

Aspectos gerais do uso de Geossintéticos em reforço de pavimentos

Natália de Souza Correia

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar; São Carlos – SP

nati.scorreia@gmail.com

José Orlando Avesani Neto

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli/USP / Geo Soluções; São Paulo – SP

avesani@usp.br

RESUMO: O uso de geogrelhas é amplamente reconhecido pela melhoria das camadas de suporte de pavimentos por meio do reforço de camadas de base, sub-base e subleito e em estradas pavimentadas e não pavimentadas. No entanto, a implementação destas comprovadas tecnologias é limitada pela falta da incorporação direta destes materiais em projetos de pavimento. Há também um grande déficit de informações acerca dos métodos de projeto, dos geossintéticos e propriedades relevantes, e de informações específicas para a utilização de cada metodologia de projeto. De modo geral, os métodos de dimensionamento são praticamente baseados em métodos de projetos empíricos ou mecanístico-empíricos, com algum suporte teórico em teorias de capacidade de carga. Diante destas questões, este trabalho se propõe a levantar o atual estado da arte da aplicação de geossintéticos em reforço de vias explorando os principais tópicos de sua aplicação: mecanismos, metodologias de dimensionamento, geossintéticos empregados e propriedades relevantes para esta aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Geossintéticos, Reforço de solo, Pavimentos, Dimensionamento.

1 INTRODUÇÃO

Os geossintéticos são usados em projetos de pavimentos para resolver problemas associados a separação de materiais, filtração, drenagem, impermeabilização e reforço. Na situação de reforço, o geossintético é usualmente disposto entre as camadas de base e sub-base ou entre uma destas e o subleito, no caso de pavimentos flexíveis. Sua aplicabilidade em rodovias vai desde obras temporárias a rodovias pavimentadas e não pavimentadas.

No Brasil, o estudo de pavimentos é de grande importância visto à crescente necessidade de melhora da situação da rede rodoviária nacional. Dados da pesquisa da Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2015) mostram mais de 65% das condições superficiais dos pavimentos de rodovias no Brasil encontram-se desgastados, trincados, remendados ou apresentam-se com buracos, afundamentos, ondulações e até totalmente destruídos. Nesse aspecto, o uso de reforços geossintéticos pode auxiliar na correção destes problemas, maximizando o desempenho

do pavimento e minimizando custos.

De acordo com Holtz et al. (1998), a lista de motivações do uso de geossintéticos em pavimentos é extensa. Especificamente no caso de reforço, destacam-se: redução da escavação necessária para remoção de material inadequado de subleito (consequente redução de transporte e bota-fora), redução de espessura da base (consequente redução de transporte e processos de disposição e compactação), redução de recalques diferenciais (principalmente em contato corte/aterro), aumento da serventia do pavimento e redução de custos de reparo.

2 MECANISMOS DE REFORÇO

De acordo com diversos autores (Giroud e Noiray 1981, Giroud et al. 1984, Perkins e Ismeik 1997 e Holtz et al. 1998), a melhora fornecida pelo reforço no desempenho de pavimentos é atribuída a três mecanismos chave (Figura 1): restrição lateral dos deslocamentos, melhora na capacidade de carga e efeito membrana.

