

EVOLUÇÃO DO EMPREGO DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS RODOVIÁRIAS NOS ÚLTIMOS 20 ANOS.

Matheus Dantas de Oliveira Bandeira¹, Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva².

Resumo: O crescimento do tráfego nas rodovias requisita uma melhoria na qualidade do pavimento, de forma a proporcionar uma melhor circulação, seja de pessoas ou produtos. O emprego de alguns geossintéticos como reforço de base em obras rodoviárias tem sido uma das soluções utilizadas. O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de revisão da literatura sobre a aplicação do material geossintético como elemento de reforço de base de pavimentos nos últimos 20 anos (de 1999 a 2019), com o auxílio de dez artigos científicos publicados em periódicos. A partir do histórico citado no Manual Brasileiro de Geossintéticos, em sua primeira edição (2004), foi visto a necessidade de complementar à literatura com dados dessas últimas duas décadas. Diversos fatores comprovam a aplicação nas obras rodoviárias, tais como: aumento de vida útil da estrutura reforçada, redução da espessura das camadas do pavimento, além do aumento da capacidade de carga da estrutura. As publicações estudadas no presente artigo contemplaram a aplicação especialmente no Brasil, além da China e Suíça, onde estudaram predominantemente o uso de materiais geossintéticos como reforço de base, aprofundando-se em variáveis específicas advindas a partir do emprego dos geossintéticos. Como conclusão do trabalho presente, nota-se um ganho de benefício com a inserção desse material em todos os artigos estudados, evidenciando e justificando sua aplicação, assim, percebe-se que independente do material geossintético, seu uso auxilia de forma plausível a qualificar as obras rodoviárias, tornando-o como mais uma solução para a Engenharia Civil.

Palavras-chave: geossintéticos; reforço; pavimento.

1. INTRODUÇÃO

Um sistema de infraestrutura de transportes eficiente e em boas condições são essenciais para promover o desenvolvimento econômico de um país através do escoamento da produção nacional e da circulação populacional. O crescimento do modal rodoviário brasileiro exige um aumento das vias pavimentadas, visando melhorar a dinâmica do país, sendo esse meio o mais utilizado para diversos fins. A malha rodoviária brasileira ainda é bastante pequena se comparada com países de dimensões territoriais semelhantes. Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT) [1] o Brasil soma 1.720.643km de rodovias, sendo que apenas 12,24% são pavimentadas, o que equivale a 210.618km.

Sem uma boa manutenção, agentes deteriorantes agem de forma mais abrasiva, provocando prejuízos incalculáveis, alargando os custos operacionais dos veículos que usam a malha, influenciando no acréscimo de acidentes e dificultando o desenvolvimento das regiões por ela servida. O dimensionamento, construção e os serviços de manutenção periódicas necessariamente devem ser realizados de modo a proporcionar um adequado funcionamento das estradas, sejam pavimentadas ou não-pavimentadas, durante a vida útil para a qual foi calculada.

Tendo o conhecimento da existência das grandes variações nas características dos solos sob a qual as estradas são executadas, quanto a granulometria, permeabilidade, resistência a tração e cisalhamento, deformabilidade, capacidade de carga e tendo a necessidade de aplicação desse material em qualquer que seja a situação, novas soluções geotécnicas são necessárias de modo a minimizar os mais variados problemas. A fim de prolongar a vida útil das estradas e melhorar o seu desempenho, investir em atividades que garantam resultados satisfatórios, mediante o uso de novas tecnologias, sendo elas, ligadas ao desenvolvimento de projetos, análise e aperfeiçoamento dos materiais, além de estudos e inclusão de reforços, é necessário para melhorar o custo-benefício dos insumos investidos.

Desde 1970 os geossintéticos começaram a ser utilizados para a estabilização do subleito e reforço de aterros para a construção de estradas não pavimentadas. Costumemente esse material é aplicado entre a camada de aterro (reforço do subleito) e o subleito, fazendo suportar maiores cargas e intensidade de tráfego. Outro benefício associado com a utilização dos geossintéticos é que esse viabiliza a utilização de materiais de aterro de menor qualidade, colaborando para a redução de custo e benefícios ambientais [2].

Os geossintéticos, sejam eles sintéticos ou naturais, como os geotêxteis, geogrelhas, geomantas e geodrenos, são criados para serem aplicados em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, sejam elas: filtração, reforço, drenagem, proteção, separação, impermeabilização e controle de erosão superficial. Essa classe de matérias são alternativas de fácil e rápida execução na obra, podendo ser meios mais econômicos e ambientalmente corretos que as soluções comuns [3].

O melhor apontador que quantifica o ganho do desempenho da estrada a partir da inclusão do geossintético é a razão de benefício de tráfego, essa definida pelo número de repetições do eixo-padrão ou ainda de simuladores de tráfego laboratorial que realiza determinada trilha de roda na estrada reforçada, dividido pelo número de repetições do eixo-padrão que produz o mesmo afundamento na trilha de roda, sem geossintético [4] [5] [6].

Dada a importância desses materiais para o desempenho das rodovias e devido ao fato do conhecimento técnico-científico de suas especialidades estarem em construção, esse trabalho tem o objetivo de suprir uma lacuna, visando compreender a evolução do emprego dos geossintéticos em obras rodoviárias no Brasil, nas duas últimas décadas.

O presente artigo trata-se de uma revisão da literatura, que analisou 10 (dez) artigos científicos publicados em periódicos sendo aplicados como reforço em rodovias. Inicia-se com uma sessão trazendo os conceitos introdutórios sobre o material geossintético, em seguida aprofunda-se em cada estudo, por vez apresentando uma linha do tempo/área de aplicação. No final, apresenta um panorama do que este artigo de revisão de literatura pode contribuir para a consolidação do conhecimento acerca do uso de geossintéticos em obras rodoviárias.

2. GEOSSINTÉTICOS

De acordo com a Associação Brasileira de Geossintéticos [7], os materiais de ordem geossintética são:

[...] produtos industrializados com pelo menos um dos seus componentes fabricados com polímero sintético ou natural. Apresentam-se na forma de manta, tira ou estruturas tridimensionais, e são utilizados em contatos com o solo ou com outros materiais em aplicações da engenharia civil, geotécnica ou ambiental.

Uma das aplicações dos geossintéticos mais crescentes são nas obras rodoviárias. Em obras geotécnica e de proteção ao meio ambiente, o elemento polimérico pode cumprir diversas funções, dentre as quais se pode destacar a drenagem, filtração, reforço e separação entre os materiais. Nas obras rodoviárias, quando este material é aplicado como reforço, a capacidade de carga do pavimento é elevada consideravelmente, com consequente redução de manutenções periódicas, estreitamento da capa asfáltica e consequentemente aumento da vida útil [8]. O Quadro 1 traz os principais tipos de geossintéticos e suas respectivas aplicações, apresentado a seguir.

