

## **USO DE GEOSSINTÉTICOS EM ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL EM UM MODELO DE GRANDE DIMENSÃO**

301

## **USE OF GEOSYNTHETICS ON UNPAVED ROADS: EXPERIMENTAL EVALUATION IN A LARGE MODEL**

**PEDRO HENRIQUE COSTA NEVES**

Universidade Estadual de Goiás, Campus Central, Anápolis / GO  
perrenkiss@hotmail.com

**DIANA ROSA DOS REIS**

Universidade Estadual de Goiás, Campus Central, Anápolis / GO  
dianarosa22dr@gmail.com

**LAÍS MEDEIROS CINTRA**

Universidade Estadual de Goiás, Campus Central, Anápolis / GO  
lais.medeiросc@hotmail.com

**RAFAEL GONÇALVES FAGUNDES PEREIRA**

Universidade Estadual de Goiás, Campus Central, Anápolis / GO  
rafaelgerengcivil@gmail.com

**PAULO MÁRCIO FERNANDES VIANA**

Docente da Universidade Estadual de Goiás, Campus Central, Anápolis / GO  
paulo.viana@ueg.br

**Resumo:** As estradas não pavimentadas interligam as vias principais a regiões mais afastadas, facilitando os acessos e o escoamento da produção agrícola, influenciando significativamente na economia dos países. Porém apresentam condições inadequadas de rolamento e aderência, capacidade de carga, conforto e durabilidade. Dentre as tecnologias disponíveis para solucionar os problemas associados a performance destas estradas, está o geossintético, utilizado para estabilização do subleito e reforço da base. Este estudo tem como objetivo avaliar em escala real três tipos de geossintéticos, sendo geotêxtil tecido (GTW), geotêxtil não tecido (GTNW) e geogrelha (GG), comparando o comportamento da estrada não pavimentada com e sem estes reforços. O delineamento experimental foi blocos casualizados, em esquema fatorial com testemunha,  $3 \times 4 + 1$ , correspondendo aos três tipos de Geossintéticos (GTW, GTNW e GG), quatro profundidades de instalação dos Geossintéticos (1, 2, 3 e 4) e uma testemunha sem G (G0), totalizando 12 tratamentos + 1 testemunha, com 3 blocos para cada tratamento, totalizando 39 unidades experimentais. Os resultados mostraram que estes materiais aumentam a resistência superficial da estrada, principalmente se instalados em menores profundidades, a partir de 0,10m, influenciando na redistribuição de tensões no interior do sistema, reduzindo os recalques e aumentando a capacidade da estrada não pavimentada de suportar os carregamentos que incidem sobre ela. Verificou-se que o deslocamento é mais acentuado quanto menor for a espessura da camada de solo acima do geossintético. Concluiu-se que os geossintéticos estudados, considerando a instalação de 0,10m (instalação mais próxima do rodado) o ganho foi de 20% a 33%.

**Palavras-chave:** estradas vicinais, reforço, trilha de roda, simulador de tráfego

**Abstract:** The unpaved roads connected the main roads to more remote regions, facilitating access and the flow of agricultural production, significantly influencing the economy of the countries. However, it presents rolling and grip conditions, load capacity, comfort, and durability. Among the technologies available to solve the

problems associated with the performance of these roads, there is the geosynthetic, used to stabilize the subgrade and reinforce the base. This study aims to evaluate in real scale three types of geosynthetics, being woven geotextile (GTW), non-woven geotextile (GTNW) and geogrid (GG), comparing the behaviour of the unpaved road with and without these reinforcements. The experimental design was randomized blocks, in a factorial scheme with control,  $3 \times 4 + 1$ , corresponding to three types of Geosynthetics (GTW, GTNW and GG), four installation depths of Geosynthetics (1, 2, 3 and 4) and a control without G (G0), totalling 12 treatments + 1 control, with 3 blocks for each treatment, totalling 39 experimental units. The results showed that these materials increase the surface resistance of the road, especially if installed at lower depths, from 0,10m, influencing the redistribution of weight within the system, facilitating settlements, and increasing the ability of the unpaved road to withstand the loads that fall on it. It was found that the positioning is more accentuated the smaller the thickness of the soil layer above the geosynthetic. It was concluded that the geosynthetics studied, considering the installation of 0.10m (installation closest to the wheelset) the gain was 20% to 33%.

**Keywords:** back roads, reinforcement, wheel track, traffic simulator

## Introdução

A maior porcentagem das estradas não pavimentadas, com cerca de 60 a 80%, encontram-se em países emergentes da África, América do Sul e Oceania. Esta porcentagem diminui para cerca de 20 a 40% em países da Europa, Ásia e América do Norte (Central Intelligence Agency - CIA, 2018). Neste contexto, entende-se que uma contribuição de pesquisa neste tema é sempre bem-vinda.

As estradas não pavimentadas possuem grande importância no desenvolvimento econômico de diversos países, principalmente nas questões relacionadas a mobilidade (interligar as vias principais a regiões mais afastadas, melhorar escoamento da produção agrícola, mineral ou industrial) e a acessibilidade (MATOS *et al.*, 2019).

Pode-se definir estrada não pavimentada como um sistema formado pelo solo de fundação (subleito) e uma camada de solo compactada (base), melhorada e/ou reforçada, conforme ilustra a figura 1. Além disso, usualmente utilizam-se dispositivos de drenagem nas bordas (calhas, valetas, descidas d'água etc.) e drenos horizontais.

As estradas não pavimentadas devem apresentar condições de rolamento e aderência, capacidade de carga, conforto e durabilidade adequadas (JOAQUIM, 2017). Geralmente a performance das estradas não pavimentadas são influenciadas pelo clima, topografia, tipo de solo, tráfego e frequência de manutenção (FUKUBAYASHI *et al.*, 2016). Além disso, existem diversos fatores que podem prejudicar a durabilidade das estradas não pavimentadas tais como, a falta de manutenção devido ao elevado custo e a condições de operação sob elevados carregamento destes sistemas (SOARES *et al.*, 2019).