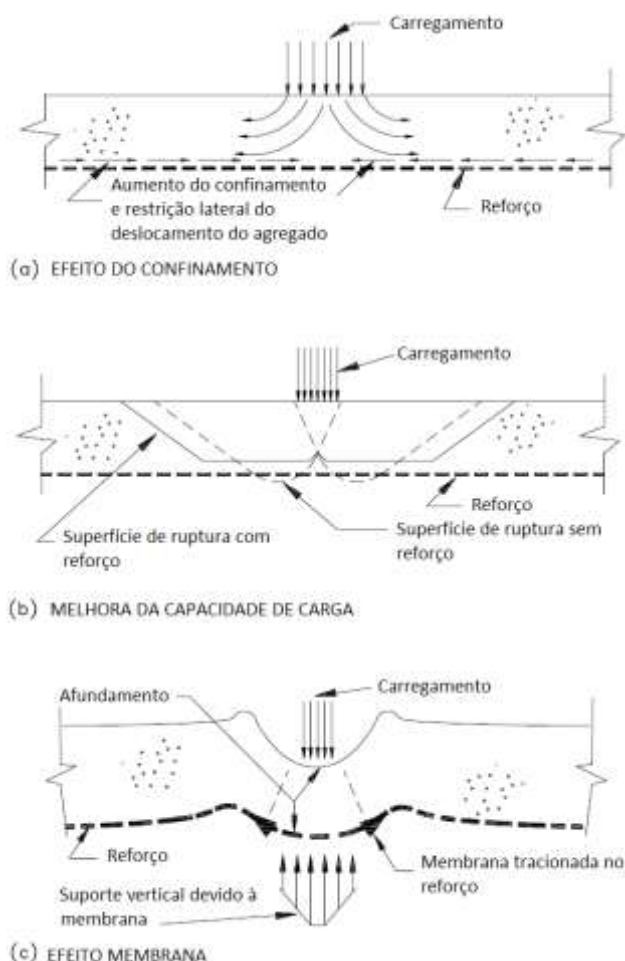


Figura 1. Ilustração esquemática dos mecanismos de reforço (adaptado de Haliburton, et al. 1981)

2.1 Efeito do Confinamento

Zornberg (2011) cita que o mecanismo primário do reforço associado ao pavimento é o efeito do confinamento. Este efeito pode ser traduzido como uma restrição lateral do agregado da base quando esse é submetido aos carregamentos da superfície.

A carga da roda dos veículos gera uma transferência de carregamentos para a base granular do pavimento, em componentes verticais e horizontais (Figura 1a). As componentes horizontais tendem a solicitar a porção inferior da base com tensões de tração, e como o solo não resiste a este tipo de carregamento, esta camada sofre deslocamentos horizontais, gerando e propagando trincas até a superfície.

No caso do uso de um geossintético de reforço (elevada resistência à tração), este se contrapõe a esta solicitação restringindo os deslocamentos laterais do material granular e mantendo o seu

confinamento, o que é essencial para o seu adequado funcionamento e que, conseqüentemente, eleva a resistência ao cisalhamento do agregado.

Neste aspecto, as geogrelhas são mais eficazes do que os geotêxteis, pois não são contínuas. O seu formato de grelha, com aberturas entre as tiras longitudinais e transversais, permite uma melhor interação com o material granular usado na base e na sub-base, fornecendo um intertravamento que aumenta de forma expressiva o efeito do confinamento.

2.2 Efeito do Confinamento

A melhora na capacidade de suporte fornecida pelo geossintético ao material granular da base e sub-base é fruto da alteração da superfície de ruptura que o reforço gera. Conforme ilustrado esquematicamente na Figura 1b, a presença do reforço, que é um material de maior resistência à tração, intercepta a potencial superfície de ruptura e força o seu deslocamento para uma posição mais superficial. Esse novo plano de ruptura promove uma maior mobilização do solo, gerando uma maior capacidade de suporte para o dado carregamento. Outro efeito deste deslocamento da potencial superfície de ruptura para mais próximo da superfície é a redução da solicitação na fundação, influenciando também no aumento da capacidade de suporte (Holtz et al. 1998). Por fim, a presença do reforço muda o modo de ruptura da fundação da situação de punção para uma ruptura geral.

2.3 Efeito Membrana

Os reforços geossintéticos planares (como os geotêxteis e geogrelhas) podem, sob carregamento vertical perpendicular ao seu plano, assumir um formato de membrana tensionada que resiste, por meio da sua resistência à tração, ao carregamento perpendicular (Fig. 1c). Nessa situação, o reforço fornece uma reação ao esforço sustentando o carregamento imposto.

Para a ocorrência do efeito membrana há a necessidade de indução de deslocamento vertical de forma a possibilitar a solicitação na membrana tensionada, que responderá gerando um formato côncavo ativando a resistência à

tração do seu material. Como resultado, há o suporte do carregamento vertical e redução das tensões propagadas para a fundação.