Quadro 1. Funções dos geossintéticos em projetos de engenharia [9].

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço	Impermeabilização
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X	X*
Geogrelha	X					X	
Geomembrana	X						X
Georrede		X		X			
Geocomposto argiloso							X
Geocélula		X			X	X	
Geotubo				X			
Geofibra						X	

NOTA: *Quando impregnado com material asfáltico

A utilização de geossintéticos no Brasil vem ganhando espaço desde o início dos anos 80. Primeiramente com obras de drenagem e filtragem e, em seguida, com obras de reforço de solos. Mesmo sendo crescente a aplicação de materiais geossintéticos, menos de 1% do consumo mundial desse material ocorre no Brasil, valor que pode ser visto como inexpressível quando comparados com o consumo em países de primeiro mundo, ou até mesmo em países de menor economia que a brasileira. Já com relação ao comportamento global do maciço de solo reforçado com esse tipo de material está condicionado às propriedades do solo, às características do reforço e as propriedades da interface solo-geossintético. Dentre as características, são importantes a resistência a tração do geossintético, os padrões de interação mecânica entre o solo e o reforço e os efeitos de confinamento do solo adjacente sobre o comportamento tensão-deformação do material sintético [10].

Os principais fatores que afetam o comportamento mecânico dos geossintéticos em aplicações de reforços de solos, são: tipo e estrutura do polímero; estrutura do geossintético; carregamento aplicado; tensão vertical confinante; temperatura de serviço; tipo e natureza do solo; vida útil de serviço [11].

A utilização de geossintéticos em obras rodoviárias, dos artigos pesquisados, restringe-se, principalmente, ao reforço da camada de base, isto é, na estrutura em construção e ao reforço da camada asfáltica, para estruturas pavimentadas e na restauração de pavimentos degradados. Sendo que para o reforço de base, o geossintético tem

função de elemento confinante e separador, e para o reforço da camada asfáltica como elemento anti-reflexão de trincas e juntas.

Os geossintéticos mais empregados na pavimentação são os geotêxteis e as geogrelhas. Os principais benefícios de sua aplicação é o aumento da vida útil do pavimento e o reforço das camadas, assim, as principais funções de seu uso são: reforço, separação, impermeabilização e/ou proteção das camadas que formam a estrutura [12].

O Geotêxtil é um objeto têxtil bidimensional permeável, constituído por fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes, formando estrutura tecida, não-tecido ou tricotada, onde suas propriedades mecânicas e hidráulicas permitem desempenho em várias funções em uma obra geotécnica [9].

Para seu emprego em restauração de pavimentos flexíveis, são requisitos da NBR 10319/13 [13], apresentar uma resistência à tração maior do que 7 kN/m, capacidade de retenção de ligante betuminoso maior do que 0,9 l/m² e ponto de amolecimento superior a 180 °C. Sua utilização como separador ou elemento filtrante em base, tem como função principal a prevenção de interpenetração do material de base na camada inferior

A Geogrelha é um elemento com estrutura em forma de grelha, com função preponderante de reforço, da qual a abertura permite interação do meio em que está confinado, que são constituídos por unidades resistentes a tração. Podem ser considerados unidirecional ou bidirecional a depender da direção que apresenta alta resistência à tração. Em função ao processo de fabricação, as geogrelhas podem ser soldadas, tecidas ou extrudadas [9].

De acordo com a NBR 10319/13 [13], para a utilização de geogrelhas em restauração de pavimentos flexíveis, devem apresentar uma resistência a tração superior que 50kN/m, deformação menor do que 12%, resistência a fadiga maior do que 90% de resistência retirada após 100.000 ciclos de carregamento, ponto de amolecimento acima de 180°C e a relação entre a abertura da malha e o diâmetro máximo do agregado deve estar entre 2 a 10.

3. Geossintético em reforço de base

A utilização de geossintéticos como reforço da camada de base condiciona um aumento na capacidade estrutural, devido a quatro mecanismos, sejam: intertravamento, confinamento, separação e tensão de tração. Esse tipo de aplicação é mais frequente nos casos em que o subleito apresenta uma baixa capacidade de suporte, onde é inviável a remoção ou substituição do material. O emprego dos geossintéticos tem como objetivo, minimizar e distribuir de melhor forma as tensões que chegam ao subleito (Figura 1), controlando ou diminuindo as manifestações das patologias, como por exemplo, afundamento de trilha de roda e trincamento por fadiga, ou ainda, auxiliando na redução das camadas granulares e aumentando a vida útil do pavimento.

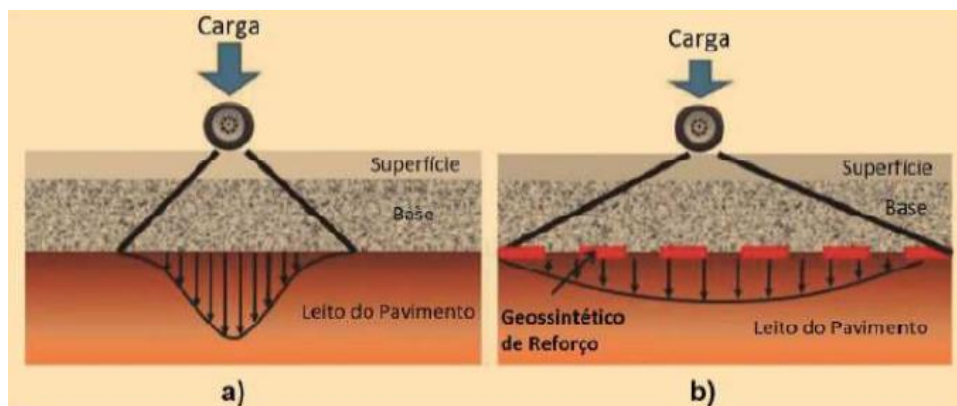


Figura 1. Distribuição de tensões na camada de subleito de um pavimento flexível. a) sem reforço de geossintético; b) com reforço de geossintético [14].

3.1 Leng and Gabr (2002) [15]

Com o intuito de verificar as tensões totais que chegam no topo do subleito a partir da imposição de um carregamento de 40 kN com frequência de 0,67 Hz, foram utilizadas quatro células de tensões totais, cada um com diâmetro médio de 50 mm, espaçadas em relação ao centro do carregamento em 0, 152, 305 e 457 mm. Para o ensaio, utilizaram duas geogrelhas com abertura de 25 mm x 33 mm e resistência a tração a 2% de deformação de 4,1 kN/m (BX1) e 6,0 kN/m (BX2), sendo o subleito com CBR entre 3 e 4%, e a camada de base de material granular. A Figura 2 demonstra as curvas da tensão vertical no topo do subleito versus o posicionamento do centro de carregamento [15].

