

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG
Departamento de Engenharia Civil

Denilson Pereira de Freitas

Edpo de Araujo Manso

Uso de Geossintéticos em Pavimentos

Recife

2015

Denilson Pereira de Freitas

Edpo de Araujo Manso

Uso de Geossintéticos em Pavimentos

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Pernambuco para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Área	de	Concentração:
Engenharia		Civil
Estradas	e	Transportes

Orientador:
Prof. Maurício Renato Pina Moreira

Recife

2015

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

F866u Freitas, Denílson Pereira de.
Uso de Geossintéticos em Pavimentos / Denílson Pereira de Freitas e Edpo de Araujo Manso. - Recife: Os Autores, 2015.
37 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Renato Pina Moreira.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia Civil, 2015.
Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Pavimentos. 3 Geossintéticos. I. Manso, Edpo de Araujo. II. Moreira, Maurício Renato Pina. (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2015-265



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL

CANDIDATO(S) : 1 - DENILSON PEREIRA DE FREITAS
2 - EDPO DE ARAUJO MANSO

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: PROFESSOR MAURICIO RENATO PINA MOREIRA
(PRESIDENTE)

Examinador 1: PROFESSOR FERNANDO JORDÃO DE VASCONCELOS
(MEMBRO)

Examinador 2: PROFESSOR GUSTAVO LEITE (MEMBRO)

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: USO DE
GEOSSINTÉTICOS EM PAVIMENTOS

LOCAL:CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS UFPE **HORÁRIO DE INICIO:**16:40

Em sessão pública, após exposição de cerca de 30 minutos, o(s) candidato(s) foi (foram) argüido(s) oralmente pelos membros da banca, sendo considerado(s):

1) (...) aprovado(s), pois foi demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema da monografia e o texto do trabalho aceito

() Sem revisões.

() Com revisões, a serem feitas e verificadas pelo orientador no prazo máximo de 30 dias.(o verso da folha da ata poderá ser utilizado para pontuar revisões).

2) (...) reprovado(s) .

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da banca e pelo(s) candidato(s).

Recife, 29 de outubro de 2015.

Orientador:.....

Examinador 1.....

Examinador 2.....

Candidato 1.....

Candidato 2

RESUMO

Este trabalho visa à análise do desempenho teórico e real de pavimentos com reforço de geossintéticos. Este método surgiu diante da necessidade de pavimentos com maiores resistência e vida útil, diante da sobrecarga do sistema rodoviário. A falta de fiscalização permitindo que veículos trafeguem com carga acima do permitido, além das altas variações de temperatura e elevados recalques provenientes de solos com baixa capacidade de carga, são alguns dos motivos para aumentar a resistência e maximizar uma projeção no tempo de vida útil. Para a elaboração deste estudo foi utilizada bibliografia e alguns resultados reais baseados em trechos de rodovias construídos e instrumentados, cujo pavimento foi reforçado com o uso de geossintéticos.

Palavras-chave: Engenharia. Engenharia civil. Geossintéticos. Pavimentos.

ABSTRACT

This work aims to analyze the theoretical and actual performance floors with reinforcement geosynthetics. This method appeared before the need for floors with higher resistance and service life before the overhead road system. The lack of supervision allowing to flow vehicles above the permitted load, in addition to high variations in temperature and high settlements from low carrying capacity soils are some of the reasons for increase endurance and maximize projection in lifetime. To prepare this study was used bibliography and some real results based on stretches of roads built and instrumented, whose floor was reinforced with the use of geosynthetics.

Keywords: Engineering. Civil Engineering. Floors. Geosynthetics.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Comparativo entre o solo reforçado e não reforçado.....	12
Figura 2 - Geogrelha eletrosoldada.....	12
Figura 3 - Geogrelha Tecido.....	13
Figura 4 - Propriedades Mecânicas das Geogrelha Eletrosoldadas.....	13
Figura 5 - Propriedades Mecânicas das Geogrelhas Tecido.....	13
Figura 6 - Geotêxtil Tecido	14
Figura 7 - Geotêxtil Não Tecido.....	15
Figura 8 - Flexão e Cisalhamento	17
Figura 9 - Seção Esquemática de um pavimento recapeado com utilização de geotêxtil.....	17
Figura 10 - Geotêxtil como separador	19
Figura 11 - Representação esquemática da aplicação do geotêxtil para filtração.....	21
Figura 12 - Formação da zona de pre-filtro, resultante do fluxo d'água	26
Figura 13 - Aplicação de geogrelha no trecho da BR-101.....	33
Figura 13 - Aplicação de geogrelha no trecho da BR-101.....	34
Figura 13 - Aplicação de geogrelha no trecho da BR-101.....	35

Lista de Tabelas

Tabela 1 –Coeficiente B para condições permanentes	22
Tabela 2 –Coeficiente B para condições permanentes	22
Tabela 3 – Requisitos mecânicos mínimos	37
Tabela 4 – Caracterização do material de subleito e da base de solo fiino.....	29
Tabela 5 – Resultado do ensaio de compactação dos materiais de subleito e base	30
Tabela 6 – Resultados dos ensaios da viga Benkelman	31

Sumário

1.	Introdução	9
2.	Objetivo do trabalho	10
3.	Considerações Gerais	11
3.1	Geotêxtil	14
4	Normas Aplicadas	15
5	Metodologia	16
5.1	Propriedades de separação	18
5.2	Principais Aplicações do geotêxtil como elemento separador:	19
5.3	Propriedade de Filtração	20
5.4	Condições de sobrevivência do geotêxtil:	23
5.5	Critério de permeabilidade:	27
6	Trechos Experimentais	29
7	Conclusão	36
	Referências	37

1. Introdução

Alguns fatores contribuem para a diminuição da vida útil dos pavimentos, como por exemplo, a carga transportada acima do permitido por veículos pesados, altas variações da temperatura na pista, elevados recalques provenientes de solos com baixa capacidade de carga, escassas alternativas para o transporte de cargas, não dimensionamento correto dos sistemas de drenagens. Com isso a necessidade de obtenção de uma solução com baixos custos de implantação e índices satisfatórios de ganho na resistência, deverá ser implantada para que não ocorra um colapso nas principais rodovias brasileiras.

