

## 20ª RPU – REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA

Florianópolis, SC – CentroSul - 28 a 30 de junho de 2017

### ESTUDO DE CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS REFORÇADOS COM GEOGRELHA

*Ítalo de Lima Pereira<sup>1</sup>; Francisco Heber Lacerda de Oliveira<sup>2</sup>; Marcos Fábio Porto de Aguiar<sup>3</sup>*

#### RESUMO

O pavimento rodoviário, dentre várias características, deve fornecer um meio seguro, confortável e econômico para o transporte de cargas e pessoas. Nesse contexto, realizou-se um estudo com o objetivo de descrever o comportamento mecânico das camadas de solo reforçadas com geogrelha, disposta em camadas distintas do pavimento. Nos ensaios realizados para este artigo, o solo utilizado apresenta características adequadas para camadas de sub-base. Foram realizados Ensaio de Caracterização, Limites de Atterberg, Equivalente de Areia, Compactação, Índice de Suporte Califórnia e para o solo sem reforço e reforçado com geogrelha, seguindo as normas regulamentadora para ensaio. Os elementos de reforços utilizados foram instalados em três posições distintas do corpo de prova. Os resultados obtidos do solo reforçado apresentaram comportamentos mecânicos melhores que os sem reforço, levando em conta a distribuição de tensões. As capacidades de suporte do ISC sofrem alterações que são ilustradas graficamente nas aplicações do reforço com a geogrelha, além de analisar sua influência na diminuição da expansão do material. O ISC do solo sem reforço e reforçado está correlacionado ao posicionamento da geogrelha no corpo de prova visto que o solo apresentam resultados satisfatórios devido à presença da geogrelha proporcionar maior distribuição da carga, com isso acrescentando maior suporte de carga do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geogrelha, Solo, Pavimento, Rodovia.

#### ABSTRACT

The road pavement, among several characteristics, should provide a safe, comfortable and economical way to transport loads and people. In this context, a study was carried out with the objective of describing the mechanical behavior of geogrid-reinforced soil layers, arranged in different layers of the pavement. In the tests carried out for this article, the soil used presents suitable characteristics for sub-base layers. Characterization Tests, Atterberg Limits, Sand Equivalent, Compaction, California Support Index and for unreinforced and geogrid-reinforced soil were performed, following regulatory standards for testing. The reinforcement elements used were installed in three different positions of the test piece. The results obtained from the reinforced soil showed better mechanical behavior than those without reinforcement, taking into account the stress distribution. The ISC support capabilities undergo changes that are graphically illustrated in geogrid reinforcement applications, as well as analyzing their influence on decreasing material expansion. The ISC of the soil without reinforcement and reinforced is correlated to the positioning of the geogrid in the test body since the soil presents satisfactory results due to the presence of the geogrid to give greater distribution of the load, with that adding a greater load support of the soil.

**KEYWORDS:** Geogrid, Ground, Pavement, Highway

Engenheiro Civil | Graduado pela Universidade de Fortaleza - UNIFOR. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz. CEP 60.811-905. Fortaleza. Ceará. E-mail: [italolpereira@gmail.com](mailto:italolpereira@gmail.com).

<sup>2, 3</sup> Professores Assistentes da Universidade de Fortaleza – UNIFOR e do Instituto Federal do Ceará – IFCE. Centro de Ciências Tecnológicas. Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz. CEP 60.811-905. Fortaleza. Ceará. E-mail: [heberoliveira@unifor.br](mailto:heberoliveira@unifor.br); [marcosporto@unifor.br](mailto:marcosporto@unifor.br).

Realização



Patrocinador PRATA



Apoio



Apoio Institucional



Agência de Turismo



Local



Organização



## INTRODUÇÃO

No Brasil, os pavimentos rodoviários possuem papel fundamental na econômica. O transporte nas rodovias tem sido a preferência no fluxo de pessoas e bens, com 61% de participação no transportes de cargas no geral. Grandes são os esforços para preservação das vias, tendo em vista que o modal rodoviário é de grande importância para o transporte, devido à grande flexibilidade de rota no país.