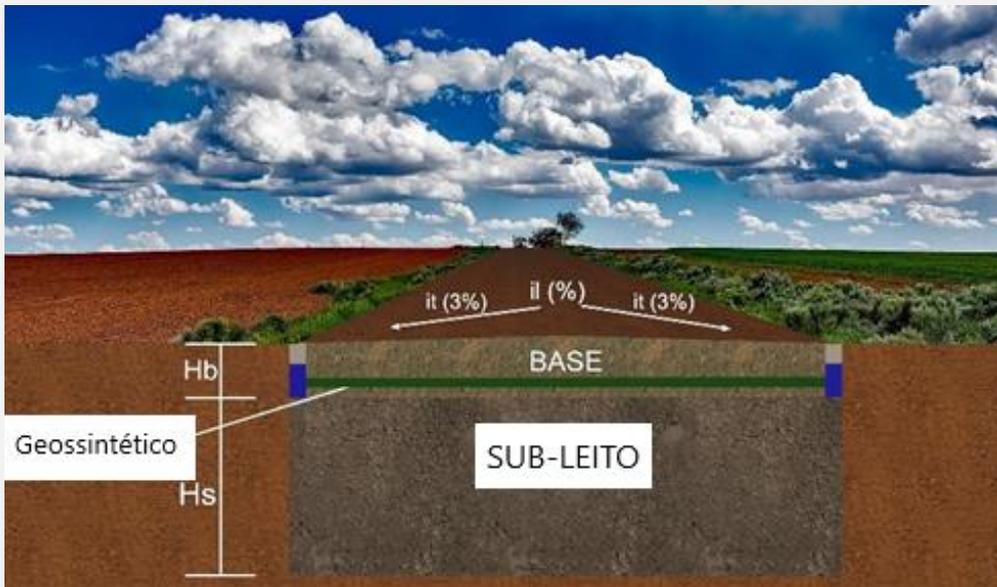


Figura 1. Sistema típico de estradas não pavimentadas.  
Autoria: Própria.

Questões referentes a compactação do solo têm importância significativa, pois modifica a estrutura física do solo, impactando diretamente a resistência superficial do sistema; a compactação pode ocorrer devido ação de pressões externas causadas pelo tráfego de máquinas e veículos (SANTOS *et al.*, 2018). Ainda, um dos principais problemas associados as estradas não pavimentadas são as trilhas de rodas, que podem ser definidas como um recalque permanente provocada pelo carregamento dinâmico do rodado (SUKU *et al.*, 2077). Geralmente, quando as trilhas de rodas geradas no sistema são superiores a 5cm, a estrada perde progressivamente o seu desempenho (TAWALARE; RAIU, 2016).

Além das trilhas de roda, é frequente a presença de solos que apresentam contração e expansão nas estradas não pavimentadas, geralmente, estes solos são lamelares ou aciculares, formados por minerais que apresentam expressiva variação de volume quando submetidos a saturação, tais como a ilita, esmectita e/ou montmorilonita. Logo percebe-se, que devido as variações climáticas entre outros fatores, os ciclos de secagem e umedecimento podem afetar significativamente o desempenho da estrada, conforme explica (DANG *et al.*, 2016).

De modo a evitar as principais manifestações patológicas associadas a drenagem, capacidade de carga, deformação, expansão e contração dos solos, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de desenvolver métodos de melhoria da performance do sistema de estradas não pavimentadas. A utilização de hidróxido de cálcio pode aumentar a capacidade

de suporte das vias, devido ao efeito aglutinante e estabilizante que atua diretamente nas partículas do solo, aumentando a sua vida útil (BATISTA; ARNS, 2019).

Outro método é a utilização de resíduos gerados na construção civil como, agregados para reforçar as estradas não pavimentadas, o que traz benefícios em relação a capacidade de carga e vida útil do pavimento (DEL REY *et al.*, 2016).

A utilização de fibra de coco também pode se mostrar viável para aumentar a capacidade de resistência das vias, porém apresenta dificuldades com relação à presença de partículas cerosas que se depositam na superfície dificultando sua interação com o solo (VIVEK; PARTI, 2019).

Ainda, a fim de aumentar a resistência do solo não reforçado e reduzir a sua deformabilidade, é recomendado a estabilização utilizando materiais como cimento, cal e pozolanas.

A utilização da mistura de solo-cimento pode beneficiar o pavimento, aumentando a rigidez da área de distribuição do carregamento, reduzindo a trilha de roda da base, a deflexão, a permeabilidade, além de fornecer resistência e durabilidade a longo prazo (PANDEY; RABBANI, 2017).

A combinação solo-cal também se mostra eficiente para reforçar estradas não pavimentadas. Esta combinação pode aumentar a resistência da base em até 40,8% quando comparada ao solo sem a cal (PEREIRA *et al.*, 2018).

Além das tecnologias apresentadas para solucionar os problemas associados a performance dos sistemas das estradas não pavimentadas, têm-se utilizado geossintéticos para estabilização do subleito e reforço da base.

Os geossintéticos mais utilizados como reforço em sistemas rodoviários são: geotêxtis- GT (tecidos e não tecidos) e Geogrelhas- GG; para controle de erosão são utilizadas Geocélulas - GL e Geocompostos - GC, com funções e aplicações variadas (ZORNBERG, 2017). Para o uso de geossintéticos como reforço, conforme explica (CALVANARO *et al.*, 2016), é de extrema importância o estudo adequado para o dimensionamento correto do reforço, logo deve-se analisar elementos, tais como, propriedades mecânicas, ângulo de espraiamento, efeitos de degradação, número de passadas, entre outros.