O emprego de geossintéticos, como elemento de reforço em base de pavimentos, gera um aumento na capacidade estrutural da camada granular, sendo que esse aumento, em grande parte, associa-se a quatro mecanismos de comportamento distintos: intertravamento, inibição dos movimentos laterais, confinamento e separação. Além do reforço a utilização de um produto que separe cada camada do solo para maximizar e evitar o carreamento e a erosão.

2. Objetivo do trabalho

O Objetivo principal é a análise da vida útil do pavimento ao utilizar um geossintético.

3. Considerações Gerais

De acordo com a Norma Brasileira (NBR 12553/1999), geossintéticos é a denominação genérica de um produto polimérico, sintético ou natural, industrializado, cujas propriedades contribuem para a melhoria de obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais das seguintes funções: reforço, filtragem, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial. A maioria dos geossintéticos é formada essencialmente por polímeros e, em menor escala, por aditivos. Os polímeros são substâncias macromoleculares de natureza orgânica, com peso molecular elevado, e são obtidos pela combinação de monômeros, que são moléculas de baixo peso molecular.

As obras rodoviárias, em geral, são passíveis de problemas de solos com baixa capacidade de suporte, ou seja, o material que compõe o subleito apresenta valores de ISC (Índice de Suporte Califórnia) baixos, o que causa problemas na execução e no funcionamento do pacote estrutural do pavimento.

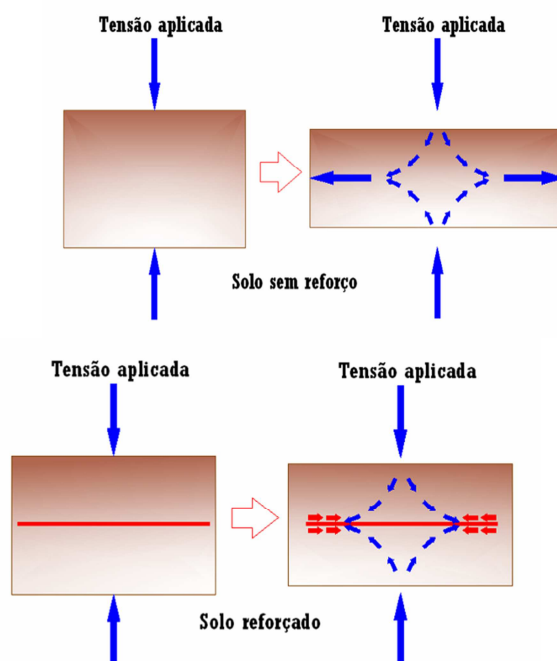
Os reforços geossintéticos podem trazer melhorias no desempenho desse tipo de obra, tornando-as exequíveis e funcionais. Essas melhorias podem tratar de:

- Evitar deformações, provenientes de sub-base, no pavimento;
- Evitar contaminação e consequente perda de capacidade de suporte;
- Diminuir as deformações provenientes da sub-base reduzindo a possibilidade do aparecimento de fissuras no pavimento;
- Reduzir a espessura da camada granular em até 40%;
- Aumento de Vida útil do projeto.

1. Geogrelhas

A função do reforço está relacionada diretamente a resistência a tração de um geossintético, para reforçar ou restringir deformações em estruturas geotécnicas. A Figura 1 mostra como a geogrelha reage a esforços verticais.

Figura 1 - Comparativo entre o solo reforçado e não reforçado



Fonte: autores

.Após a tensão vertical ser aplicada o solo sem reforço sofre expansão lateral nos pontos mais frágeis. Já o solo reforçado as tensões aplicadas são suportadas pelo reforço e dissipada ao longo da geogrelha.

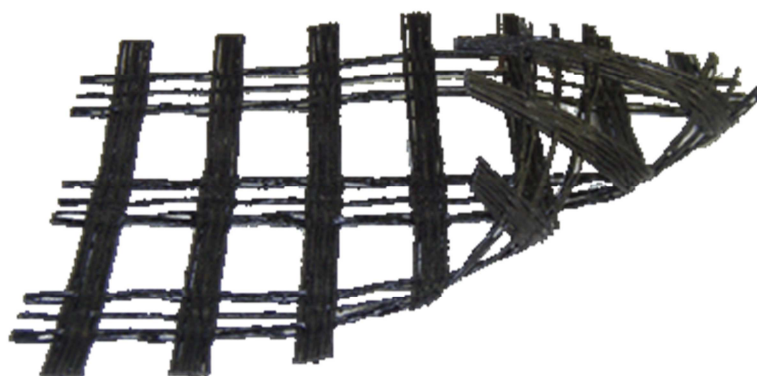
As Figuras 2 e 3 mostram dois tipos de Geogrelhas a primeira por ser eletrosoldadas possui uma resistência maior. As figuras 4 e 5 mostram as propriedades das duas geogrelhas em questão.

Figura 2 – Geogrelha eletrosoldada



Fonte: Maccaferri do Brasil

Figura 3 - Geogrelha Tecido



Fonte: Maccaferri do Brasil

Figura 4 - Propriedades Mecânicas das Geogrelha Eletrosoldadas

Propriedades mecânicas (solicitação de tração)			WG 200	WG 300	WG 400	WG 500	WG 600
Resistência longitudinal última (mín)	kN/m	ASTM D 6637 NBR ISO 10319	200	300	400	500	600
Resistência transversal última (mín)	kN/m		30	30	30	30	30
Alongamento na Resistência última	% +/- 1		10	10	10	10	10
Resistência à 2% de alongamento (mín)	kN/m		41	55	85	100	110
Resistência à 6% de alongamento (mín)	kN/m		119	160	242	280	323

Fonte: Maccaferri do Brasil

Figura 5 - Propriedades Mecânicas das Geogrelhas Tecido

Propriedades mecânicas (solicitação de tração)			WG 40	WG 60	WG 90	WG 120	WG 150
Resistência longitudinal última (mín)	kN/m	ASTM D 6637 NBR ISO 10319	40	60	90	120	150
Resistência transversal última (mín)	kN/m		30	30	30	30	30
Alongamento na Resistência última	% +/- 1		10	10	10	10	10
Resistência à 2% de alongamento (mín)	kN/m		6	12	17	22	26
Resistência à 6% de alongamento (mín)	kN/m		20	30	43	63	80