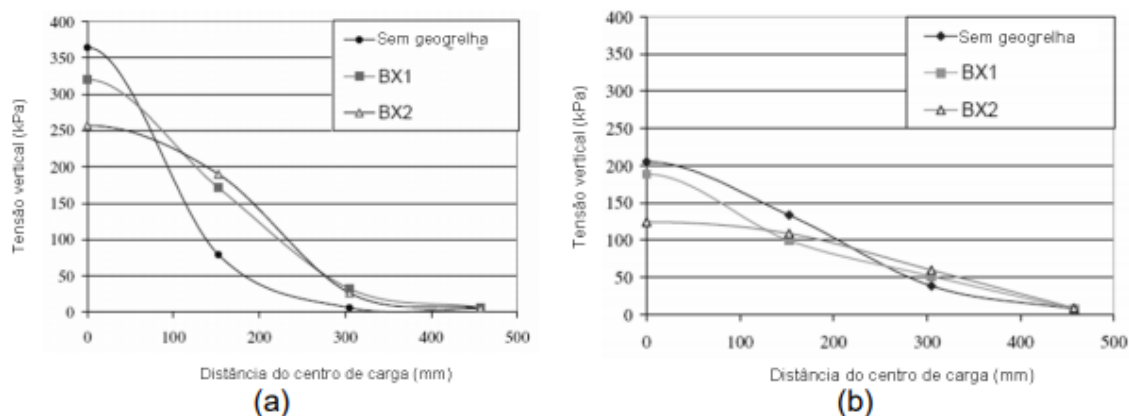


Figura 2. Distribuição de tensões verticais para 8.000 ciclos. a) com 152 mm de base; b) com 254 mm de base [15].

Destacam-se das curvas, a redução das tensões verticais abaixo do ponto de carregamento e a melhora na distribuição das tensões para as seções em que foram inseridas as geogrelhas. É notório que não chegaram tensões verticais no subleito para as distâncias radiais superiores a 400 mm. A partir dos ensaios, repararam uma diminuição da tensão vertical no topo do subleito, sendo os maiores valores incidentes sobre o ponto de carregamento, tendo como resultado final um apoucamento de 360 kPa (sem a inserção de geogrelha) para 220 kPa (com a geogrelha BX2).

3.2 Hufenus *et al.* (2006) [16]

Realizaram testes de campo em escala real, onde utilizaram geossintéticos como reforço de uma estrada não pavimentada. A seção do experimento é constituída de três camadas de materiais reciclados, sendo a primeira compactada estaticamente com força de 25 kN e as demais dinamicamente, com força de 80 kN. Foram selecionados dez tipos de geossintéticos com resistência a tração variando de 10 kN/m a 65 kN/m. As geogrelhas foram colocadas na interface do subleito constituído de solo mole e a primeira camada compactada, sendo ela dotada de extensômetros para leituras de deformações a curto e longo prazo. A trilha de roda foi avaliada a partir das leituras de afundamento do perfil. De acordo com os autores, os geossintéticos apresentaram um efeito significativo apenas quando utilizados sob camadas finas em subleitos de solo mole, visto que sobre essas circunstâncias o subleito sofre consideráveis deformações, solicitando o reforço com tensões de tração, assim, quanto maior a rigidez do reforço, mais eficaz torna-se o sistema reforçado [16].

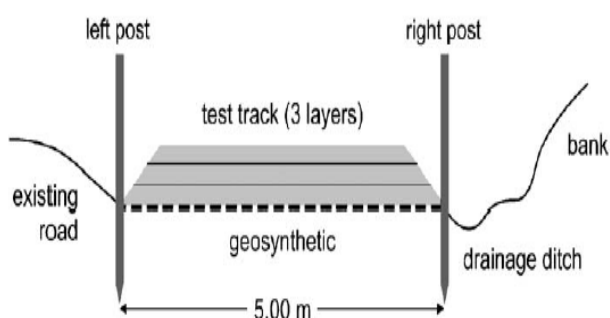


Figura 3. Seção transversal típica da pista de teste [16].

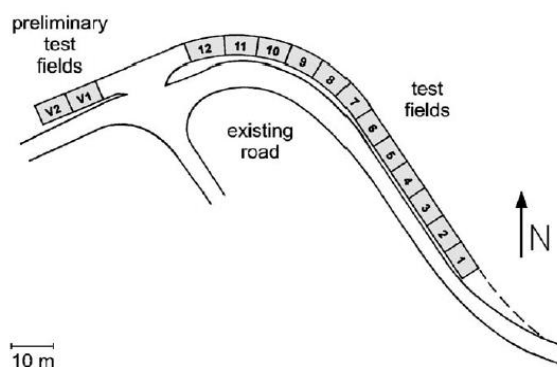


Figura 4. Layout da faixa de teste com divisões entre o campo de teste [16].

Os ensaios foram realizados em 12 trechos de 8 m de comprimento, onde a geogrelha foi alocada em conjunto com uma camada separadora de geotêxtil não tecido, e sobre a geogrelha, foram compactadas três

camadas de 200 mm de entulho reciclado. O subleito era formado de argila siltosa de média plasticidade, com teor de umidade de 38,6% +/- 4,7%, com CBR médio variando entre 3 e 4%. Os trechos foram monitorados com medidas de CBR, testes dinâmicos e estáticos de placa, Falling Weight Deflectometer, controle de compactação dinâmica e controle de perfil. Concluíram que ocorreu um ganho significativo na capacidade de carga quando se utiliza geossintético como reforço em camadas de base com espessuras menores que 500 mm sobre subleitos com CBR menores ou igual a 2%. Em camada de base de 400 mm, o uso de geossintético mostrou ser eficaz quando a formação de trilha de roda (a seção reforçada possibilitou maiores cargas axiais ou maior período de vida útil), sendo possível a redução da camada de base em até 30%, entretanto, é recomendada uma espessura mínima de 300 mm [16].

3.3 Saraiva (2006) [2006]

Foi avaliado o comportamento de seis seções experimentais de 50 m cada, localizadas na rodovia de ligação da cidade de Itabira – MG à cidade de Senhora do Carmo - MG por meio de medições das deformações verticais e horizontais registradas através de sensores eletrônicos. Para a instrumentação do trecho, foram utilizados *strain gages* (extensômetros) nas camadas do pavimento para monitorar o comportamento de deformação em diferentes profundidades com a aplicação de cargas dinâmicas e estáticas [17].