Quando os geossintéticos são utilizados como reforço, normalmente apresentam mecanismos potenciais de modo a restringir a movimentação lateral do solo, e aumentar a

interação por atrito, elevando o intertravamento entre o solo de aterro (base) e o geossintético (SILVA, 2018). Ainda pode-se observar que, os geossintéticos aplicados mais próximos da base apresentaram uma maior deformação lateral de até 0,13%, evidenciando que o uso de reforço pode reduzir efetivamente a deformação lateral (IMJAI *et al.*, 2019).

Em grande parte dos estudos relacionados a estradas não pavimentadas, o principal indicador que quantifica a melhoria do desempenho por inclusão do geossintético é a razão de benefício de tráfego (*TRB*) (Bandeira & Silva, 2019). De acordo com IMJAI *et al.* (2019), o indicador *TRB* é definido como a razão do número de ciclos para atingir uma certa profundidade de deformação entre o solo reforçado (*Nr*) e o não reforçado (*Nur*). Já PERKINS (2001) relata que o *TRB* indica a quantidade adicional de carga de tráfego que a estrada/pavimento pode suportar quando reforçada.

Em testes com carregamento cíclico sobre placas, verificou-se que o acréscimo do número de reforços poderia aumentar a performance do sistema, entretanto deve-se realizar avaliações do custo-benefício desta solução (ABU-FARSAKH *et al.*, 2016).

Considerando a ruptura da borda (extremidade), YANG KUO-HSIN *et al.* (2020) trabalharam com ensaios em verdadeira grandeza e avaliaram o desempenho de uma fundação reforçada de 3m de espessura em um protótipo submetido a um deslocamento de face de até 90 cm. Os autores anteriores observaram que, em comparação com a fundação não reforçada, a inclusão do reforço pôde impedir efetivamente que a ruptura de cisalhamento se propagasse. Finalmente este efeito se deve principalmente as forças de membrana, conhecido também como efeito membrana, que permitem manter ou melhorar a estabilidade sistema geossintético/solo (ZORNBERG, 2017).

Ainda, de modo a contribuir na avaliação da efetividade de reforços na redução da trilha de roda em estradas construídas sobre solos com baixa capacidade de suporte ( $ISB < 10\%$ ), apresentam-se neste artigo, estudos em verdadeira grandeza em um modelo de estradas não pavimentadas considerando a utilização de três tipos de geossintéticos em diferentes profundidades. Finalmente, procura-se verificar o valor da *TRB* para este tipo de situação, além da porcentagem de redução da trilha de roda.

## Material e Métodos

### • Protótipo da estrada

Para realizar o experimento apresentado neste trabalho, foi construída uma estrada não pavimentada em escala real composta de um subleito de areia com baixo valor de CBR = 5,1% e uma base com areia mediamente compacta CBR > 8,6%. Ainda entre o subleito e a base foi inserida uma manta de geossintético.

A estrada foi construída em uma vala com 3,50 m de largura, 14,00 m de comprimento e 1,50 m de profundidade, sendo a via de rolamento com 2,00 m de largura utilizado para estrada e o restante para a coleta dos dados (deslocamento dos G), mostrada na figura 2.

Os ensaios foram realizados na área experimental do Campus Central - sede Anápolis - CET (Ciências Exatas e Tecnológicas), da Universidade Estadual de Goiás, cuja localização geográfica é definida pelas coordenadas  $-16^{\circ} 23' S$  e  $48^{\circ} 57' W$ , com altitude média de 980 m.

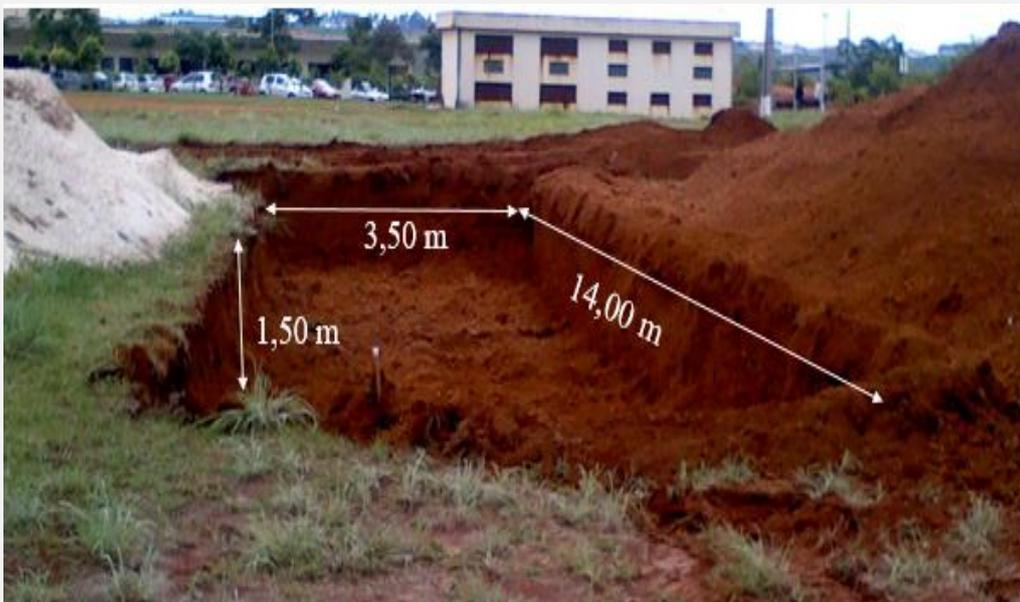


Figura 2. Imagem da vala em construção, onde foi construída a estrada protótipo.  
Autoria: Própria.

- Solo

O solo utilizado neste trabalho, tanto na base quanto no subleito da estrada protótipo foi composto por areia média. A areia foi utilizada devido à dificuldade de compactação ao se utilizar outro solo, além disto, por permitir manter uma baixa compacidade quando lançada para confecção do subleito e ainda por reproduzir uma situação homogênea no leito da estrada.