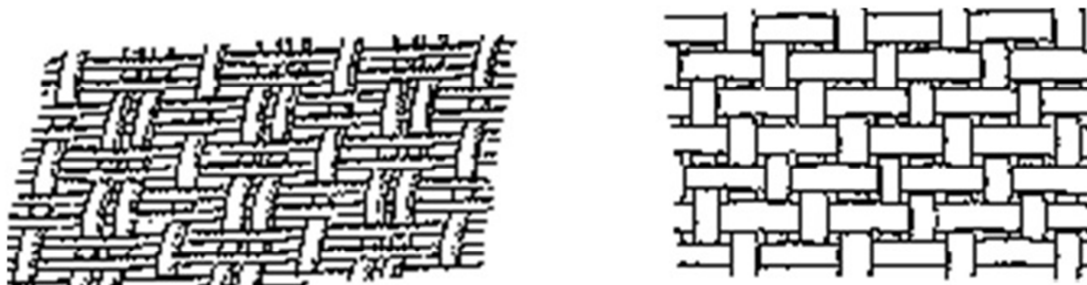
Fonte: Maccaferri do Brasil

3.1 Geotêxtil

Os geotêxteis são produtos têxteis de fibras sintéticas, identificados como mantas permeáveis, flexíveis e pouco espessas. Possuem uma vasta área de aplicação por se adequarem à maioria das funções dos geossintéticos, tais como reforço, drenagem, filtração e separação. Aplicando em pavimento esperamos que o uso de geotêxtil diminua substancialmente a espessura das camadas e melhore na drenagem.

Existem dois tipos de geotêxteis que podem ser usados em pavimentos. O Geotêxtil Tecido e o não tecido. Os Geotêxteis do tipo tecido, figura 6, formam uma estrutura planar, que apresenta uma distribuição de poros relativamente regular o que dá uma característica de reforço e filtração. O tipo não tecido, figura 7, possui um arranjo aleatório dos fios da manta o que dá características de filtração e separação a esse Geotêxtil.

Figura 6 - Geotêxtil Tecido



Fonte: autores

Figura 7 - Geotêxtil Não Tecido



Fonte: Autores

4 Normas Aplicadas

Os geossintéticos são classificados de acordo com a Norma NBR 12553 da ABNT e possuem as seguintes nomenclaturas, baseado na norma:

- 1- Geotêxtil: Produto têxtil permeável, utilizado predominantemente na engenharia geotécnica, com funções de drenagem, filtração, reforço, separação e proteção.
- 2- Geogrelha: Estrutura plana em forma de grelha constituída por elementos com função predominante da resistência à tração.

Os ensaios mais determinantes para esses geossintéticos são:

- 1- Ensaio de determinação da gramatura. Esse ensaio consiste na determinação da quantidade de fios que existem por metro quadrado de produto. Esse parâmetro é importante na determinação do tipo de geotêxtil com o tipo de solo, para evitar a colmatção.
- 2- Ensaio de tração não confinada com faixa larga. Determinar o valor máximo que o geossintético suporta e qual será sua deformação máxima.
- 3- Ensaio de resistência ao puncionamento. Quanto de carga pontual um determinado geossintético suporta. Caso aja elementos cortantes ou angulosos cujo geossintético envolva.

5 Metodologia

Algumas aplicações serão abordadas para o uso do geotêxtil e como determinar a melhor gramatura para ser utilizada:

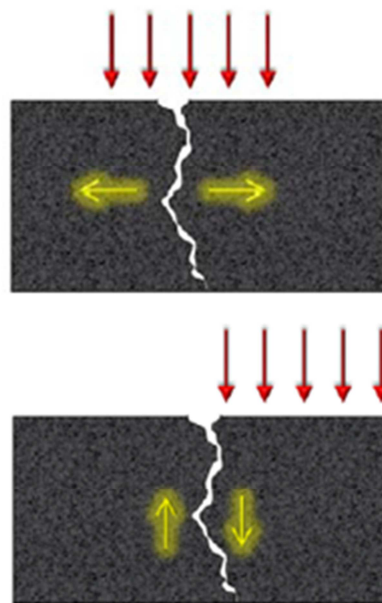
Repavimentação utilizando o Geotêxtil:

A ação combinada do tráfego e do clima leva as camadas asfálticas e cimentados dos pavimentos a trincarem. As trincas no pavimento criam descontinuidades na estrutura causando alterações e consequentemente aumento das tensões próximo as descontinuidades. Uma vez instaurada, a trinca aumenta em extensão, severidade e intensidade, levando eventualmente à desagregação do revestimento. Por meio desses efeitos, a velocidade de deterioração do pavimento pode aumentar após o início do trincamento, com efeitos particularmente importantes na progressão dos afundamentos em trilhas de roda e da irregularidade longitudinal.

Num recapeamento simples sobre um pavimento trincado, o problema mais comum é a reflexão ou propagação das trincas das camadas antigas para as novas, que se apresenta após ciclos de carregamento, as pequenas espessuras das camadas de asfalto não resistem à rápida propagação das trincas, reduzindo assim a vida útil do pavimento.

A reflexão de trincas e juntas é produzida por um ou mais dos seguintes mecanismos: movimentos de abertura e fechamento da trinca associados às variações térmicas e/ou flexão sob as cargas de roda (Figura 8), e a movimentação de extremidade da trinca em seu plano devido às tensões de cisalhamento aplicadas pelas cargas de roda do tráfego (Figura 8). Este último movimento pode se dar na direção da trinca ou perpendicularmente a ela.

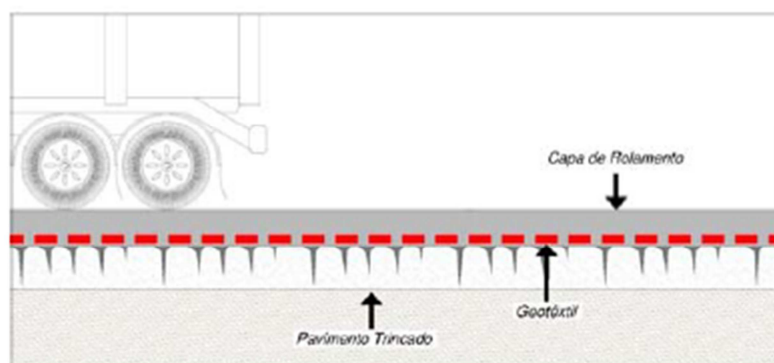
Figura 8 - Flexão e Cisalhamento



Fonte: autores

O tratamento anti-reflexão de trincas com geossintéticos é uma modalidade de restauração de pavimentos flexíveis trincados e de pavimentos rígidos, que apresentam fissuras nas placas ou deterioração nas juntas de dilatação. Ele consiste na aplicação de um geotêxtil como elemento de alívio de tensão na camada intermediária na interface entre o pavimento antigo e a camada de reforço, o que retarda a ascensão das trincas da capa antiga para nova, pois seus filamentos ou fibras redistribuem as tensões que se concentram nas bordas das trincas e fissuras. (Figura 9)

