-100.

Norabuena-Contreras J., Gonzalez-Torre I., Fernandez-Arnau D., Lopes-Riveros C. (2016). Mechanical damage evaluation of geosynthetics fibres usedas anti-reflective cracking systems in asphalt pavements. *Journal of construction and building materials*, Volume 109: 47–54.

Maccaferri (2009). Manual técnico, reforço de solos. Maccaferri, Jundiaí, SP, 168 p.