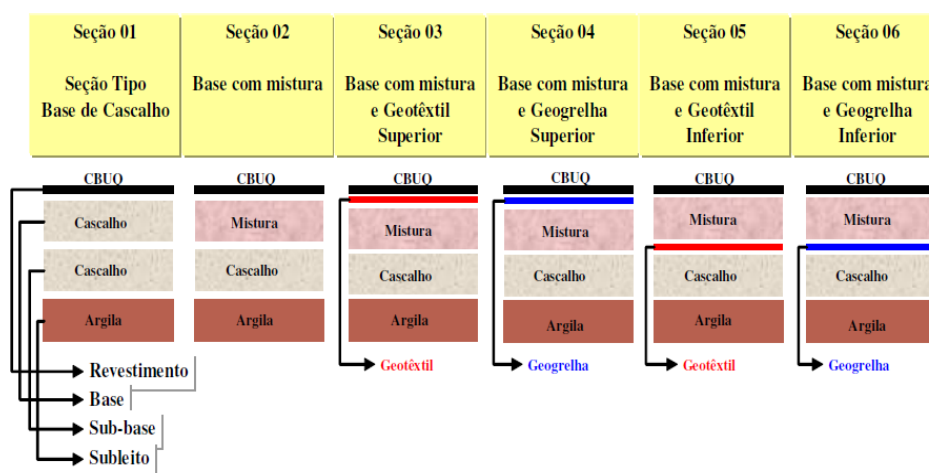


Figura 5. Composição estrutural das seções [17].

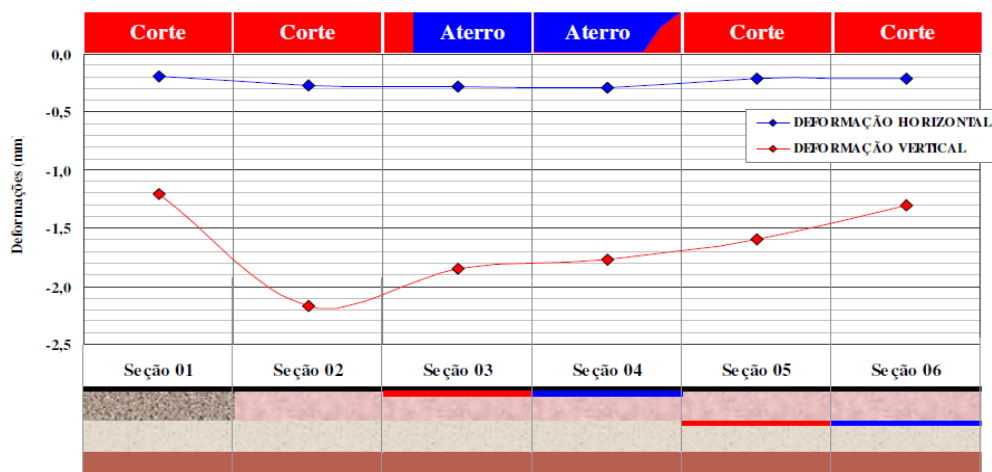


Figura 6. Resultados das deflexões verticais e horizontais coletadas pelos *strain gages* na camada de base [17].

As bases das seções foram executadas com mistura de 70% de Jig, 20% de argila e 10% de rejeito fino de mineração de ferro, nas seções 3 e 5 foi colocado como reforço da camada de base uma manta de geotêxtil de poliéster com gramatura igual a 300g/m² e resistência a tração igual a 16 kN/m, já nas seções 4 e 6 utilizaram geogrelhas flexíveis de poliéster de elevada resistência, com gramatura igual a 430g/m², resistência nominal a

tração de 65 kN/m e abertura de malha de 30 mm x 30 mm. Conseguiu observar a viabilidade da utilização de materiais alternativos em obras rodoviárias, de reconhecida inserção regional que, mesmo não atendendo todos os requisitos das normas vigentes, resultam em um desempenho estrutural positivo quantos os sistemas convencionais obtidos [17].

3.4 Ferreira (2007) [18]

Foi apresentado um estudo comparativo da eficiência de diferentes materiais geossintéticos no reforço de base de pavimentos em obras rodoviárias, a partir do ensaio de arrancamento de pequeno porte. Os ensaios foram executados com diferentes combinações entre os solos e os geossintéticos, dotado de um novo sistema de medida direta de deslocamentos ao longo do teste com o auxílio de sensores óticos a laser. Empregou-se geogrelhas de polipropileno, poliéster e de fibras de vidro, além de geotêxtil tecido de polipropileno. O solo do subleito era composto de 58% de argila e a camada de base de pedregulho areno-siltoso. As características dos materiais geossintéticos empregados estão dispostos no Quadro 2 [18].

Quadro 2. Características dos Geossintéticos utilizados na pesquisa [18].

Reforço/Propriedade	Sentido de Fabricação	Geogrelha polipropileno	Geotêxtil polipropileno	Geogrelha Fibra de vidro	Geogrelha poliéster
Resistencia a tração MD (kN/m)	Longitudinal	12,4	70	50	29,2
	Transversal	19	70	50	29,2
Módulo de rigidez a 2% de deformação (kN/m)	Longitudinal	205	7000		365
	Transversal	330	965		365
Módulo de rigidez a 2% de deformação (kN/m)	Longitudinal	170	700		268
	Transversal	268	760		268
Abertura da malha (mm)	Longitudinal	25		22,5	25,4
	Transversal	33		30	25,4
Espessura do elemento (mm)	Transversal	0,76		1,5	1,5

A partir dos ensaios, além de ser possível analisar os resultados com curvas força de arracamento x deslocamentos, foi possível utilizar gráficos rigidez x deformação para determinar o melhor geossintético no reforço de base de pavimentos. Os resultados mostraram que a interação solo-reforço é mais importante que a rigidez não-confinada do geossintético no comportamento do material em situação de confinamento no interior da estrutura. Com o termino dos ensaios, concluiu que a melhor opção para os solos e geossintéticos estudados segue a ordem: 1º geogrelha de polipropileno; 2º geogrelha de poliéster; 3º geotêxtil tecido de polipropileno; 4º geogrelha de fibra de vidro.

3.5 Antenus (2008) [8]

Com um ensaio em grande escala procurou mostrar o comportamento mecânico de pavimentos rodoviários solicitados por carregamentos cíclicos. O equipamento desenvolvido era constituído de uma caixa metálica com dimensões de 1,60 m x 1,60 m por 1,20 m de altura, onde foram executados o subleito e o pavimento (esse com 20 cm de brita). A caixa utilizada nos ensaios era dotada de um sistema de reação e, conjuntamente a ele, de um sistema hidráulico de aplicação de cargas, com o objetivo de simular carregamento oriundo de um eixo padrão com 80 kN. Foi utilizada uma frequência de aplicação de carregamento igual a 1 Hz. Foram realizados ensaios com e sem reforço geossintético no pavimento (um sem reforço, um reforçado com geogrelha de polipropileno com módulo de rigidez à tração de 600 kN/m e outro com geotêxtil de laminetes de polipropileno com resistência a tração nas duas direções igual a 80 kN/m) alocados na interface base/subleito do pavimento. Após atingir uma deformação superficial permanente de 25 mm de profundidade, a superfície do pavimento era restaurada e um novo ciclo de carregamento aplicado. Para a análise das respostas mecânicas do pavimento, utilizaram-se vários instrumentos geotécnicos, foram eles: extensômetros elétricos, células de carga, termopares, células de tensões totais e LVDT's. Os pavimentos reforçados apresentaram comportamento mecânico significativamente melhor que os sem reforço, levando em conta o número de ciclos de carregamento suportando até a ruptura, a razão benefício de tráfego foi maior de 2,8 para os testes reforçados com geotêxtis e 9,2 para geogrelhas, como mostra o Quadro 3. Evidenciou-se também a influência da restauração na superfície do pavimento no comportamento do conjunto, tanto reforçado quanto não reforçado, para ciclos de cargas seguinte [8].