A areia utilizada é proveniente de uma jazida natural existente as margens do Rio Corumbá, no município de Abadiânia, GO. Ela foi classificada como média, com grãos arredondados, bem graduada, sem pedregulhos e baixa porcentagem de finos. Os minerais predominantes são quartzosos.

Com amostras preparadas segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT/NBR 6457 (2016) realizaram-se ensaios de granulometria (ABNT/NBR 7181, 2016), e peso específico dos sólidos (ABNT/NBR 6458, 2016). A curva granulométrica, mostrada na figura 3, apresenta a porcentagem de material que passa nas peneiras utilizadas, resultante do ensaio de granulometria. Os resultados das análises de caracterização física e mecânica do solo, realizadas no Laboratório de Mecânica dos Solos dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás, mostraram que o solo possui 22% de areia grossa, 22,0% de areia média e 56,0% de areia fina, com  $D_{60} = 0,30$  mm e  $D_{10} = 0,07$  mm resultando no coeficiente de uniformidade  $C_{NU} = 4,28$ . O peso específico dos sólidos foi  $\rho_s = 25,8$  kN.m<sup>-3</sup>.

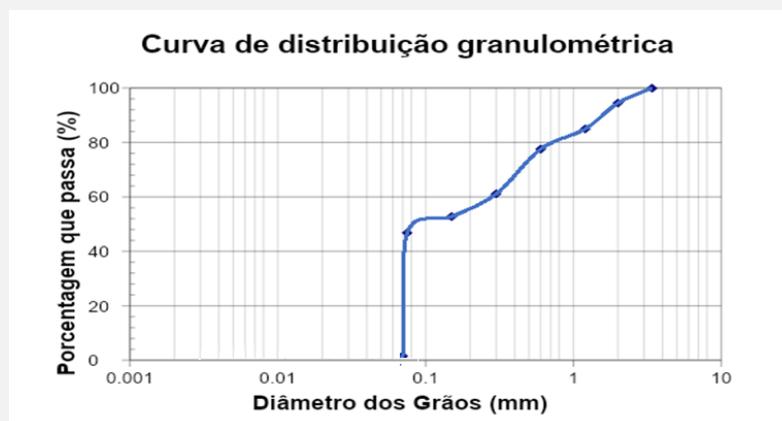


Figura 3. Distribuição granulométrica da areia utilizada.  
Autoria: Própria.

- **Geossintéticos (G)**

Foram utilizados três tipos de G: geogrelha (GG), geotêxtil tecido (GTW) e geotêxtil não tecido (GTNW) e um trecho sem o reforço dos G (SG). A tabela 1 e figura 4 mostram as características dos G utilizados no projeto.

Tabela 1. Propriedades dos geossintéticos utilizados nos ensaios

| Nome           | Tipo | Abertura (mm) | Tensão admissível (kN/m) |
|----------------|------|---------------|--------------------------|
| FORNIT J600-40 | GG   | 40            | 600                      |
| HATE 35/35     | GTW  | 0,2           | 35                       |
| HATE B40       | GTNW | 0,15          | 28                       |

Fonte: Huesker (2013).

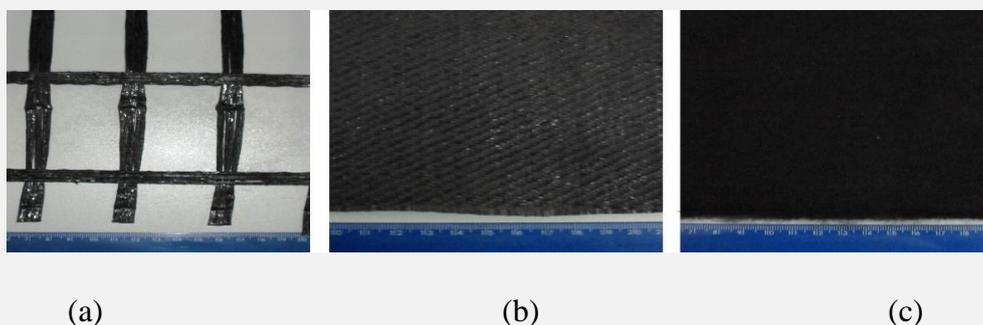


Figura 4. Geossintéticos utilizados no projeto. a) Geogrelha, b) Geotêxtil tecido, c) Geotêxtil não tecido. Autoria: Própria.

Os G foram instalados em quatro profundidades (1, 2, 3 e 4), correspondendo respectivamente a  $Z1 = 0,10$  m,  $Z2 = 0,20$  m,  $Z3 = 0,30$  m e  $Z4 = 0,40$  m. Estudos mostram que os G, quando utilizados como reforço, possuem melhor desempenho quando instalação em menores camadas de aterro [22,23,24,25]. Essas profundidades se localizam na área mais efetiva da distribuição das tensões do solo, ou seja, dentro do bulbo de tensões, demonstrado na figura 5.

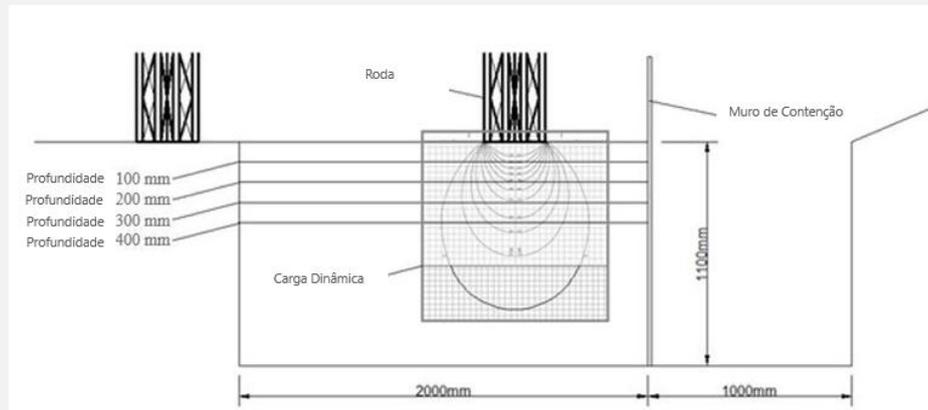


Figura 5. Esquema representando a estrada de simulação, a profundidade de instalação dos geossintéticos e o bulbo de tensão resultante da tensão aplicada pelo rodado.