Figura 9 - Seção Esquemática de um pavimento recapeado com utilização de geotêxtil



Fonte: autores

Para atuar corretamente, o geotêxtil deve ser totalmente saturado com asfalto e estar aderido a ambas as superfícies, o que é conseguido através de imprimações. Com as trincas e fissuras preenchidas e o geotêxtil saturado com asfalto, se obtém um conjunto impermeável que irá barrar a penetração das águas de chuva no novo pavimento. O geotêxtil, saturado de asfalto, atua como barreira anti-reflexão e membrana impermeável, aumentando a vida útil da nova capa de duas a cinco vezes, dependendo das condições locais.

Algumas propriedades são relevantes para satisfazer esse objetivo:

- 1- Resistência à tração $> 7 \text{ kN/m}$ (NBR 12824)
- 2- Capacidade de retenção de ligante betuminoso $> 0.9 \text{ l/m}^2$ (Texas DOT-3099)
- 3- Ponto de amolecimento $> 180^\circ\text{C}$

São recomendáveis os geotêxtil que não possuem orientações em suas fibras, com gramatura maior ou igual a 150 gr/m^2 , espessura maior ou igual a $1,50 \text{ mm}$, resistência à tração maior ou igual a 7 kN/m .

5.1 Propriedades de separação

A função de separação pode ser definida como a interposição de um geossintético entre materiais distintos, de forma que a integridade e o funcionamento de ambos os materiais sejam mantidos ou melhorados.

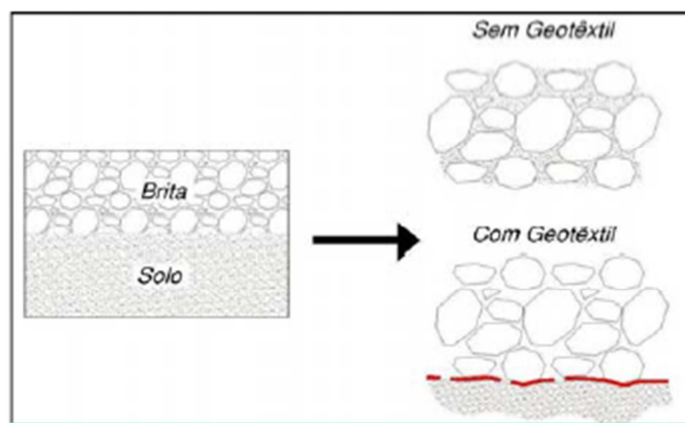
Um exemplo desta função ocorre ao colocar um material agregado sobre um solo granular, provocando a existência de dois mecanismos simultâneos que tendem a ocorrer ao longo do tempo. Um deles é que os finos do solo tendem a entrar nos vazios do agregado de pedra, comprometendo assim sua capacidade de drenagem (Figura 3) o Outro é que o agregado de pedra tende a invadir o solo fino, comprometendo assim sua própria resistência.

Uma solução para este problema seria a utilização gradativa de uma camada de sacrifício composta por material de granulometria graúda, que se

impregna com o solo de fundação, provocando separação e ganho aparente de resistência.

A utilização de um geossintético, como por exemplo, um geotêxtil, pode substituir essa camada de sacrifício, reduzindo o custo da obra e melhorando o comportamento estrutural em longo prazo.

Figura 10 - Geotêxtil como separador



Fonte: autores

5.2 Principais Aplicações do geotêxtil como elemento separador:

- Estradas
- Lastros Ferroviários
- Praias Artificiais
- Aterros de conquista
- Ao tardo de muros de contenção em gabiões

Para que um geossintético exerça a função principal de elemento separador, ele deveser capaz de reter os finos provenientes do solo e resistir aos esforços.

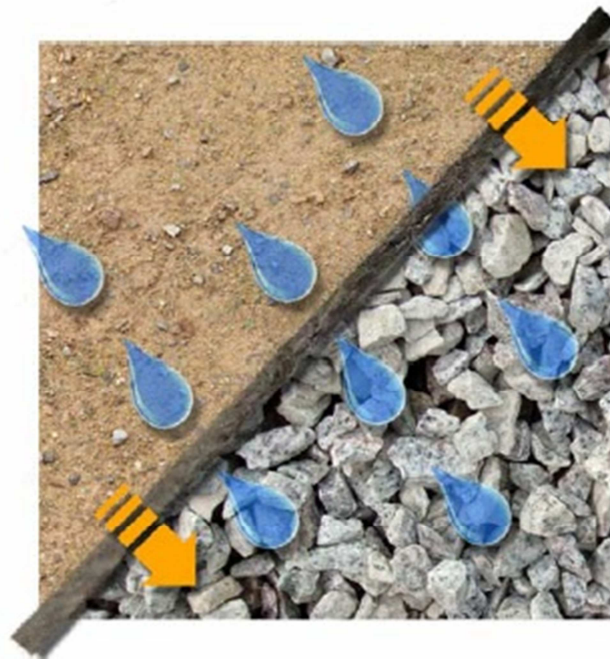
As principais solicitações a que o geossintético poderá estar submetido nesse tipo de aplicação e que influenciarão em seu funcionamento são: resistência à tração localizada, estouro e puncionamento.

5.3 Propriedade de Filtração

Uma das aplicações mais comuns dos geotêxteis na engenharia civil é a filtração (Figura 4). A capacidade de um geotêxtil de permitir o fluxo de água, sem migração de partículas de solo é uma exigência de projeto importante para obras de drenagem e filtração. Vários elementos deste sistema devem ser considerados, juntamente com condições externas, tais como: intensidade do fluxo-uni/bidirecional, equipamentos utilizados na construção, carregamentos estáticos e/ou dinâmicos, e durabilidade em longo prazo. Para alcançar um desempenho ideal como filtro, as funções desempenhadas pelo geotêxtil durante a vida de projeto, devem:

- 1- Manter adequada permeabilidade e condutividade hidráulica (permissividade), permitindo que haja fluxo d'água na camada de solo sem impedimentos significativos (critério de permeabilidade).
- 2- Evitar perda significativa de particular do solo, ou seja, "piping"(Critério de retenção).
- 3- Evitar acúmulo de partículas de solo dentro da estrutura do geotêxtil, usualmente chamado de colmatção, que resulta no completo impedimento do fluxo de água (critério de anti-colmatção)
- 4- Resistir aos esforços de instalação e a degradação mecânica, biológica ou química durante a vida útil da estrutura (critério de Sobrevivência)

Figura 11 - Representação esquemática da aplicação do geotêxtil para filtração



Fonte: autores

Dimensionamentos

Geotêxtil

Repavimentação.