Com o aumento do fluxo de cargas no transporte rodoviário, há uma tendência natural de constante modernização e utilização de materiais, na tentativa de garantir conforto aos condutores e a segurança no tráfego de veículos. Diversos são os fatores que influenciam o conforto e a segurança, como exemplo a existência de defeitos no pavimento causados por ineficiência dos materiais e a falta de manutenção.

O presente artigo aborda aspectos relativos à utilização de geossintéticos como reforço em pavimento flexível, reconhecendo a importância de sua aplicação em posições distintas na camada a ser reforçada e o desempenho do ISC – Índice de Suporte Califórnia. O ISC é o principal dado para a implementação de camadas granulares em rodovias, valores estes exigidos por norma da ABNT.

A inclusão de materiais geossintéticos como reforço nas camadas de pavimentos rodoviários se apresenta como uma alternativa nova, frente as metodologias de construção usuais no Brasil. No entanto, o presente estudo buscará uma correlação entre a utilização da geogrelha como reforço no pavimento e o solo sem reforço, ambos os solos de propriedades para camadas de sub-base, uma vez que pode influenciar positivamente, com a inclusão, no comportamento da camada.

Os dados utilizados para o desenvolvimento desse estudo são provenientes de ensaios realizados em laboratório em jazida localizada na região metropolitana de Fortaleza, e a amostra de solo coletada. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em que descrevem os equipamentos e metodologias a serem utilizados.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em 1926, houve o primeiro reforço de pavimentação em estradas nos Estados Unidos da América, com a aplicação de geotêxteis em obras de engenharia. O geotêxtil utilizado não tinha evidentemente as propriedades existentes nos produtos que encontram-se nos mercados hoje em dia. Com a recorrência deste polímero em obras, sugeriram, entre a década de 40 e 60, técnicas de fabricação do geotêxteis (LADEIRA, 1995).

A busca por materiais que favorecessem melhorias na qualidade dos solos é uma prática comum há décadas. Nas grandes obras construídas em séculos passados já havia a preocupação em novos materiais, que proporcionassem desempenho na resistência, como na Grande Muralha da China e em várias obras do Império Romano (KOERNER, 1994).

### Geossintético

Os materiais constituintes dos geossintéticos são os polímeros. Os polímeros são macromoléculas compostas por unidades menores, monômeros, que são produzidos por polimerização. O processo de polimerização dá-se pela junção dos monômeros que formam macromoléculas constituintes. As propriedades químicas dos polímeros sintéticos são, geralmente, compostas de carbono e hidrogênio. Os polímeros mais utilizados na fabricação de geossintéticos são: Poliéster, poliamida, polietileno, poliestireno, polipropileno e copolímero de etileno com betume (MELLO et al, 2008).

De acordo com Karla (2016), os geossintéticos englobam uma diversidade de materiais poliméricos primordialmente produzidos para utilização em aplicações geotécnicas, hidráulicas, ambientais e transportes. Dentre as funções presentes do geossintético, se destacam as seguintes: separação, reforços, contenção no geral, drenagem, filtração e controle de processos erosivos. Em casos particulares, o geossintético pode desempenhar mais de uma função.

Segundo a GMA White Paper (2000), a *Federal Highway Administration* – FHWA enumera várias funções dos geossintéticos aplicado na pavimentação flexível, das quais merecem destaque as seguintes:

- Reduzir a intensidade de tensão no subleito e impedir a penetração do material à camada subjacente.
- Prevenir o bombeamento de fino nas camadas subjacentes e impedir a migração de material para superfície.
- Impedir a contaminação da camada que pode contribuir para uma granulometria mais aberta.
- Reduzir a espessura de material na escavação, a fim de retirar matéria orgânica.
- Redução da espessura do material utilizado para estabilização da camada estrutural no pavimento.
- Reduzir as tensões no subleito durante a passagem do maquinário.
- Prolongar o período de manutenção do pavimento aumentando assim a vida útil das rodovias, representado na Figura 1.