A desvantagem deste efeito em relação aos outros é que deformações significativas para aplicações em pavimentos devem ocorrer de forma a ativar o efeito, mesmo para reforços mais rígidos. De acordo com Barksdale et al. (1989), para este mecanismo ser significativo no reforço, há um consenso de que o subleito deve ter um Índice Suporte Califórnia (ou CBR) inferior a 4.

2.4 Acerca da aplicabilidade dos Mecanismos

Os três mecanismos supracitados dependem de diferentes magnitudes de deformações para serem mobilizados. Nas primeiras aplicações de geossintéticos em reforço de base e subleito, o foco era dado para vias não pavimentadas, nas quais elevados valores de deformações (afundamentos de roda na ordem de 5 a 10 cm) podiam ser tolerados. Nesses casos, a consideração dos efeitos membrana e da melhora da capacidade de carga podiam ser implementadas. No entanto, para vias pavimentadas, essa ordem de grandeza de deformações não é aceitável, fazendo que esses mecanismos sejam desconsiderados e tornando o efeito do confinamento o principal mecanismo de funcionamento do reforço para esse tipo de aplicação.

3 METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO COM REFORÇOS GEOSSINTÉTICOS

A filosofia para metodologias de dimensionamento de pavimentos flexíveis foi iniciada pelos romanos, evoluindo para abordagens puramente empíricas ou mecanístico-empíricas (M-E), que vem sendo utilizadas dos projetos atuais.

De forma geral, estas abordagens envolvem o fornecimento de uma camada protetora sobre o subleito, de forma a melhorar a vida de serviço do pavimento sob condições de tráfego e ambientais. De forma a incorporar o uso de reforços geossintéticos em metodologias de dimensionamento de rodovias pavimentadas e não pavimentadas, diversas abordagens vêm

sendo realizadas desde o final da década de 80 (Zornberg, 2011). As principais metodologias de dimensionamento de pavimentos com reforços geossintéticos serão apresentadas a seguir.

3.1 Método proposto por Milligan et al. (1989)

O método proposto por Milligan et al. (1989) utilizado para rodovias temporárias é baseado no equilíbrio plástico entre a camada de base granular e o subleito sob carregamento estático, e parte do princípio de que o carregamento de tráfego transmite para o subleito tanto tensões normais quanto tensões cisalhantes. Assim, com a inclusão da geogrelha, todo o esforço cisalhante é absorvido pelo reforço, e apenas tensões verticais são transmitidas ao subleito, permitindo que a capacidade de carga total do subleito seja mobilizada. A formulação da proposta calcula a pressão vertical admissível utilizando a equação:

$$p = (2 + \pi) \cdot Su \cdot \left(\frac{B'}{B} \right) \quad (1)$$

onde: p é a pressão vertical admissível, Su é a resistência ao cisalhamento, B é a largura da área sobre a qual a tensão atua na superfície e B' é a largura da área sobre a qual a tensão atua no subleito devido ao espraçamento.

Através do equilíbrio de esforços horizontais atuantes na camada, calcula-se a tensão de cisalhamento (τ_r) requerida na base da mesma, utilizando a equação:

$$\tau_r \cdot B' = \frac{(K_a - K_p)}{2} \cdot \gamma \cdot D^2 + \frac{K_a \cdot p \cdot B}{\tan \beta} \cdot \ln \left(\frac{B'}{B} \right) - p \cdot B \cdot \tan \delta \quad (2)$$

sendo: K_a o coeficiente de empuxo ativo, K_p o coeficiente de empuxo passivo, γ o peso específico do material, D a espessura da camada, β o ângulo do espraçamento e δ o ângulo de atrito mobilizado entre a base da área do carregamento e o aterro.

Pelo fato deste método fundamentar-se na ideia de que o reforço geossintético irá suportar as tensões de cisalhamento, o esforço de tração na geogrelha (T_{ref}) deverá ser igual a tensão de cisalhamento requerida (τ_r).

3.2 Método de Giroud e Han (2004)

Outro método de projeto para estradas não pavimentadas reforçadas, que considera a vida de serviço da estrutura, foi desenvolvido por Giroud e Han (2004). Este método é uma evolução do método de Giroud et al. (1984) e utiliza o mesmo conceito e Giroud e Noiray (1981), baseado na capacidade de suporte com modificação para considerar o efeito membrana.