A metodologia para seleção do geotêxtil aplicado no sistema anti-reflexão de trincas considera a quantidade de ligante asfáltico, que dependerá da porosidade relativa do pavimento antigo e das propriedades do geotêxtil:

$$Q_d = 0.362 + Q_s + Q_c$$

Q_d = Quantidade de ligante l/m^2

Q_s = Quantidade de ligante necessário para conseguir a saturação do geotêxtil (l/m^2). Segundo as recomendações de task Force 25 da AASHTO –AGC-ARTBA não pode ser inferior a $0.90 l/m^2$ para conseguir formar uma camada absorvedora de esforços, além de, criar uma aderência entre camadas.

Q_c = Valor de correção relacionando as condições da superfície do pavimento antigo. Esse valor pode variar de 0,05l/m², para pavimentos nivelados, à 0.59l/m² para pavimentos porosos ou oxidados.

Geotêxtil

Propriedade de separação:

Critério de retenção de Christopher&holtz

$O_{95} \leq B d_{85}$ Para condições permanentes de fluxo:

$O_{95} \leq 0,5 d_{85}$ Para condições dinâmicas de fluxo:

Onde:

O_{95} : Abertura aparente

B: Coeficiente adimensional (varia de 0.5 a 2.0) e depende das características do solo a ser filtrado e do geotêxtil)

D_{85} : diâmetro das partículas de solo em contato com o geotêxtil correspondente a 85% passando

Tabela 1 - Coeficiente B para condições permanentes	
Para areias, areias com pedregulhos, areais siltosas e areias argilosas (com menos de 50% dos grãos menores que 0.075mm)	
Para $C_U \leq 2$ ou $C_U \geq 8 \rightarrow B = 1$	
Para $2 \leq C_U \leq 4 \rightarrow B = 0.5 C_U$	
Para $4 < C_U < 8 \rightarrow B = 8 / C_U$	
C_U = Coeficiente de não-uniformidade do solo, = d_{60}/d_{10}	
Tabela 2 - Coeficiente B para condições permanentes	
Para siltes e argilas com mais de 50% dos grãos menores que 0.075mm, o coeficiente B é em função do tipo de geotêxtil	
Para geotêxteis tecidos, $B = 1$, com $O_{95} \leq 0.3\text{mm}$;	
Para geotêxteis não-tecidos, $B = 1.8$, com $O_{95} \leq 0.3\text{mm}$;	

5.4 Condições de sobrevivência do geotêxtil

Resistência ao estouro

No caso de material de aterro com granulometria graúda (pedras ou blocos de rocha), pode ocorrer um mecanismo de estouro da camada de geotêxtil. Koerner (1998) apresenta a seguinte expressão para o cálculo do fator de segurança contra estouro do geotêxtil, baseado em estudo prévio de Giroud (1984),

$$FS = \frac{T_{allow}}{T_{reqd}} = \frac{p_{test} * d_{test}}{(IIRF)p' dv}$$

onde:

$$T_{allow} = T_{ult} * IIRF$$

IIRF = fator de redução cumulativo

T_{ult} = resistência última do geotêxtil

T_{reqd} = resistência ao estouro requerida para o geotêxtil

p' = tensão na superfície do geotêxtil

dv = diâmetro máximo do vazio entre partículas sólidas

d_{50} = diâmetro médio entre as partículas de material granular

p_{test} = tensão de estouro

d_{test} = diâmetro do dispositivo de ensaio de estouro (=0,03m)

Resistência à tração (Giroud – 1984)

Outra possibilidade de solicitação na camada de geotêxtil é a tração localizada, por ação de blocos vizinhos do material de aterro.

Neste caso, Giroud (1984) apresenta a seguinte equação para estimativa da resistência a tração exigida do geotêxtil:

$$T_{reqd} = p'(d_v)^2 \left[f(\varepsilon) \right] \quad f(\varepsilon) = \frac{1}{4} \left(\frac{2y}{b} + \frac{b}{2y} \right)$$

em que:

T_{req}: resistência à tração grab requerida do geotêxtil;

p': tensão na superfície do geotêxtil;

d_v: diâmetro máximo do vazio entre partículas sólidas, d_v = 0.33*d₅₀;

d₅₀: diâmetro médio entre as partículas de material granular;

f(ε) = deformação que é função do alongamento do geotêxtil;

b: largura da abertura (ou vazio), e

y: deformação dentro da abertura ou vazio

$$T_{adm} = \frac{T_{ensaio}}{FR_{tl}} \geq FS_{tl} T_{req}$$

em que:

T_{adm} : resistência à tração localizada admissível

T_{ensaio} : resistência à tração localizada obtida em ensaio de laboratório

FR_{tl} : fator de redução para valor de tração localizada obtido em ensaio (≥2.5)

FS_{tl} : fator de segurança contra ruptura por tração localizada do geotêxtil (≥2)

Resistência ao puncionamento Koerner – 1998

A possibilidade de perfuração da camada do geotêxtil deve ser verificada quando o material de aterro ou fundação possui granulometria graúda e/ou forma contundente de grãos. Koerner (1998) apresenta a seguinte expressão para a estimativa da força vertical a ser resistida pelo geotêxtil, quando submetido à perfuração:

$$F_{reqd} = p d_{50}^2 S_1 S_2 S_3 \quad F_{adm} = \frac{F_{ensaio}}{F_{R_{perf}}} \geq FS_{perf} F_{req}$$

Em que:

F_{reqd}: força vertical requerida para o geotêxtil

p': tensão na superfície do geotêxtil

d_{50} : diâmetro médio entre as partículas de material granular

S_1 : fator de protusão

S_2 : fator de escala para ajustar à norma ASTM D4833

S_3 : fator de forma para ajustar à norma ASTM D4833

(valores de $S_3 = 1 - A_p/A_c$, valores de A_p/A_c a partir de :