Quadro 3. Resumo da eficiência calculada em cada ensaio [8].

Tipo de Ensaio	Número de ciclos de carga até alcançar o afundamento de 25 mm	Fator de Eficiência (calculado)
Sem Reforço – Padrão	30.720	-
Sem Reforço – Restauração 1	25.164	-
Sem Reforço – Restauração 2	19.470	-
Reforçado com Geogrelha - Padrão	282.000	9,2
Reforçado com Geogrelha – Restauração 1	210.906	8,4
Reforçado com Geogrelha – Restauração 2	144.000	7,4
Reforçado com Geotêxtil - Padrão	85.044	2,8
Reforçado com geotêxtil – Restauração 1	58.698	2,3
Reforçado com geotêxtil – Restauração 2	45.073	2,3

3.6 Kakuda (2010) [19]

Em outro estudo, o desafio proposto foi o desenvolvimento, montagem e teste de um equipamento de grande porte para ensaio laboratorial de estruturas de pavimentos com várias configurações e condições de carregamento similares às de campo, além de verificar o emprego de geossintéticos como reforço de camada de base sobre efeito de variação de umidade de subleito. A aplicação do carregamento cíclico foi sobre placas rígidas com diâmetros de 216 mm e 300 mm, com amplitude de 20 kN e 40 kN, respectivamente, sobre uma frequência de 1 Hz. Para a obtenção dos resultados a instrumentação necessária foi constituída de LVDTs, células de carga e de tensão total, essas permitem o controle das cargas aplicadas, das tensões totais no interior das camadas, e as deformações elásticas/permanentes na superfície do pavimento. Para a elaboração das seções do pavimento ensaiadas na caixa, foram utilizados dois solos e uma brita. Um dos dois solos foi usado como subleito, e o outro, em conjunto com a brita, para uma composição solo-brita na proporção 30% e 70% respectivamente, sendo esse *blend* usado na base. Como reforço de base foi utilizada uma geogrelha biaxial, com gramatura de 240 g/m², abertura de malha 40 mm x 40 mm e resistência a 5% de deformação em ambas as direções de 24 kN/m. Por meio das bacias de deflexões foi possível, através de retro análise, determinar os módulos de resiliência dos materiais e a partir das curvas de recalque obter uma equação da deformação plástica em função do número de ciclos de carga, como mostra a Figura 7 [19].

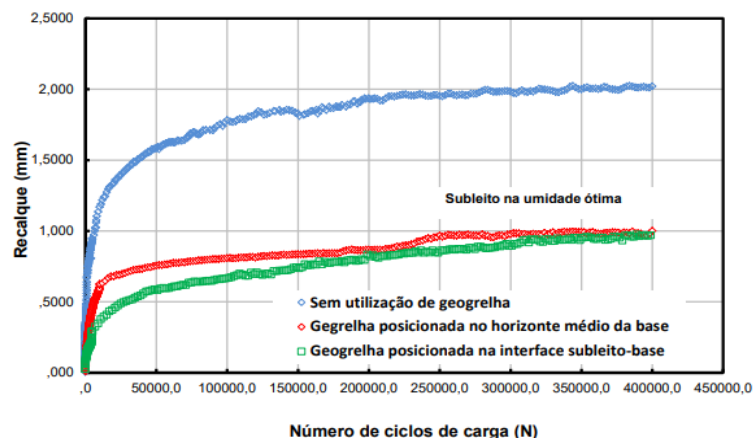


Figura 7. Recalque em função do número de ciclos de carga após 400.000 ciclos para estruturas sem e com reforço e subleito na umidade ótima [19].

Observa-se que as curvas apresentam características semelhantes e que a estabilização dos recalques acontece por volta dos 300.000 ciclos, para as três estruturas analisadas. Comparando-se os recalques obtidos após a aplicação dos 400.000 ciclos de carga, 2 mm e 1 mm, nessa ordem para as condições com e sem reforço, é fácil concluir que a introdução do material geossintético, independente do seu posicionamento no corpo de teste, proporciona uma redução das deformações permanentes na ordem de 50%, justificando o benefício do seu uso.

3.7 Obando (2012) [20]

Foram apresentas duas propostas para o reforço de pavimentos flexíveis com geossintéticos. A primeira

investigou o emprego destes materiais para evitar a reflexão de trincas entre um revestimento antigo e uma nova capa asfáltica. A segunda proposta visou avaliar a aplicação de uma camada de base de solo melhorada com cimento composto por resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R), solo laterítico e cimento Portland. Para avaliar a reflexão de trincas foram ensaiados corpos de prova prismáticos preparados com mistura asfáltica constituído por duas camadas, sendo a inferior de revestimento antigo e a superior uma nova camada de revestimento (recapeamento). Conduziram ensaiados corpos de prova com e sem a presença de geogrelha entre as camadas, para esse estudo, foram utilizados quatro tipos de geogrelha (Quadro 4) [20].

Quadro 4. Especificações técnicas dos Geossintéticos empregados [20].

Geossintéticos	Nomenclatura	Composição	Resistencia a Tração (kN/m)	Abertura de Malha (mm)
Geocomposto	G1	filamentos contínuos de poliéster de alta tenacidade, recoberto com película asfáltica	50	40 x 40
Grelha metálica	G2	não informado	não informado	20 x 20
Geogrelha 3	G3	poliéster de alta tenacidade e de baixa fluência, com revestimento protetor polimérico	80	20 x 20
Geogrelha 4	G4	não informado	55	20 x 20

Os corpos de prova em forma de vigas foram postos a carregamentos cíclicos aplicados por placas metálicas no centro de seu vão, sendo o ensaio interrompido quando o afundamento na superfície atingia 25 mm. Como resultado dos ensaios, obteve-se que a presença das geogrelhas em camadas asfálticas pode aumentar em até 15 vezes o número de ciclos de carregamento necessário para atingir o mesmo afundamento superficial pré-estabelecido, além de reduzir a intensidade das trincas geradas. Já no caso do uso do geocomposto (grelha e geotêxtil, com impregnação asfáltica), conseguiu-se evitar a reflexão das trincas da camada inferior para a camada superior. Foi observado que a mistura RCD-R cimento e solo laterítico atendeu positivamente as especificações do DNIT, para base melhorada com cimento de pavimentos rodoviários.