Neste método, a vida de serviço do pavimento é definida quando a ruptura excede o máximo afundamento de roda permitido, usualmente 75 mm. Já que a maioria dos afundamentos plásticos vem de deformações no subleito, a abordagem do projeto é primordialmente focada na determinação da tensão efetiva vertical na interface da base com o subleito. Os autores propuseram o dimensionamento da espessura da camada de base (h), considerando-se a presença de um geossintético, de acordo com a equação:

$$h = r \cdot \frac{0,868 + (0,661 - 1,006 \cdot J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1,5} \log N}{1 + 0,204(R_E - 1)} \cdot \left(\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi \cdot r^2}}{\left(\frac{s}{f_s}\right) \left[1 - 0,9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right] N_C \cdot f_C \cdot CBR_{Sub}}} \right) \quad (3)$$

onde: h é a espessura da base granular requerida (m), J é o módulo de estabilidade de abertura da geogrelha (ou resistência torcional da junção) (m-N/grau), N é o número de repetições do eixo padrão (AASHTO), P é a carga de roda (KN), r é o raio da área de contato da roda equivalente (m), $R_E = 3,48 \cdot CBR_{Base}^{0,3} / CBR_{Sub}$, s é a profundidade máxima permitida para o afundamento plástico, f_s é um fator igual a 75 mm, N_C é o fator de capacidade de carga (3,14 sem reforço, 5,14 para geotêxtil e 5,71 para geogrelhas), f_C é o fator que relaciona CBR_{Sub} a coesão não drenada, $c_u = 4,3$ psi (30 kPa).

As principais limitações do método de Giroud e Han (2004) são: afundamentos entre 50 e 100 mm, CBR_{Sub} menor do que 5, R_E máximo 5, fatores N_C fixados e mínima espessura da base de 100 mm.

Estes métodos, apesar de serem baseados em carregamento estático, sugerem que se utilize a relação de uma carga estática e um carregamento cíclico, proposto por De Groot et al. (1986).

3.3 Método adaptado da AASHTO (1993)

O método para dimensionamento de pavimentos flexíveis mais utilizados nos Estados Unidos segue o guia da American Association of State Highway and Transportation Officials (1993), bem como recomendações normativas AASHTO PP-46-01 (2005) e adaptações regionais.

O método da AASHTO (1993) utiliza equações empíricas desenvolvidas a partir de resultados de monitoramento de tráfego em uma pista experimental da AASHTO Road Test em Ottawa, Illinois, no início dos anos 60. Este experimento se destacou por estabelecer uma correlação entre a opinião subjetiva dos usuários e a mensuração objetiva de determinados defeitos nos pavimentos. O modo de avaliação da condição de ruptura consiste na aferição de serventia do pavimento.

O método considera o pavimento como um sistema elástico multicamadas com um número estrutural (SN), que reflete a espessura total do pavimento e sua resiliência à carga do tráfego repetido. SN é determinado usando a equação:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{p_0^{-1,5}}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (4)$$

onde: W_{18} : é o número de solicitações do eixo padrão de 18000 lbs ou número N, p_0 é a serventia inicial, ΔPSI é a perda de serventia (p) durante o período projetado, M_R é o módulo de resiliência da camada inferior à avaliada, (em psi), S_0 é a variável que combina erros de previsão de desempenho, Z_r é o desvio padrão normal em relação a confiança do projeto.

Uma vez que o SN global é determinado, a espessura das camadas individuais pode ser determinada através de uma série de iterações, usando a equação:

$$SN = (\alpha \cdot d)_{HMA} + (\alpha \cdot d \cdot m)_{Base} + (\alpha \cdot d \cdot m)_{Sub} \quad (5)$$

onde: α = coeficientes estruturais das camadas, d é espessura da camada (polegadas) e m é o coeficiente de drenagem da base e sub-base.

Abordagens de projeto para pavimentos flexíveis reforçados focaram em adaptar essa equação de modo a refletir o benefício alcançado pela adição do geossintético no comportamento do pavimento. Estas melhorias são medidas em campo ou laboratório em termos de indicador de benefício de tráfego (TBR) ou redução da espessura da camada de base (ou BCR).