0,8 = areia arredondada; 0,7 = pedregulho; 0,4=brita e -,3=fragmento de rocha)

F_{adm} : resistência à perfuração admissível

F_{ensaio} : resistência à perfuração localizada obtida em ensaio de laboratório

FR_{perf} : fator de redução para valor de resistência à perfuração obtida em laboratório (≥ 2)

FS_{perf} : fator de segurança contra ruptura por tração localizada no geotêxtil (≥ 2)

Geotêxtil

Filtração:

Atualmente existem vários métodos propostos para o dimensionamento do geotêxtil como filtro, entre eles destaca-se o método todo proposto por Giroud (1982) e o proposto pelo sistema do comitê Francês de Geossintético e Geomembranas (CFGG [1986]), pois os mesmos abrangem maior quantidade de parâmetros, além de serem usados em casos gerais de aplicação do geotêxtil na função de filtro.

Critérios de Dimensionamento:

O geotêxtil na propriedade de filtro deve atender três critérios principais. Retenção, permeabilidade e permissividade, sobrevivência.

Critérios de Retenção:

As proposições de autores são inúmeras, onde o geotêxtil deve atender a propriedade de filtração de acordo com a granulometria do solo, gradiente hidráulico, direção do fluxo d'água, entre outros. Cada uma dessas propriedades é específica para o uso como filtro.

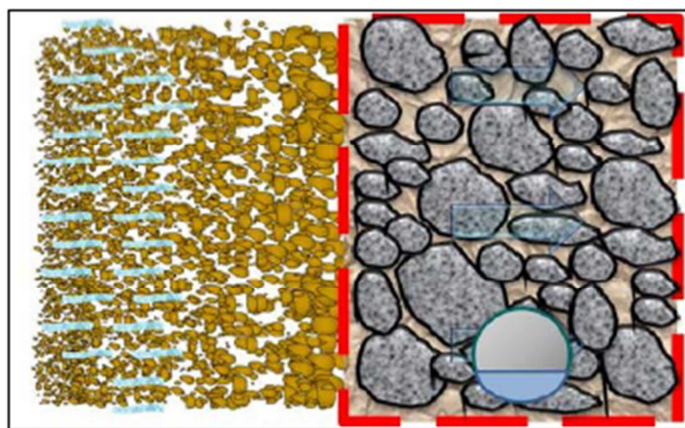
Deve-se, no entanto, antes da adoção de qualquer um desses critérios, verificar se o solo em questão é auto-filtrante ou não. Por meio desta condição, as partículas de solo mais grossas, retêm as menores, e estas, por sua vez, as

partículas menores ainda, e assim sucessivamente, formando um a zona pré filtro. (Figura 5)

Conforme o critério de “Chen et al” (1981):

$$D_{50s} > \frac{D_{85s}}{5}; D_{35s} > \frac{D_{50s}}{5}; D_{15s} > \frac{D_{35s}}{5}$$

Figura 12 - Formação da zona de pre-filtro, resultante do fluxo d'água



Fonte: autores

Sendo que, a principal função do geotêxtil como filtro, é atender critérios que possam garantir que os grãos de solo sejam retidos, impedindo o constante fluxo d'água. Basicamente os critérios de retenção estabeleçam que:

$$O_s \leq n \times D_s$$

Onde:

O_s – Abertura de filtração característica do geotêxtil (associada aos poros e contrações no geotêxtil, no caso do método de Christopher e Holtz, usa-se a sigla O_{95} para condições permanentes de fluxo)

N – é um número variável de acordo com o critério a ser utilizado; usualmente chamado de “C”, na equação do CFGG, ou também chamado de B no critério de Cristopher e Holtz, onde o mesmo varia de acordo com as seguintes características do solo:

$$C = C1 \times C2 \times C3 \times C4$$

C1 – Fator granulométrico = 1,00 (Solos bem graduados e contínuos); 0,80(solos uniformes e contínuos)

C2 – Fator de adensamento = 1,25(Solos densos e confinados); 0,80(solos fofos e não confinados);

C3 – Fator Hidráulicos = 1,00 (Gradiente menor que 5); 0,80 (Gradiente entre 5 e 20); 0,60 (Gradiente entre 21 e 40 ou fluxo reverso);

C4- Fator de Função = 1,00(somente função de filtro); 0,30(função de dreno);

Ds – É o diâmetro representativo do tamanho dos grãos de solo (Geralmente D_{85} , ou seja, para 85% em peso dos grãos de solo são menores que aquele diâmetro. Para consulta deve-se ter curva granulométrica do solo em questão.

Cada critério fornece o diâmetro de filtração do geotêxtil a ser utilizado. Os ensaios que regem o critério de retenção são ASTM 4751, AFNOR NFG 3814, ISSO 12956 (ABNT, projeto de norma 02:153.19.021)

5.5 Critério de permeabilidade

A permeabilidade inicial do filtro de geotêxtil deve ser maior ou igual a do solo em contato, para se evitar qualquer perda de carga.

O critério de permeabilidade mais usado é o do CFGG.

$$K_n > e_g \times 10^n \times K_s$$

Onde:

E_g é a espessura do geotêxtil (cm);

K_n é a permeabilidade normal do geotêxtil (cm/s);

K_s é a permeabilidade normal do solo(cm/s)

N=3 baixo gradientes hidráulicos, solos limpos e arenosos;

N=4 baixo gradiente, solos pouco permeável, silto-argilosos;

N=5 gradiente elevados, obras de grande responsabilidade.

Da mesma forma, pode-se com a permeabilidade dimensionar a permissividade, que é a co-relação da permeabilidade com a espessura do geotêxtil sob determinada tensão física, no sentido transversal:

$$\varphi = \frac{K_n}{e_g}$$

Onde:

K_n – é a permeabilidade obtida (cm/s)

E_g – é a espessura do geotêxtil (cm)

φ – A permissividade a ser encontrada (s^{-1})

Critério de sobrevivência:

Os geotêxteis no processo de instalação e ao longo de sua vida útil podem estar submetidos a esforços, os quais devem ser suportados pelo mesmo, de modo a não afetar drasticamente suas propriedades hidráulicas e mecânicas.