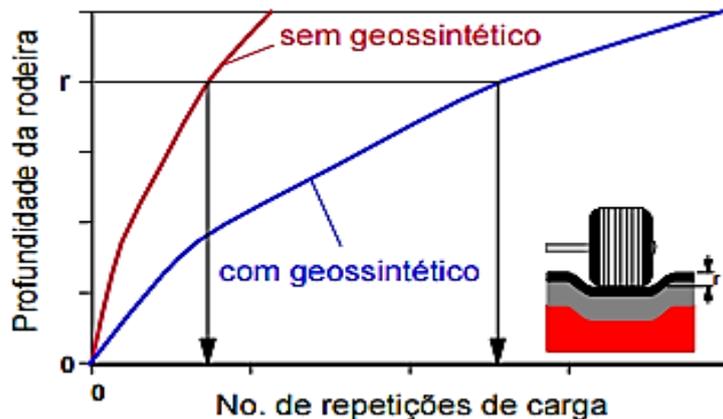


Figura 1 – Resistência ao afundamento causado pelo tráfego (BATHURST, 2013)

### Propriedades mecânicas do reforço

Segundo Wayne et al (2013), estudos realizados com geossintéticos no estado de Virgínia, nos Estados Unidos, têm sido muito utilizados como reforço do solo. O ensaio foi realizado para avaliar o desempenho de suporte mecânico da camada de pedra calcária em um subleito reforçado com geogrelha. Verifica-se na Figura 2 as sequências e espessuras das camadas, com medidores de tensão que estarão submetidos horizontalmente e verticalmente.

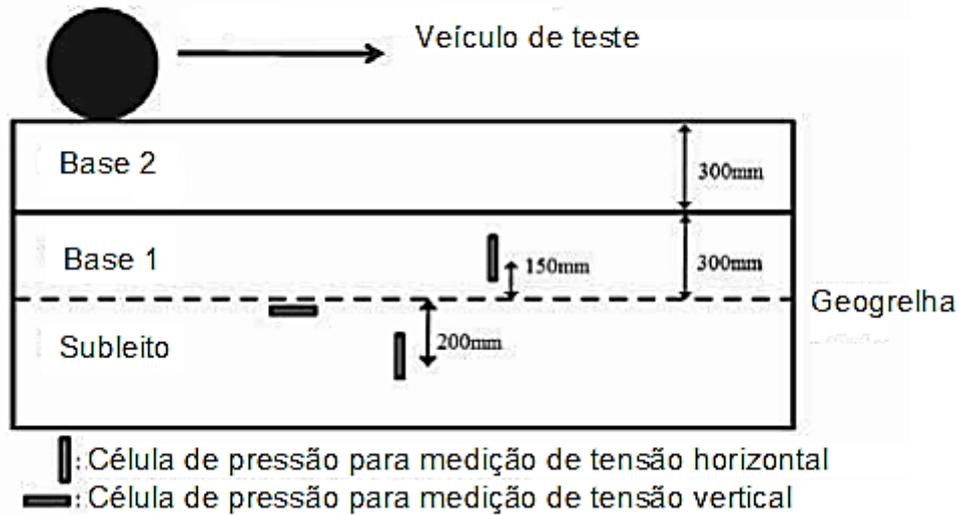


Figura 2 - Seção transversal da aplicação do instrumento (Adaptado de WAYNE et al, 2013)

O ensaio foi realizado por um caminhão Ford para simular o tráfego no trecho estabilizado com a geogrelha. O geossintético está entre a camada de subleito e sub-base em 10 metros de comprimento com 7 metros de largura determinando, assim, o limite do trecho em estudo. Os valores obtidos do ensaio estão na Figura 3 apresentando as tensões após o ciclo de carregamento na via (WAYNE et al, 2013)