O TBR é definido como razão entre o número de ciclos em uma seção reforçada (N_R) para alcançar um dado afundamento plástico, e o número de ciclos em uma seção não reforçada (N) para alcançar o mesmo estado. De acordo com Shukla (2002), para geotêxteis, os valores de TBR variam entre mínimo 1,5 e 10 e para geogrelhas entre 2,0 e 70.

Para aplicação na formulação da AASHTO (1993), substitui-se W_{18} pelo valor $W_{18 \text{ REF}}$ da seguinte forma:

$$W_{18 \text{ REF}} = \text{TBR} \times W_{18} \quad (6)$$

Assim, a formulação adaptada é:

$$\log_{10} \left(\frac{W_{18 \text{ REF}}}{\text{TBR}} \right) = Z_r \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10} (SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{p_0 - 1,5} \right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} (M_R) - 8,07 \quad (7)$$

Já o BCR é definido como uma redução percentual da espessura da camada de base devido à adição de um reforço em relação à espessura do pavimento sem reforço, de forma a alcançar uma dada condição de serviço. Essa redução percentual (BCR) é aplicada na equação 5. Assim, a espessura de base (d_{Base}) reduzida é:

$$d_{\text{Base}} = \frac{SN - (\alpha \cdot d)_{\text{HMA}} - (\alpha \cdot d \cdot m)_{\text{Subleito}}}{\text{BCR} \cdot (d \cdot m)_{\text{Base}}} \quad (8)$$

onde: SN é o número estrutural global para um pavimento sem reforço.

De acordo com dados da literatura, o valor de BCR varia entre 20 a 40%, com maior porcentagem de redução para subleitos de boa qualidade (Zornberg, 2011).

A concepção do método da AASHTO é de natureza empírica e não considera diretamente a mecânica da estrutura dos pavimentos, os efeitos climáticos ou mudanças nas cargas de tráfego, sobre a vida de serviço dos pavimentos.

A extensão desta metodologia de projeto para pavimentos reforçados com geossintéticos com uso de TBR ou BCR é ainda limitada à estudos de casos com produtos específicos e condições de ensaio em que estes foram calibrados. Assim, esta abordagem é de fraca generalidade, já que experiências de campo sob condições específicas não podem ser diretamente transferidas de um local para outro.

3.4 Métodos Mecânico-empíricos (M-E)

O uso de métodos mecânico-empíricos em projetos de pavimento apresenta-se como mais promissor nessa área, oficialmente implementado pela AASHTO (2008) e NCHRP (2008). Apesar das propriedades do reforço geossintético e interface ainda não estarem bem definidas e oficialmente incluídas nestas metodologias, diversas pesquisas e abordagens vem sendo realizadas para ampliar a quantificação destes benefícios em projetos M-E (Perkins et al. 2005, Kwon et al. 2005 e Al-Qadi et al. 2008).

O método M-E utiliza princípios mecanicistas e dados de entrada detalhados para minimizar a dependência dos projetos em observações empíricas e correlações específicas. São exigidos parâmetros de entrada sobre camadas do pavimento (tais como Poisson, M_R , módulo de elasticidade), as condições de tráfego, climáticas condições e materiais. No caso dos reforços, estes podem ser incorporados em uma camada com M_R equivalente, por exemplo. No entanto, assim como no método da AASHTO (1993), os métodos M-E também são ainda baseados em correlações quanto às propriedades dos materiais.

Mesmo apresentando benefícios, o uso de reforços geossintéticos traz uma maior complexidade ao estudo dos pavimentos pela introdução de novas variáveis (mecanismos, tipo de reforço, rigidez, resistência à tração, abertura da malha, interface e localização). Portanto, devido à incerteza em quantificar os mecanismos dos geossintéticos como reforço de pavimento,

nem a AASHTO (1993) nem a NCHRP (2008) aproximam-se da adequada incorporação dos geossintéticos no dimensionamento dos pavimentos (Zornberg, 2011).