Aspectos importantes devem ser considerados no dimensionamento, os quais dependendo da obra podem ser significativos ou não. São eles:

- 1- Resistência a perfurações dinâmicas
- 2- Energia de deformação absorvida pelo geotêxtil
- 3- Flexibilidade
- 4- Resistência a passagem de água
- 5- Sensibilidade aos solos finos em suspensão
- 6- Resistência a agressividade do meio ambiente;

Algumas normas estabelecem níveis de solicitação, em que há requisitos mínimos mecânicos que os geotêxteis devem atender (Tabela4), segundo a NBR 12824 e a NBR 13359

Tabela 3 - Requisitos Mecânicos Mínimos				
Propriedade	Nível de Solicitação			
	I		II	
Alongamento sob carga máxima (%)	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30
Resistência a Tração (kN/m)*	20	8	30	12
Resistência ao puncionamento CBR (kN)	3	1.5	4.3	2.3
I - Nível 1: Trincheiras pouco profundas (≤ 1 m), terreno bem regularizado, agregados pouco contudentes e compactação leve.				
II - Nível 2: Adotado quando pelo menos uma das solicitações do nível 1 não se verificar.				
* Considerar a direção de menor resistência do produto.				

6 Trechos Experimentais

Trecho DF-205

Foi executado um trecho experimental entre as estacas 126 e 163 da rodovia DF-205 Oeste, localizada no Distrito Federal, próximo à cidade satélite de Sobradinho. Através de análise do volume de tráfego do tipo leve com $N=7,6 \times 10^5$ operações do eixo padrão para um período de 10 anos, com o volume médio diário (VDM) de aproximadamente 200 veículos. Todo trecho é constituído de sub-leito, base de solo fino (20 cm de espessura). A tabela 4 apresenta as características do material do subleito e base determinadas por meio de ensaios de laboratório, segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de compactação, CBR e expansão realizada com os materiais de subleito e de base.

Material	WL (%)	Wp (%)	IP (%)	Pedregulho (%)	Areia (%)	Argila + Silte (%)	AASHO	Unificada	Expedita	MCT
Subleito										
Est.117	45,6	32,8	12,8	2,5	12,3	85,2	A-7-5	ML	AE	-
Est.127	44,0	29,0	15,0	1,4	4,3	94,3	A-7-6	ML	AS	-
Est.137	48,6	34,8	13,8	3,4	10,6	86,0	A-7-5	ML	AV	-
Est.147	45,0	31,1	13,9	2,8	11,3	85,9	A-7-5	ML	AE	-
Est.157	46,9	35,5	11,4	2,8	9,1	88,1	A-7-5	ML	AV	-
Est.167	52,3	35,7	16,6	2,2	8,9	88,9	A-7-5	MH	AV	-
Base	57,6	38,6	19,0	0,6	3,1	96,3	A-7-5	MH	AV	LG

Tabela 4 – Caracterização do material de subleito e da base de solo fino

Material	Energia Proctor	$\gamma_{dmax}(kN/m^2)$	Wor(%)	CBR(%)	Expansão (%)
Subleito	Normal	14,7	23,5	7	0,14
Est.117	Normal	16	20,4	2,2	1,34
Est.127	Normal	16	22	13	0,09
Est.137	Normal	15,9	18,5	6,3	0,67
Est.147	Normal	14,9	23,1	8,3	0,08
Est.157	Normal	14,7	25,6	12,8	0,22
Est.167	Normal	15,2	24	17	0,24
Base	Normal	16	23,7	23	0
Base	Intermediário	16,7	21,4	43	0,35
Base	Modificado				

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de compactação dos materiais do subleito e da base

γ_{dmax} (kN/m²)

Viga Benkelman

O ensaio de viga Benkelman foi executado de acordo com a especificação ME24 (DNER 1994), possibilitando a determinação das deflexões ocorridas no pavimento devido à movimentação de um caminhão carregado com 8,2 t. A partir deste ensaio tem-se a deflexão real do pavimento no ponto de prova (D_0), o raio de curvatura R e a bacia de deslocamento. Define-se também o módulo de reação da Viga (K_{viga}):

$$K_{viga} = P/D_0$$

Onde: P = pressão aplicada no pavimento pelo pneu do caminhão. Os resultados médios obtidos para ensaios realizados nas camadas de subleito, base de solo fino, revestimento logo após o termino da construção (ensaio 1) e revestimento quatro meses após o início do funcionamento da rodovia (ensaio 2) estão apresentados na tabela 6.

Camada	D_0 (x 0,01 mm)	R (m)	RD_0 (m.mm)	k_{viga} (Mpa/m)
Subleito(corte)	66,7	244,6	16314,82	797
Subleito(aterro)	71,9	164,8	11849,12	767,3
Base de solo fino sem geotêxtil	73	306,9	22403,7	802,8
Geotêxtil entre subleito e base	87	337,1	29327,7	644
Revestimento (ensaio 1)				
Base de solo fino sem geotêxtil	94,4	256,1	24175,84	595,8
Geotêxtil entre base e revestimento	81,3	324,2	26357,46	688,6
Geotêxtil entre subleito e base	76,3	285,3	21768,39	734,4
Base envelopada	52,2	311,2	16244,64	1072,5
Revestimento (ensaio 2)				
Base de solo fino sem geotêxtil	86,8	293,9	25510,52	631,3
Geotêxtil entre base e revestimento	77,6	300,8	23342,08	706,5
Geotêxtil entre subleito e base	90,1	270,5	24372,05	593,8
Base envelopada	99,2	296,4	29402,88	564,9

Tabela 6 – Resultados dos ensaios de viga de Benkelman

Segundo a norma PRO-11 (DNER 1979), $R > 100m$ indica bom comportamento estrutural. Moreira(1977) sugere que valores superiores a

5.500m.mm para o produto R.D₀ significam pavimentos sem problemas estruturais. Logo, observa-se que pelos ensaios realizados, todas as seções apresentam comportamento estrutural satisfatório.

O trecho em questão por se tratar de uma região de várzea e possuir uma grande quantidade de matéria orgânica e argila possui uma baixa capacidade de suporte o que propondo uma grande trabalhabilidade para o revestimento do pavimento.

Com o objetivo de reforçar a estrutura do pavimento, evitar a penetração de água na base por infiltração ou ascensão capilar e a reflexão de trincas, estudou-se o uso da geogrelha. Para tanto optou-se por uma geogrelha com 45kn/m. Suas características são apresentadas na tabela 6 e foram fornecidas pelo fabricante.