Autoria: Própria.

No processo de montagem, os reforços foram ancorados no interior da base, em todos os G, onde o material foi dobrado na lateral em dois segmentos de 10 cm e os 20 cm da extremidade ficaram embutidos dentro da camada da base, conforme Antunes (2008).

• **Carregamento**

Para simulação do tráfego nos ensaios, foi utilizada uma camionete modelo F-1000, da marca Ford, motor 3.9 litros a diesel da MWM com 86,4 cv de potência e peso de 2445 kg. O peso efetivo sobre a estrada foi de 1340 kg, somando a carga atuante que foi a metade da camionete e o motorista. O pneu dianteiro e traseiro com especificações técnicas P265/70R16 111 T, modelo Radial Long Trail T/A<sup>®</sup>, da marca BFGoodrich, com pressão de inflagem de 220,63 kPa.

A influência do tráfego foi avaliada logo após as 10 passadas dos pneus do lado do motorista a 0,35 m da extremidade lateral da estrada, de tal forma que os pneus não trafegassem sobre a ancoragem dos geossintéticos.

• **Princípio metodológico para execução dos ensaios**

Foram realizados nesta pesquisa 39 ensaios considerando a distribuição da Tabela 2. Nestes ensaios foram obtidos os registros de recalque, deslocamento do G e da capacidade de

carga da fundação. Os registros de recalque foram determinados mediante utilização de um perfilômetro de barras com precisão de 0,1 cm e as medidas da bacia de recalque foram verificadas a cada 5 cm. Ainda, os deslocamentos e deformações dos G foram determinados conforme metodologia descrita por (BENJAMIM, BUENO; ZORNBERG, 2007). Finalmente, a capacidade de carga da fundação foi obtida conforme procedimento metodológico apresentado na ASTM D1194.

- **Delineamento experimental**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com testemunha,  $3 \times 4 + 1$ , correspondendo aos 3 tipos de G (geogrelha - GG, geotêxtil não-tecido - GTNW e geotêxtil tecido - GTW), as 4 profundidades de instalação (0,10m, 0,20m, 0,30m e 0,40m) e 1 testemunha (sem geossintético - G0), com 3 blocos para cada tratamento (R1, R2 e R3), totalizando 39 unidades experimentais. Ao longo do trabalho foram avaliados a resistência superficial e os recalques da estrada, e o deslocamentos dos G.

As análises estatísticas foram realizadas pelo programa ASSISTAT – Assistência Estatística (SILVA; AZEVEDO, 2009; MOAYED; NAZARI, 2011) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância e análise de regressão.

Cada parcela amostral possui as seguintes dimensões: a largura (L) de 1,60 m, e o comprimento (c) de 1,00 m, mantendo uma bordadura de 1,00 m no comprimento total (0,50 m de cada lado) e 0,40 m na largura da estrada), possuindo medidas suficientes para a coleta e realização dos ensaios. A tabela 2 ilustra a distribuição dos tratamentos nas parcelas, conforme o delineamento estatístico utilizado.

Tabela 2. Croqui demonstrativo (vista superior) com a distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais (GG1, GG2, GG3, GG4, GTNW1, GTNW2, GTNW3, GTNW4, GTW1, GTW2, GTW3, GTW4). No trecho (SG) não será instalado G.

| Parcela | Bloco 1 | Bloco 2 | Bloco 3 |
|---------|---------|---------|---------|
| 1       | GTNW4   | GTW2    | GG3     |
| 2       | GG1     | SG      | GG1     |
| 3       | GTNW3   | GTW4    | GG4     |
| 4       | GG3     | GG2     | GTNW1   |
| 5       | GTNW2   | GTW3    | GTW1    |
| 6       | SG      | GG3     | GTNW3   |
| 7       | GTW1    | GTNW3   | GTNW4   |
| 8       | GG4     | GTNW2   | GTW2    |
| 9       | GTW4    | GG1     | GTW3    |
| 10      | GG2     | GG4     | SG      |
| 11      | GTW3    | GTNW1   | GTNW2   |
| 12      | GTNW1   | GTNW4   | GTW4    |
| 13      | GTW2    | GTW1    | GG2     |

Autoria: Própria.

## Resultados e discussão

### • Ensaio de campo – estrada em escala real

A tabela 3 apresenta um resumo da análise estatística para as variáveis de resistência superficial (R<sub>Sup</sub>), deslocamento dos G (DG) e recalque da estrada (R), obtidos nos ensaios de campo.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das variáveis: resistência superficial (R<sub>Sup</sub>), recalque da estrada (R) e deslocamento dos geossintéticos (DG).

| FV                | GL <sup>(1)</sup> | Quadrado médio   |             |         |
|-------------------|-------------------|------------------|-------------|---------|
|                   |                   | R <sub>Sup</sub> | R           | DG      |
| Geossintético (G) | 2                 | 0,33826          | 373,4444*   | 0,01474 |
| Profundidade (P)  | 3                 | 1,91702          | 1285,43519* | 0,06529 |
| G x P             | 6                 | 3,61990          | 86,96296    | 0,02478 |
| Fat. x Test.      | 1 (0)             | 12,09940         | 147,79701   | -       |
| Tratamentos       | 12 (11)           | 3,35386          | 439,39744*  | 0,03400 |
| Blocos            | 2 (2)             | 13,07570*        | 1381,64103* | 0,07638 |
| Resíduo           | 24 (22)           | 3,72184          | 72,05769    | 0,09713 |
| Total             | 38 (35)           |                  |             |         |
|                   | CV (%)            | 27,07            | 10,85       | 82,79   |
|                   | Média             | 8,23670          | 82,50       | 0,78715 |

<sup>(1)</sup> Valores de GL entre parênteses referem-se ao deslocamento dos G, por não existir testemunha.

\* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Autoria: Própria.

Observa-se que o recalque da estrada sofreu alteração estatisticamente significativa, alterando tanto na profundidade quanto no tipo de G instalado na estrada, entretanto a interação entre eles não surtiu efeito no recalque. Nota-se que as outras variáveis: resistência superficial e deslocamento do G não tiveram modificações estatisticamente significativas nem nas quatro profundidades e nem nos três tipos de G analisados.

Isto pode estar associado ao efeito dos pequenos deslocamentos registrados nos reforços e na variabilidade espacial das tensões do sistema (observe o elevado valor do CV para os deslocamentos dos reforços - DG). Em especial, um outro fator que pode ter contribuído foi o confinamento do reforço, que parece ter sofrido forte influência no processo de instalação, gerando imperfeições iniciais.

#### • Resistência superficial

Os valores obtidos nos ensaios de placa são resultantes de um carregamento aplicado na superfície da estrada, conforme ilustra a figura 5. Foram realizados 4 ensaios de resistência superficial variando a profundidade de instalação dos G (GTW, GTNW e GG). Para cada profundidade, obteve-se a resistência superficial de cada parcela do experimento, considerando o recalque de 5 cm de forma a não atingir o estado limite último nos experimentos realizados na estrada protótipo), conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4. Resistência superficial variando a profundidade de instalação dos Geossintéticos (GTW, GTNW e GG) considerando recalque de 5,0 cm.

| Profundidade (m) | Tensão (kN/m <sup>2</sup> ) |      |     |     |
|------------------|-----------------------------|------|-----|-----|
|                  | GTW                         | GTNW | GG  | SG  |
| -0,10            | 300                         | 290  | 270 | 220 |
| -0,20            | 240                         | 190  | 220 | 220 |
| -0,30            | 240                         | 180  | 205 | 220 |
| -0,40            | 195                         | 200  | 220 | 220 |

Autoria: Própria.

Observa-se que a estrada reforçada com os G (GTW, GG e GTNW) instalados a 0,10m da superfície aumenta a resistência superficial consideravelmente em relação ao restante dos tratamentos. Considerando a instalação de 0,10m (instalação mais próxima do rodado) a razão de benefício foi de 20% a 33%, o que corrobora com experimentos descritos

na literatura (SOM; SAHU, 1999). Experimentos realizados com reforços de G em estradas tem resultados que indicam que o melhor desempenho quanto a resistência, foi das amostras reforçadas, em comparação com as não reforçadas (ZORNBERG, 2017). Os G desenvolvem forças no solo destinadas aumentar a sua capacidade de carga e resistência superficial e assim reduzir as deformações no solo.

De fato, quanto mais intenso a ação do carregamento sobre o reforço maior será o seu benefício e maior será a sua interação, considerando os estados limites.

- **Deslocamento dos geossintéticos**

O deslocamento lateral de um G na estrada está diretamente ligado à tensão que é mobilizada no reforço proveniente do carregamento atuante na superfície. Devido a tensão atuante nos reforços, as deformações são mobilizadas proporcionalmente à rigidez relativa solo/reforço. A figura 6 apresenta, graficamente, a média dos deslocamentos laterais em função das profundidades dos G instalados.

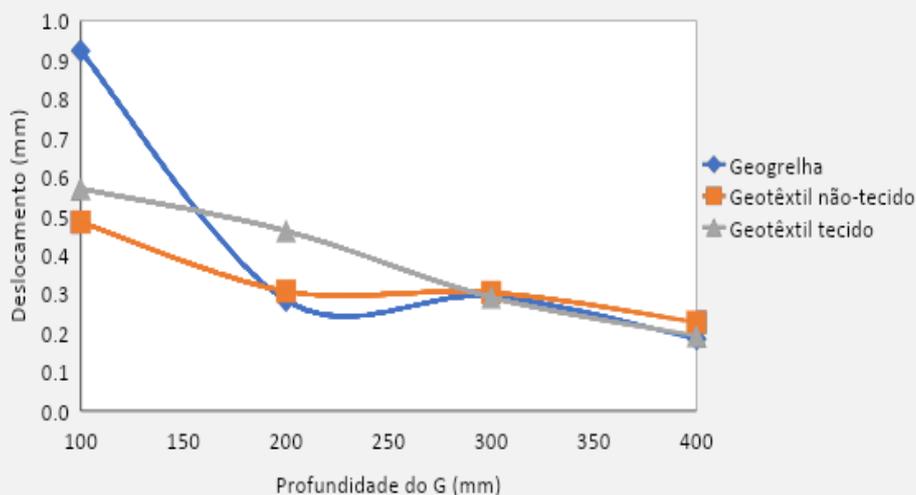


Figura 6. Média dos deslocamentos laterais dos G instalados em quatro profundidades.

Autoria: Própria

Observa-se que quanto menor a espessura da camada da fundação acima do G, maior foi o deslocamento do G, isto é, devido ao efeito do confinamento do solo sobre este. Além disso, para profundidades de reforço menores o efeito do carregamento de roda evidencia a influência deste no deslocamento lateral dos G. Nota-se que os reforços foram pouco

mobilizados, para profundidades de instalação acima de 0,10m, sendo os valores inferiores a 0,5mm. Estes resultados foram também observados no trabalho IMJAI *et al.* (2019).

- **Recalque da estrada protótipo**

O recalque foi o único fator que diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O teste de comparação de médias demonstrou que o recalque da estrada foi menor quando o G foi instalado a 0,1 m da superfície e que não houve diferença significativa entre o tipo de G instalado, conforme mostrado na tabela 5.