Holtz et al. (2008) relata que a calibração de modelos de desempenho exige investimentos significativos, a fim de avançar na implementação de projetos M-E com aplicações de reforço geossintéticos.

3.5 Informações adicionais

No Brasil, o dimensionamento estrutural dos pavimentos flexíveis é usualmente realizado aplicando-se o método do DNER (DNIT, 2006). Neste método, dois aspectos são importantes: as deformações máximas de tração provocadas pelas cargas de tráfego não são consideradas (sendo estas responsáveis pela vida de fadiga da camada de revestimento em concreto asfáltico), e não há aspectos de serventia e desempenho do pavimento.

Na metodologia da AASHTO 1993 destaca-se uma melhor confiabilidade para o projeto, a partir da possibilidade de poder considerar a previsão de tipos específicos de defeitos, tais como os trincamentos por fadiga ou a presença de afundamentos em trilha de roda. Além disso, podem-se incluir variáveis na equação geral do método relacionadas ao benefício no pavimento trazido por uma determinada técnica.

No método do DNER não é possível inserir aspectos de desempenho durante o dimensionamento, ou seja, não é possível inserir o comportamento de uma camada reforçada com geossintético, a menos que estudos empíricos sejam realizados, possibilitando a adaptação do método para aplicações de reforços geossintéticos.

4 PROPRIEDADES RELEVANTES

As propriedades relevantes das geogrelhas e dos geotêxteis empregados em obras viárias variam em função da sua aplicação. Na sequência serão descritas essas propriedades para estas aplicações.

4.1 Reforço de base

Em aplicações de reforço de base, as propriedades relevantes dos geossintéticos são:

resistência à tração, rigidez à tração, coeficiente de interação com o solo, abertura da malha, percentagem de área aberta, estabilidade de abertura da geogrelha (ou resistência torcional da junção) e resistência à degradação ultravioleta).

Para geogrelhas, os valores sugeridos por U.S. DOT/FHWA (2008) para cada uma destas propriedades são: resistência à tração: $>12\text{kN/m}$; percentagem de área aberta: $>50\%$; rigidez torcional da junta: $>110\text{kN}$ e resistência UV após exposição de 500 horas: $>50\%$.

A resistência à tração é necessária para o reforço resistir aos carregamentos de tráfego transferidos ao pavimento. A resistência à tração obtida no dimensionamento é chamada de resistência à tração de projeto (T_d) e nela já consta a resistência que o geossintético deve ter para atender aos requisitos de longo prazo, considerando a sua perda de resistência no processo de execução da obra (danos de instalação) e ao longo de sua vida útil (degradação ambiental e UV).

A vantagem de já se trabalhar com a resistência de projeto é a possibilidade de visualizar a propriedade efetiva requerida para o produto, visto que cada material e cada fabricante possui um dado valor para os fatores de redução, gerando diferentes valores de resistência característica. Outro benefício de usar a resistência de projeto é que nela já estão consideradas outras propriedades relevantes como fluência do material e resistência a danos de instalação e degradação.

A rigidez à tração do reforço é importante para manter a sua deformabilidade, e consequentemente do solo em seu retorno, limitada. Além disso, quanto mais rígido o reforço, maior carregamento ele será capaz de absorver para uma mesma deformação imposta, sendo mais efetivo em reforçar o solo. Usualmente a rigidez à tração é especificada como secante e para 2% e/ou 5% de deformação (U.S. DOT/FHWA, 2008).

O coeficiente de interação com o solo pode ser determinado por meio de ensaios de arrancamento ou de cisalhamento direto (U.S. DOT/FHWA, 2008). Essa propriedade avalia com que eficiência as tensões impostas no solo são transmitidas para o reforço, e vice-versa. Altos valores de coeficiente de interação são

desejados ($>0,95$) de forma a ter elevada eficiência no reforço.

Para a eficiência do reforço ser elevada, outra propriedade importante é a dimensão da abertura da malha da geogrelha e a percentagem de área aberta do material. A interação solo/reforço é garantida por meio da compatibilização entre as dimensões da abertura da malha da geogrelha com o diâmetro do material cuja camada a geogrelha foi instalada.