3.8 Oliveira (2013) [21]

Avaliando o comportamento de estradas não pavimentadas construídas sobre solos moles reforçadas com diferentes geossintéticos, foram selecionadas três estradas com um trecho que apresentasse baixa capacidade de suporte de carga e em seguida foi medida a flecha pelo método fotográfico através do equipamento perfilômetro para cada número de passadas, com e sem reforço, e submetido à análise de variância. O subleito foi reforçado com três tipos de geossintéticos: GNT - geossintético não tecido agulhado produzido com fios de poliéster; GT-geossintético tecido produzido a partir do entrelaçamento de laminetes de polipropileno; e GG – geogrelha constituída de fios de poliéster com múltiplos filamentos e elevado peso molecular. A resistência longitudinal à tração e a espessura dos reforços são, respectivamente, para o GNT de 14 kN/m e $1,6 \cdot 10^{-3}$ m, para GT 25 kN/m e $1,4 \cdot 10^{-3}$ m, e 25kN/m com espessura de $1,2 \cdot 10^{-3}$ m para o GG. Logo após, foi realizado o cálculo da razão de benefício de tráfego fornecida pela implementação do reforço. O GNT quando inserido no interior do solo, teve efeito positivo para a redução das flechas, principalmente nos trechos das estradas 1 e 3. O GT contribuiu principalmente no trecho da estrada 3 para a redução das flechas. Já a GG não contribuiu para a redução das flechas, em nenhum dos trechos analisados. A razão de benefício de tráfego para os reforços aplicados foi superior a um, tendo valores médios de 1,28 para o trecho da estrada 1 reforçado com o geossintético não tecido, 1,54 para a estrada 2 reforçada com geossintético tecido e 2,7 para a estrada 3 reforçada com geossintético tecido [21].

3.9 Góngora (2015) [22]

Em tese de doutoramento desenvolvida no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UNB), foram estudados vários tipos de geossintéticos, observando a influência de diversas variáveis importantes a serem consideradas em estradas não pavimentadas reforçada com esse tipo de material, além disso, foram confeccionadas em laboratório geogrelhas com tiras plásticas [22]. Entre os aspectos foram destacados a geometria do geossintético, interação aterro-reforço, rigidez à tração do reforço e módulo de estabilidade da abertura da geogrelha (ASM), como mostra os Quadros 5 e 6.

Quadro 5. Geogrelhas comerciais utilizadas nos ensaios [22].

Reforço/Propriedade	Geogrelha 1 (G1)	Geogrelha 2 (G2)	Geogrelha 3 (G3)	Geogrelha 4 (G4)	Geogrelha 5 (G5)	Geogrelha 6 (G6)
Abertura da malha (mmxmm)	18,4 x 21,0	23,0 x 35,0	11,6 x 15,0	14,1 x 18,5	40,0 x 40,0	15,0 x 15,0
Material de fabricação	Poliéster	Poliéster	Polipropileno	Poliéster	Polipropileno	Polipropileno
Resistencia a tração MD (kN/m)	109	92	18	142	38	43
Módulo de rigidez a 5% de deformação MD (direção de fabricação) (kN/m)	893	811	417	1165	474	627

Quadro 6. Geogrelhas confeccionadas no laboratório usadas nos ensaios [22].

Reforço/Propriedade	Geogrelha fabricada (GF1)	Geogrelha fabricada (GF2)	Geogrelha fabricada (GF3)	Geogrelha fabricada (GF4)	Geogrelha fabricada (GF5)	Geogrelha fabricada (GF6)
Abertura da malha (mm x mm)	30 x 30	30 x 30	60 x 60	60 x 60	30 x 30	60 x 60
Material de fabricação	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno	Polipropileno
Resistencia a tração MD (kN/m)	12,9	21,0	15,0	44,7	20,9	20,8
Módulo de rigidez a 5% de deformação MD (direção de fabricação) (kN/m)	72,0	117,0	164,0	300,0	416,0	261,0

No estudo optou-se por projetar um equipamento, dotado de um tanque cilíndrico de concreto com diâmetro de 1,00 m e altura de 0,52 m, onde foram aplicados carregamentos cíclicos, simulando o tráfego. Para os ensaios, o objetivo foi simular uma estrutura convencional de estrada não pavimentada sob material compressível, isto é, areia fofa (camada de subleito com 20 cm de espessura), como aterro utilizou-se brita calcária (espessura de 30 cm). Cada um dos ensaios foi observado através de instrumentação, visando medir os deslocamentos do aterro e as tensões no subleito. Também foram realizadas manutenções superficiais nas estradas a cada aplicação de carregamento. Como resultado, a inclusão dos reforços aumentou o número de repetições de carga suportados pelas estradas e diminuíram as tensões verticais transferidas para o subleito. Diferentes níveis de melhoria puderam ser observados, a depender das características dos geossintéticos, tais como rigidez a tração e abertura das malhas.

3.10 Bastos *et al.* (2015) [23]

Foi apresentada uma avaliação de misturas asfálticas ensaiadas em corpos de prova cilíndricos com quinze centímetros de diâmetro, reforçadas ou não com dois diferentes tipos de geogrelhas, sejam: geogrelha de fibra de vidro com resistências mecânicas de 35 kN/m no sentido longitudinal e 70 kN/m no transversal, e geogrelha de poliéster com resistência à tração nominal de 50 kN/m para ambos os sentidos. O ensaio de tração em disco circular com fenda, normatizado pela ASTM D7313-07, tem o objetivo de medir a resistência ao faturamento de misturas asfálticas. Os resultados obtidos nos ensaios, mostraram que os corpos de prova que continham camada intermediária de geogrelha, possuíam maior resistência à fratura, revelando uma melhoria do comportamento ao trincamento das amostras analisadas, como mostra a Figura 8, onde a energia de fratura é maior para os corpos de prova com a presença de material geossintético, o que implica em uma ganho de eficiência a partir da inserção do material industrializado [23].