Tabela 5. Valores médios do recalque resultante da passagem da carga na estrada.

| Geossintético | Profundidade (m) |           |           |           |
|---------------|------------------|-----------|-----------|-----------|
|               | 0,10             | 0,20      | 0,30      | 0,40      |
| GG            | 57,33 aB         | 73,33 aAB | 81,67 aA  | 73,33 bAB |
| GTNW          | 63,33 aC         | 76,67 aBC | 90,00 aAB | 98,83 aA  |
| GTW           | 61,67 aB         | 83,33 aA  | 85,00 aA  | 88,33 abA |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 5\%$ ). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de F do agrupamento de experimentos ( $P > 5\%$ ).

Autoria: Própria.

Os valores da tabela 3 ilustram claramente o efeito benéfico quando comparados a estradas não reforçadas. Certamente a associação dos fatores: espraçamento das tensões, efeito membrana e confinamento lateral contribuíram para obtenção deste resultado. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por SUKU *et al.* (2017). Este efeito benéfico também pode estar associado a profundidade de instalação do reforço na região de maior intensidade da interação solo - geossintético, que neste caso, é a região superior do bulbo de tensões (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Como verificado na tabela 5, a redução do deslocamento proveniente da passagem da carga na estrada, registrada pelo perfilômetro, foi para os G instalados na profundidade de 0,10m. A figura 7 ilustra este fato.

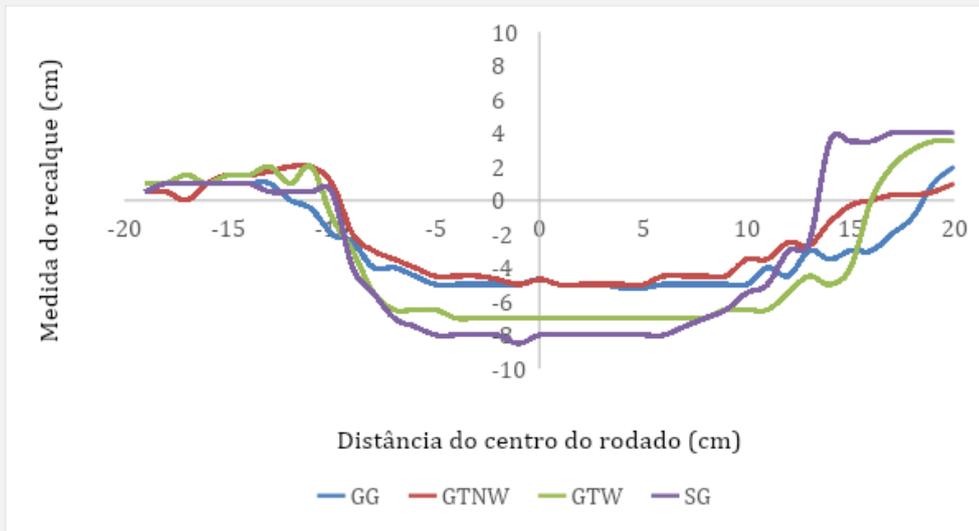


Figura 7. Perfis de recalque resultante da passagem da carga em cada tipo de geossintético instalado na profundidade de 0,10 m e sem reforço.  
Autoria: Própria.

Considerando estes resultados pode-se verificar que a inclusão do reforço, em um meio arenoso homogêneo, quando submetido a carregamentos externos, influencia na redistribuição de tensões no interior do sistema. Deste modo, pode-se verificar que as tensões mobilizadas pelo sistema reforçado são maiores do que quando não reforçados. Este efeito reduz os recalques e aumenta a capacidade da estrada não pavimentada de suportar os carregamentos gerados sobre ela. Como visto, a melhoria da robustez do sistema deve-se a atuação conjunta do confinamento lateral, espriamento das tensões e a mobilização da resistência do G, conforme pode ser comprovado.

## Conclusões

Com base na análise dos resultados pode-se concluir que:

A instalação do reforço de G melhorou de forma significativa o desempenho da estrada não pavimentada, comprovando-se por meio dos ensaios de campo realizados e pelas ilustrações dos resultados teóricos obtidos mediante as formulações aplicadas. Os métodos analíticos confirmaram os resultados dos ensaios na estrada protótipo havendo melhora significativa com uso do reforço de G. Para a instalação de 0,10m (instalação mais próxima do rodado) a razão de benefício foi de 20% a 33%.

Nos ensaios de campo, o recalque foi o único fator que diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, apresentando desempenho menor quando o G foi instalado a 0,10 m da superfície e que não houve diferença significativa entre o tipo de G instalado;

A resistência superficial da estrada foi maior com a instalação do G mais próximo do rodado. Logo pode-se concluir que quanto mais próximo da superfície estiver o reforço, melhor será o desempenho da estrada, observou-se que a geotêxtil tecido apresentou melhor resultado referente a resistência superficial.

Em relação ao deslocamento, quanto menor a espessura da camada acima do G maior é o deslocamento, assim a geogrelha mobilizou-se mais com a menor altura; nas demais alturas, o comportamento de todos os reforços não diferiu significativamente.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6457 (amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7181 (solo - análise granulométrica)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6458 (grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABU-FARSAKH, M.; HANANDEH, S.; MOHAMMAD, L.; CHEN, Q. Performance of geosynthetic reinforced/stabilized paved roads built over soft soil under cyclic plate loads. **Geotextiles and Geomembranes**, [S.l.], v. 44, n. 6, p. 845-853.

ANTUNES, L. G. S. **Reforço de pavimentos rodoviários com geossintéticos**. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D1194 (standard test method for bearing capacity of soil for static load and spread footings)**. [S.l.]: ASTM, 1994.

BANDEIRA, M. D. O.; SILVA, L. C. A. F. M. **Evolução do emprego de geossintéticos em obras rodoviárias nos últimos 20 anos**. 2019. 13 f. Trabalho Final de Curso (Bacharelado

em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, 2019.