No caso de vias pavimentadas, é usual dispor a geogrelha junto à base ou sub-base, geralmente composta por uma camada de brita graduada simples ou pelas faixas especificadas em DNIT (2006), sendo esperados materiais granulares com dimensões dentro de uma faixa de 5 mm a 50 mm. Neste caso, é importante que a abertura da malha da geogrelha tenha um valor dentro do trecho mais elevado dessa faixa para permitir o travamento dos maiores grãos (que consequentemente promoverão o travamento das outras faixas), sendo recomendado valores de 30 mm a 50 mm de abertura de malha segundo os fabricantes. Christopher (2010) recomenda que a abertura da malha possua um valor entre 12,5 mm e 75 mm, sendo que o valor da abertura deva estar dentro da faixa: $> D_{50}$ do agregado e $< 2D_{85}$ do agregado.

A rigidez torcional da junta é fundamental para garantir a estabilidade dimensional da abertura da geogrelha, que mantém o fundamental confinamento do material granular da camada de instalação da geogrelha. Essa propriedade é, inclusive, um parâmetro de entrada do método Giroud e Han (2004) anteriormente citado.

Geotêxteis tecidos também são aplicáveis como material de reforço, tendo algumas especificações indicadas em Berg, et al. 2000 e U.S. DOT/FHWA (2008).

4.2 Estabilização e reforço de subleito

Em aplicações de reforço e estabilização de subleito, as propriedades relevantes são: resistência à tração, abertura da malha, percentagem de área aberta, estabilidade de abertura da geogrelha (ou resistência torcional da junção). As considerações acerca destas propriedades são basicamente as mesmas para a aplicação de reforço de base, citada no item

anterior. No caso de geotêxteis, são também considerados resistência à tração grab, resistência à punção, ao rasgo, entre outros.

Por fim, para ambas as situações, a resistência à degradação UV é importante de forma a comprovar que o material de reforço a ser empregado possua resistência suficiente à degradação antes de sua aplicação.

5 GEOSSINTÉTICOS EMPREGADOS

Em aplicações de reforço de vias são empregados geossintéticos com função de reforço, sendo estes as geogrelhas, os geocompostos para reforço e os geotêxteis.

Conforme visto no item 3, em aplicações de reforço de vias não pavimentadas, nas quais as deformações a serem toleradas são maiores, esses três geossintéticos são possíveis de uso, podendo ser combinados com uso de geotêxteis não tecidos como elemento de separação.

As geogrelhas são os geossintéticos mais empregados em base e sub-base de pavimentos, e possuem a vantagem de uma melhor interação com os agregados, devido a sua abertura e por serem fabricadas com uma gama maior de resistência e rigidez. No entanto, como visto anteriormente, para aplicações em reforço de vias pavimentadas, com tolerância reduzida de deformações, apenas as geogrelhas biaxiais devem ser empregadas, visto que os carregamentos das rodas dos veículos aplicam uma solicitação radial no pavimento, sendo necessário reforço em ambas as direções do geossintético.

Como entre as propriedades relevantes estão a rigidez e resistência à tração e a rigidez torcional da junta, é necessário que a geogrelha seja rígida. Neste caso, é indicado o uso de geogrelhas extrudadas, que são produtos que obtêm a rigidez diretamente pelo seu processo de fabricação. As geogrelhas flexíveis podem ser utilizadas em algumas condições de reforço de base, conforme indicações de Berg et al. (2000).

Em relação aos materiais (polímeros) possíveis de serem empregados, como esta aplicação busca rigidez, são usualmente empregados os polímeros capazes de se fabricar as geogrelhas extrudadas, sendo eles: o polipropileno (PP) e o polietileno (PE) e o polietileno de alta densidade (PEAD).

O uso de geossintéticos, principalmente geogrelhas, para reforço de vias pavimentadas e não pavimentadas, tem se mostrado uma técnica de elevada eficácia na melhoria da capacidade de suporte, no aumento de sua vida útil, na possibilidade de redução de consumo de materiais mais nobres no pavimento, na redução de custos e manutenção, proporcionando curto prazo de execução.