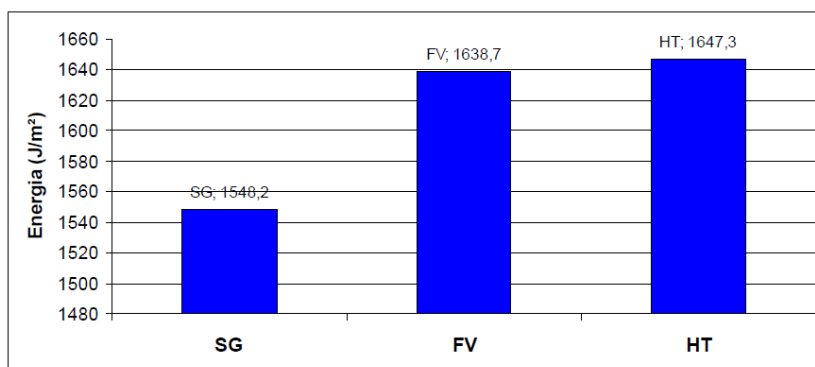


Figura 8. Valores médios de energia de fratura para corpos de provas moldados (SG: sem material geossintético; FV: com geogrelha de fibra de vidro e HT: geogrelha de poliéster) [23].

4. CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS

Na primeira edição do Manual Brasileiro de Geossintético publicado em 2004, uma iniciativa da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e ABINT (Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos), reuniu o conhecimento acerca do tema consolidado até aquele momento. As principais aplicações e a evolução do conhecimento foram agrupadas por décadas, apresentando um histórico no mundo e particularmente no Brasil, como apresentado a seguir [9].

O emprego de materiais naturais para melhorar a qualidade dos solos é costume desde 3.000 a.C., porém, só na década de 1950 surgem as primeiras aplicações de materiais produzidos em laboratório, com a utilização de geotêxteis tecidos como elementos de filtro para proteção antierosiva, em obras hidráulicas, sejam nos Estados Unidos para o controle de erosões marítimas, e aplicações semelhantes na antiga Alemanha Ocidental e no Japão.

Década de 1960, nos EUA, em 1966, foi aplicado pela primeira vez geotêxtil não-tecido de fibras em recapeamento asfáltico, no ano seguinte foram utilizadas georredes em obras de reforço de aterros sobre solos moles no Japão, sendo o *start* para o desenvolvimento das geogrelhas. Em 1968, ocorreram as primeiras aplicações de geotêxteis não tecidos como elementos de reforço e separação em obras viárias e controle de erosão, na Europa.

Década de 1970, diversos grupos técnicos de trabalho foram desenvolvidos na França, Alemanha e Estados Unidos. Aconteceram variadas aplicações de geotêxteis, sejam como aterros em obras rodoviárias sobre solos com baixa capacidade portante, muros em solo reforçado, filtração e drenagem em barragens (como é o caso de Frauenau Dam, na Alemanha), associações entre geotêxteis e geomembranas, e aplicação de geotêxteis como elemento drenante em obras de túneis. Em 1971, no Brasil foram registradas as primeiras aplicações de geotêxteis como reforço em obras rodoviárias. Em 1973, iniciou a produção comercial do primeiro geossintético fabricado no Brasil, um geotêxtil não-tecido de filamentos contínuos.

Década de 1980, é criada a International Geosynthetic Society (IGS) e com ela surgem vários métodos de dimensionamento para o emprego de geossintéticos. No Brasil dá-se início a fabricação e aplicação os geotêxteis tecidos, tendo como uma das primeiras aplicações o reforço de aterros sobre solos de baixa capacidade de suporte no Conjunto Residencial Tancredo Neves, no Rio de Janeiro. Ainda nos anos 1980 começa a comercialização dos geotêxteis não-tecidos cardados, assim como a produção das georredes e, em 1982, acontece a primeira aplicação de geomembrana nacional de PVC. Também surgiu a Comissão de Estudos de Geossintéticos, desenvolvida pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil – CB-02 da ABNT.

Década de 1990, no Brasil, em 1992 acontece o Seminário sobre Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia – Geossintéticos 92; em 1994 é formada a Associação Brasileira de Geossintéticos – IGS Brasil; em 1995 transcorre o II Simpósio Brasileiro sobre Aplicações de Geossintéticos; em 1999, no Rio de Janeiro, realiza-se o III Simpósio Brasileiro sobre Geossintéticos/I Simpósio Sul-americano de Geossintéticos. No transcorrer dos anos 1990, os arranques gerados pelos estudos teóricos apresentados estimularam o surgimento de uma leva de produtos e usos, que ao se combinar possibilitaram inúmeras utilizações, estudos contam mais de quatrocentos produtos comercializados e mais de cem aplicações distintas.

Nesse estudo foi dada preferência a trabalhos publicados entre os anos 1999 e 2019, visto a necessidade de complementar o histórico e discorrer sobre a aplicação do material geossintético nas obras rodoviárias. Nessas duas décadas, a maior parte das obras citadas neste trabalho estudaram a prática do reforço com geogrelha e geotêxtil, por meio de ensaios diversos, mas sempre com o objetivo de medir a taxa de benefício de tráfego, TBR (*traffic benefit ratio*) a partir de inserção do material sintético, determinada por:

$$TBR = \frac{N_{geo}}{N} \quad [9]$$

Onde: N_{geo} é o número de repetições do eixo padrão de 82 kN que produz um afundamento de trilha de roda já determinado no pavimento com geossintético;

N é o número de repetições do eixo padrão de 82 kN que produz um afundamento de trilha de roda já determinado no pavimento sem geossintético.

Geralmente o afundamento de trilha de roda é fixado entre 2,0 e 2,5 cm para indicar a falha ou “ruptura” da estrutura do pavimento [9].

O progresso da aplicação dos geossintéticos no Brasil nos anos passados e no início desse novo século dá-se dos investimentos nos estudos e novas pesquisas que vem evoluindo progressivamente. A partir de então, diversos pesquisadores debruçaram-se a estudar a aplicação do material geossintético em obras geotécnicas. Foram estudados dez trabalhos (desde artigos, dissertação de mestrado e teses de doutorado) de escala nacional e internacional com foco na aplicação desse tipo de material somente em obras rodoviárias, os quais estão dispostos no Quadro 7.

Quadro 7. Quadro resumo da pesquisa.

Geossintético	Aplicação	Autoria	Ano
Geogrelha	Reforço	LENG, J. and GABR, M. A	2002
Geogrelha	Reforço	HUFERNUS, R., <i>et al.</i>	2006
Geogrelha e Geotêxtil	Reforço	SARAIVA, S. L. C.	2006
Geogrelha e Geotêxtil	Reforço	FERREIRA, A. Z.	2007
Geogrelha e Geotêxtil	Reforço	ANTUNES, L. G. S.	2008
Geogrelha	Reforço	KAKUDA, F. M.	2010
Geogrelha e Geotêxtil	Reflexão de trinca e reforço	OBANDO, J. R. A.	2012
Geogrelha e Geotêxtil	Reforço	OLIVEIRA, L. A.	2013
Geogrelha	Reforço	GÓNGORA, I. A. M. G.	2015
Geogrelha	Reforço	BASTOS, G. A. <i>et al.</i>	2015

Desse modo, é possível concluir que a linha de pensamento segue a mesma do histórico citado no Manual Brasileiro de Geossintéticos, tendo apenas o desenvolvimento de novos materiais geossintéticos e o suporte de novos ensaios, deixando os resultados mais aprimorados para esses últimos 20 anos. A utilização de geossintéticos em obras da Engenharia Civil e geotécnicas vem aumentando progressivamente devido a sua versatilidade, podendo ser empregue em diversas funções. O presente trabalho abordou a utilização de geossintéticos como elemento de reforço de base de pavimentos, onde diversos fatores estão envolvidos para atingir o real benefício.