Trecho BR-101

Ainda que atenda às especificações de projeto e mesmo que seja bem construído todo tipo de pavimento degrada-se ao longo do tempo, tanto pela ação do tráfego ou fatores climáticos, ou ainda a combinação dessas ações.

A principal forma de perceber o desgaste de um pavimento é a partir do seu nível de trincamento. O trincamento pode, junto com outros tipos de defeitos no pavimento, levar o pavimento a um nível de uso que não seja adequado ou até mesmo à sua inutilidade. Por tanto toda medida de restauração do pavimento deve levar em consideração o tipo e a quantidade do trincamento.

Segundo TOSTICARELLI (1993) existem 3 modos diferentes pelos quais uma trinca pode se movimentar: abertura, cisalhamento e rasgamento. Esses movimentos fazem com que a trinca cresça a cada ciclo de carga.

O modo de movimentação conhecido como abertura é característico de ações de natureza térmica e de tensões de tração sob o centro de uma carga de roda, o cisalhamento ocorre quando o bordo da área carregada do pneu se encontra na direção do plano da trinca, enquanto o rasgamento ocorre em trincas que já atravessaram a espessura da camada asfáltica e quando a carga da roda se encontra de forma assimétrica, em apenas um dos lados da trinca, forçando o rasgamento da trinca em seu plano.

A reflexão de trincas é um processo de crescimento das microfissuras já existentes na mistura asfáltica que ocorre de forma gradual e contínua e que se tornam maiores e se transformam em trincas devido às movimentações, abertura, cisalhamento e rasgamento, e a cada ciclo de carga.

O desempenho da camada asfáltica de recapeamento construída pelo Exército nos trechos experimentais da Rodovia BR 101 Norte na cidade de Goiana, onde foi aplicada uma camada de Geogrelha com a tentativa de controle da reflexão de trincas e intuito de reforçar o pavimento e evitar a reflexão de trincas no trecho da BR 101 na divisa entre Pernambuco e a Paraíba, decidiu-se aplicar a Geogrelha de resistência transversal de 50kN/m^2 como camada de reforço e inibição de trincas.

A avaliação do desempenho pode ser feita comparando o trecho que recebeu o reforço no pavimento com alguns dos trechos adjacentes que possuam o mesmo tráfego e que não tenham recebido o reforço, a fim de que ao passar do tempo seja possível observar as diferenças quanto ao número de fissuras aparentes ou a qualidade de uso do pavimento.

Antes da realização dos serviços de restauração, o trincamento do pavimento existente era severo, com trincas C2 e C3; trincas com aberturas maiores que 1,0mm com ou sem erosão nas bordas. A região em questão possui predominância em solo de baixa capacidade de carga e sem o aporte de resistência a base e sub-base as trincas iriam continuar a aparecer.

Ao longo do tempo de observação, ocorreram maior recalques na rodovia provenientes da baixa capacidade do solo. O pavimento acompanhou essa deformação, com poucas aberturas pequenas aberturas de trincas

Para efeito de caracterização do comportamento estrutural in situ das seções do trecho experimental, determinou-se os módulos elásticos das camadas do pavimento a partir de retroanálise das trincas de deflexões medidas com a viga de Benkelman. Foi utilizado um procedimento iterativo, no qual a bacia prevista pela teoria de camadas elásticas era comparada à bacia experimental, variando-se os módulos das camadas até que se obtivesse a melhor concordância possível.

Nesta seção procurar-se-á interpretar o desempenho relativo observado entre as seções experimentais a partir de critérios de análise relacionados com a ocorrência do trincamento em camadas de reforço de pavimentos flexíveis. Em vista dos problemas já discutidos acerca da avaliação estrutural pouco confiável que foi efetuada, estas análises devem ser vistas apenas como um exemplo para ilustrar a aplicação de um modelo mecanístico na interpretação de dados empíricos.

Figura 13 – Aplicação de geogrelha no trecho da BR-101



Fonte: autores

Figura 14 - Aplicação de geogrelha no trecho da BR-101



Fonte: autores

Figura 15 – Aplicação de geogrelha no trecho da BR-101



Fonte: autores

O trecho da BR-101 na divisa entre Pernambuco e a Paraíba, no qual foi aplicado a geogrelha, foi avaliado quanto à reflexão de trincas ao longo do tempo para verificar o comportamento da geogrelha e a qualidade do revestimento asfáltico para comparar o ganho de desempenho, a manutenção da qualidade do pavimento e com isso o aumento de vida útil proporcionado por este reforço.

7 Conclusão

A análise dos trechos em questão da BR-101 na divisa entre Pernambuco e a Paraíba, onde foram implantados reforços através do uso de geogrelha ao longo do tempo mostrou que ao longo do tempo a abertura de fissuras foi muito menor comparado com o comportamento de trechos que não recebem o reforço. Essas fissuras podem apresentar bombeamento de material e consequentemente o comprometimento da base do pavimento e diminuição da vida útil do pavimento.

Portanto o uso de geogrelha como reforço de pavimento com problemas de reflexão de trincas revela-se uma ótima solução como reforço para a inibição e propagação de trincas e proporciona o aumento da vida útil do pavimento.

Referências

APLICACIÓN DE LOS GEOSINTÉTICOS EN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS Y EN OBRAS DE DRENAJE PARA CARRETERAS COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Disponível em <http://ri.ues.edu.sv/2100/1/Aplicacion_de_los_geosint%C3%A9ticos_en_la_estructura_de_los_pavimentos_y_en_obras_de_drenaje_para_carreteras.pdf>.

Acesso em: 17 de setembro de 2015.

Beuving, E.; van den Eltzen, M.Jm.;Hopman: Selection of Geosynthetics and Related Products for Asphalt Reinforcement. P., Singapore: 9 de Setembro 1994.

Caputo, H.P. Mecânica dos solos e suas aplicações. Vol. 1 e 2, 6ª edição. São Paulo: LTC, 1998.

Propriedades da Geogrelha. Maccaferri do Brasil, São Paulo.

Rigo, J.M., General Introduction, Main Conclusions of the 1989 Conference on Reflective Cracking in Pavements and Future Prospects, Liege University, Belgium: 1993.

Vertematti, J. C. Manual Brasileiro de Geossintéticos. Editora Edgard Blucher, 1ª Edição, 2004.