BATISTA, M. S.; ARNS, P. **Análise para estabilização e melhoramento de solo com a utilização do aditivo Dynabase para uma estrada de terra localizada no município de Turvo / SC.** 2019. 14 f. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019.

BENJAMIM, C. V. S.; BUENO, B. S.; ZORNBERG, J. G. Field monitoring evaluation of geotextile-reinforced soil-retaining walls. **Geosynthetics Internacional**, [S.l.], v. 14, n. 2, 100-118, 2007.

CALVANARO, L. S.; PALAMARA, R.; LEONARDI, G.; MORACI, N. Unpaved road reinforced with geosynthetics. **Procedia Engineering**, [S.l.], v. 158, p. 296-301, 2016.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY - CIA. **The world factbook.** Retrieved from: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/385.html>, 2018.

DANG, L. C.; FATAHI, B.; KHABBAZ, H. Behaviour of expansive soils stabilized with hydrated lime and bagasse fibres. **Procedia Engineering**, [S.l.], v. 143, p. 658-665, 2016.

DEL REY, I.; AYUSO, J.; GALVIN, A. P.; JIMÉNEZ, J. R.; BARBUDO, A. Feasibility of using unbound mixed recycled aggregates from CDW over expansive clay subgrade in unpaved rural roads. **Materials**, v. 9, n. 11, 931-954, 2016.

FUKUBAYASHI, Y.; DAITO, Y.; KIMURA, M. (2016). Locally available geotextile for maintaining unpaved roads in developing countries to enhance community resilience. **Procedia Engineering**, [S.l.], v. 145, p. 348-355, 2016.

GÓNGORA, I. A. G. **Utilização de geossintéticos como reforço de estradas não pavimentadas: influência do tipo de reforço e do material de aterro** 2011. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

HUESKER. **Catálogo de produtos.** Retrieved from: <http://www.huesker.com/br/geossinteticos/produtos>, 2013.

IMJAI, T.; PILAKOUTAS, K.; GUADAGNINI, M. Performance of geosynthetic-reinforced flexible pavements in full-scale field trials. **Geotextiles and Geomembranes**, [S.l.], v. 47, p. 217-229, 2019.

JOAQUIM, A. G. **Estudo de dois solos tropicais melhorados com cimento ou cal para emprego em camadas superiores de estradas não pavimentadas** 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

MATOS, L. C. A.; SOUZA, G. B.; ALMEIDA, I. F.; SANTOS, N. J. (2019). Importância das estradas vicinais para a mobilidade rural em Feira de Santana (BA). In: Seminário de Iniciação Científica SEMIC, 12, 2019, Feira de Santana. *Anais...* Feira de Santana: SEMIC, 2018. 5 p.

MOAYED, R. Z.; NAZARI, M. Efeito da utilização de geossintéticos na redução da espessura necessária da camada de aterro em um solo de duas camadas. **Academia Mundial de Ciência**, Engenharia e Tecnologia, p. 73, 2011.

OLIVEIRA, L. A.; VIANA, P. M. F.; SANTOS, D. C. R.; REIS, E. F. Uso de geossintéticos como reforço em estradas não pavimentadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 546-557, 2016.

PANDEY, A.; RABBANI, A. Soil stabilization using cement. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, [S.l.], v. 8, n. 6, p. 316-322, 2017.

PEREIRA, R. S.; EMMERT, F.; MIGUEL, E. P.; GATTO, A. Soil stabilization with lime for the construction of forest roads. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 2, p. 01-08, 2018.

PERKINS, S. W. **Numerical modeling of geosynthetic reinforced flexible pavement**. Bozeman: Montana State University 2017.

SANTOS, D. C. R.; VIANA, P. M. F.; SILVA, G. C.; REIS, E. F. Simulated traffic dynamic loading on physical properties of a red latosol under no-tillage. **Journal of Agricultural Science**, [S.l.], v. 10, p. 192-198, 2018.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Principais componentes de análises no software ASSISTAT – assistência estatística. In: Congresso Mundial de Computadores na Agricultura, 7, 2009, Reno. *Anais...* Reno: Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas e Biólogos, 2009. n. p.

SILVA, T. K. **Comportamento de estrada não pavimentada reforçada com geossintético sobre subleito com bolsão compressível**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SOARES, D. L.; POLIVANOV, H.; BARROSO, E. V.; MOTTA, L. M. G.; SOUZA, C. C. Erodibilidade de solos em taludes de corte de estrada não pavimentada. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 41, n. 1, p. 179-193, 2019.

SOM, N.; SAHU, R. B. Bearing capacity of a geotextile-reinforced unpaved road as a function of deformation: A model study. **Geosynthetics International**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 01-17, 1999.

SUKU, L.; PRABHU, S. S.; BABU, G. L. S. Effect of geogrid-reinforcement in granular bases under repeated loading. **Geotextiles and Geomembranes**, [S.l.], v. 45, p. 377-389, 2017.

TAWALARE, A.; RAJU, K. V. Pavement performance index for Indian rural roads. **Perspectives in Science**, [S.l.], v. 8, p. 447-451, 2016.

VIVEK; D. R. K.; PARTI, R. Application potential of treated coir geotextiles in unpaved roads. **Journal of Natural Fibers**, [S.l.], v. 17, n. 10, p. 1454-1467, 2019.

YANG, KUO-HSIN.; CHIANG, J.; LAI, CHAO-WEI.; HAN, J.; LIN, MING-LANG. Performance of geosynthetic-reinforced soil foundations across a normal fault. **Geotextiles and Geomembranes**, [S.l.], v. 48, p. 357-373, 2019.

ZORNBERG, J. G. Functions and applications of geosynthetics in roadways. **Procedia Engineering**, [S.l.], v. 189, p. 298-306, 2017.