A partir dos trabalhos estudados foi visto que a aplicação desse tipo de material é mais significativa quando utilizado sob camadas finas em subleito de solo mole, devido as solicitações de tensão de tração. Deu-se importância também a restauração na superfície do pavimento visto que interfere diretamente no desempenho final da estrutura. A partir de ensaio de arrancamento de pequeno porte, pode-se concluir que a interação solo-reforço é de maior relevância que a rigidez não-confinada do geossintético no comportamento do material em situação de confinamento, bem como as características dos materiais empregadas nos ensaios, onde a geometria e o tipo de material influenciam diretamente nos resultados dos ensaios.

Assim, percebe-se que o uso de materiais geossintéticos como reforço de base de obras rodoviárias, independente do seu posicionamento dentro da estrutura, ou até mesmo, que tipo de material for empregado, proporciona aumento na resistência do conjunto, devido a redução das deformações permanentes; aumento da vida útil da estrutura; redução das espessuras das camadas, interferindo diretamente na economia para a execução da obra rodoviária; bem como a redução dos recalques diferenciais nas rodovias devido ao aumento da capacidade de carga.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

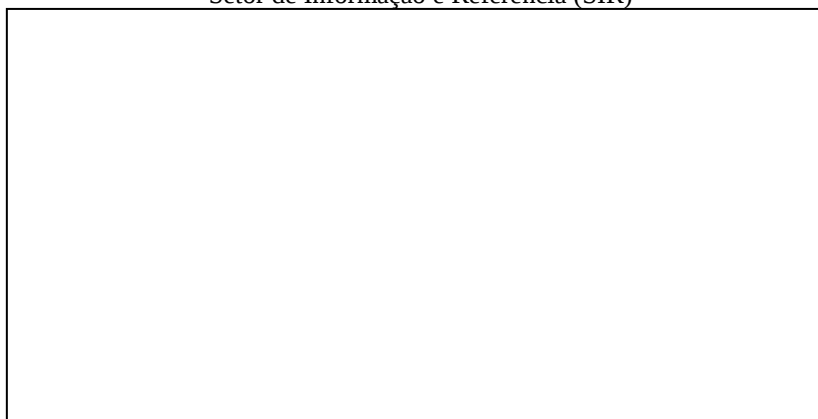
- [1] CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. Boletim estatístico abril 2015. Disponível em: < http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=3>. Acesso 25 jan. 2019.
- [2] GÓNGORA, I.A.G.; PALMEIRA, E.M. Influence of fill and geogrid characteristics on the performance of unpaved roads on weak subgrades. *Geosynthetics International*, St. Paul, v.19, n.2, 2012.
- [3] COSTA, C. M. L. et al. Avaliação de recomendações normativas sobre o uso de ensaios no controle de qualidade de fabricação de geossintéticos. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, São Carlos, São Paulo, 2008.
- [4] PERKINS, S. Mechanical response of geosynthetic-reinforced flexible pavements. *Geosynthetics*

International, St. Paul, 1999.

- [5] PALMEIRA, E.M.; ANTUNES, L.G.S. Large Scale Tests on Geosynthetic Reinforced Unpaved Roads Subjected to Surface Maintenance. Geotextiles and Geomembranes, 2010.
- [6] HAN, J.; ZHANG, Y.; PARSONS, R.L. Quantifying the Influence of Geosynthetics on Performance of Reinforced Granular Bases in Laboratory. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA, 2011.
- [7] IGS - Associação Brasileira de Geossintéticos. Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/os-geossinteticos>>. Acesso 27 jan. 2019.
- [8] ANTUNES, L. G. S. Reforço de Pavimentos Rodoviários com Geossintéticos. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- [9] VERTEMATTI, J. C., Manual Brasileiro de Geossintéticos. ABINT Editora Edgard Blucher. 2004.
- [10] PALMEIRA, E. M. (1993). Curso de Estabilização e Reforço de solos: Introdução à Utilização de Geossintéticos. Publicação G. AP-002B/93. Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Brasília. 60p.
- [11] MORACI, N. & MONTANELLI, F. (1996). Short and long term behaviour of geogrids under static and cyclic load. Proceedings of the Internacional Symposium on Earth Reinforcement, Volume 1, Japan, 1996. pp. 117-122.
- [12] SOUZA, A. L. S. O. O uso de Geossintéticos como reforço de base de pavimentos rodoviários. Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2017.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10319: Geossintéticos – Ensaio de Tração Faixa Larga. Rio de Janeiro, 2013.
- [14] ZORNBERG, J. G. Geosynthetic-reinforced Pavemet Systems. Fifth European Geosynthetic Conference, Valencia, 2012.
- [15] LENG, J. and GABR, M. A. Characteristic of geogrid-reinforced aggregate under cyclic load. TRR 1786, Transportation Research Board, 2002.
- [16] HUFERNUS, R., *et al.* Full-Scale Field Tests on Geosynthetic Reinforced Unpaved Roads on Soft Subgrade. Geotextiles and Geomembranes 24, pag. 21-37, 2006.
- [17] SARAIVA, S. L. C. Metodologia e Análise Experimental do Comportamento Geotécnico da Estrutura de Pavimentos Rodoviários. 123f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG, 2006.
- [18] FERREIRA, A. Z. Estudo de reforço de pavimentos com ensaio de arracamento em equipamentos de pequenas dimensões. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- [19] KAKUDA, F. M. Desenvolvimento e Utilização de um Equipamento de Grandes Dimensões na Análise do Comportamento Mecânico de uma Seção de Pavimento Sob Carregamento Cíclico. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- [20] OBANDO, J. R. A. Uso de Geossintéticos Como Reforço de Revestimentos em Pavimentação. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-212/12, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.
- [21] OLIVEIRA, L. A. Uso de Geossintéticos Como Reforço em Estradas Não Pavimentada. Dissertação de Mestrado, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Estadual de Goiás, 2013.
- [22] GÓNGORA, I. A. M. G. Estradas não Pavimentadas Reforçadas com Geossintéticos: Influência de Propriedades Físicas e Mecânicas do Reforço. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-105/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.
- [23] BASTOS, G. A. *et al.* Ensaio de Tração em Disco Circular em Misturas Asfálticas Reforçadas com Geogrelhas. Revista de Engenharia Civil IMED, ISSN 2358-6508, 2015.

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)



Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)