Neste aspecto, o presente artigo fez uma revisão do estado da arte desta aplicação, explorando os principais tópicos como os mecanismos de reforço, as metodologias de dimensionamento, geossintéticos empregados e propriedades relevantes, além das principais referências bibliográficas sobre esta aplicação.

REFERÊNCIAS

- AASHTO (1993). *Design of Pavement Structures*. American Association of State Transportation and Highway Officials, Washington, D.C.
- AASHTO (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: A Manual of Practice*, American Association of State Transportation and Highway Officials, Washington, D.C.
- Al-Qadi, I.L., Dessouky, S.H., Kwon J. e Tutumluer, E. (2008). Geogrids in flexible pavements: validated mechanisms. *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2045, p. 102-109.
- Barksdale, R.D., Brown, S.F. e Chan, F. (1989). Potential benefits of geosynthetics in flexible pavement system. *National Cooperative Highway Research Program, Report No. 315*.
- Berg, R.R., Christopher, B.R. and Perkins, S.W. (2000). Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/Subbase Courses of Pavement Structures GMA White Paper II, Geosynthetic Materials Association, Roseville, MN, 176 p.
- CNT (2015). *Pesquisa CNT de rodovias 2015: relatório gerencial*, Brasília, 2015.
- Christopher, B. R. (2010). *Geogrids in roadway and pavement systems*. A Design Workshop, NAUE GmbH & Co. KG, and Global Synthetics Pty Ltd.
- De Groot, M., Janse, E., Maagdenberg, T.A.C., e Van den Berg, C. (1986). Design Method and Guidelines for Geotextile Application in Road Construction. *3rd Int. Conf. on Geotextiles*, Vol. 3, p. 741-746.
- DNIT (2006). *Manual de Pavimentação*. IPR - 719.
- Giroud, J.P. e Noiray, L. (1981). Geotextile-reinforced unpaved roads. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Vol. 107, p. 1233-1254.
- Haliburton, T. A., Lawmaster, J. D. e McGuffey, V. C. (1981). *The Use of Engineering Fabrics in Transportation Related Applications*. FHWA-DTFH-80-C-0094
- Holtz, R.D., Christopher, B.R. e Berg, R.R. (1998). *Geosynthetic design and construction guidelines*. FHWA-HI-98-038.
- Holtz, R.D., Christopher, B.R., e Berg, R.R. (2008). *Geosynthetic Design and Construction Guidelines*. FHWA-HI-07-092.
- Huang, W. (2014). Improvement evaluation of subgrade layer under geogrid-reinforced aggregate layer by finite element method. *International Journal of Civil Engineering*, 204-215.
- Kwon, J., Kim, M. e Tutumluer, E. (2005). Interface modeling for mechanistic analysis of geogrid-reinforced flexible pavements. *Geofrontiers*.
- Milligan, G.W.E., Jewell, R.A., Houlsby, G.T. e Burd, H.J. (1989). A New Approach to the Design of Unpaved Roads - Part II. *Ground Engineering*, Vol. 22, pp. 37-42.
- NCRHP (2008). *NCHRP Research Field 1-Pavements*. The National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.
- Perkins, S.W. e Ismeik, M. (1997). A Synthesis and Evaluation of Geosynthetic-reinforced Base Course Layers in Flexible Pavements: Part I Experimental Work. *Geosynthetics International*, Vol. 4, p. 549-604.
- Perkins, S.W. e Cortez, E.R. (2005). Evaluation of base-reinforced pavements using a heavy vehicle simulator. *Geosynthetic International*, Vol. 12, p. 86-98.
- Shukla, S.K. (2002). *Geosynthetics and their application*. Thomas Telford Ltd.
- U.S. DOT/FHWA (2008). *Geosynthetic Design and Construction Guidelines Reference Manual*, FHWA-NHI-07-092, 592 p.
- Zomberg, J.G. (2011). Advances in the use of geosynthetics in pavement design. *Geosynthetics India '11*, p. KN-3 – KN-21.
- Zomberg, J.G., e Gupta, R. (2010). Geosynthetics in Pavements: North American Contributions. *9th Int. Conference on Geosynthetics*, Vol. 1, p. 379-400.