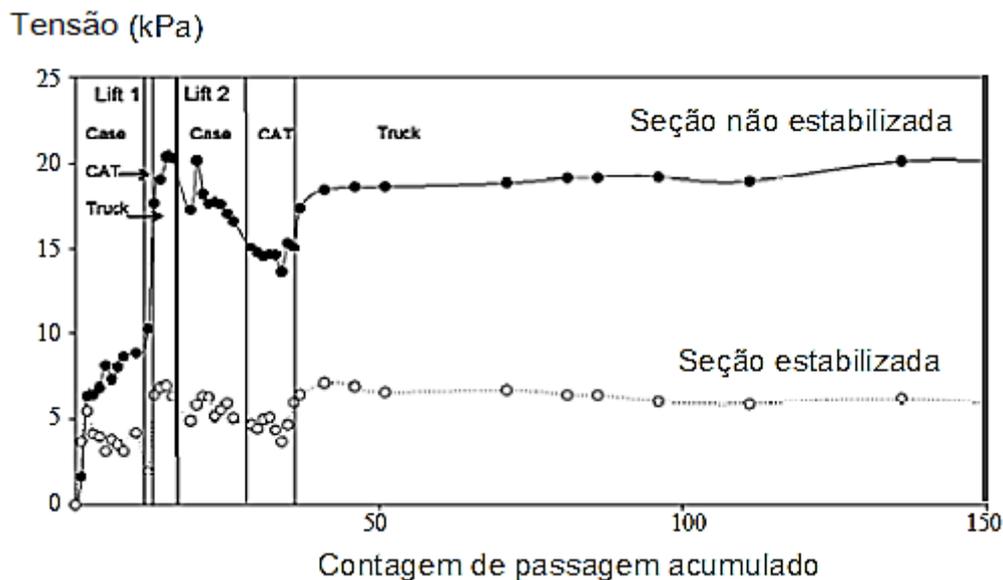


Figura 3 – Tensão horizontal dentro da camada de subleito após tráfego (Adaptado de WAYNE et al, 2013).

O comportamento na camada subjacente à geogrelha é de aproximadamente 5KPa contra 20 KPa na seção sem reforço, equivalente a 25% de diferença na tensão comparado com o trecho sem a geogrelha.

### Índice de Suporte Carlifornia

No ensaio de ISC, é medida a resistência à penetração de uma amostra saturada compactada, segundo o método de Proctor. Portanto, para esse fim, é colocado um pistão com seção transversal de 49,6 mm de diâmetro, o qual penetra na amostra a uma velocidade de 1,27 mm/mim. O ensaio é composto por três etapas: compactação do corpo de prova, dispor o corpo de prova em imersão para obtenção da curva de expansão e a medida da resistência à penetração (ABNT, 1987b).

A expaxão do solo é observada após a compactação no qual o corpo é totalmente imerso na agua por 96 horas, em que ocorre a leitura desse período a cada 24 horas.

O ensaio de ISC é realizado em uma prensa (Figura 4), conforme especificado anteriormente.

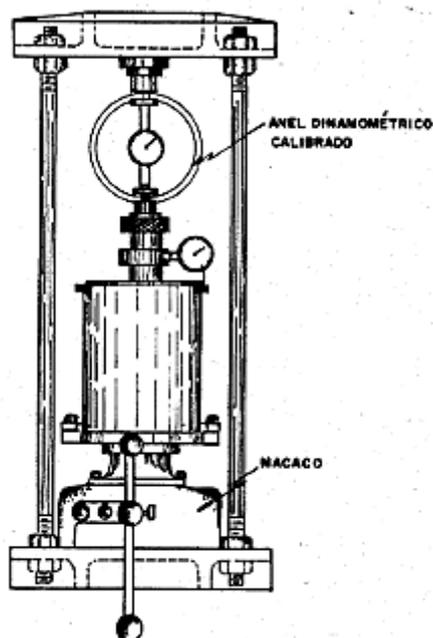


Figura 4 – Prensa para penetração (DNIT, 2014)

### Camada de sub-base

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT (2010), estabelece parametros de aceitação para os materias utilizados nas camadas do pavimento rodoviário. A Tabela 1 apresenta os principais parametos para os materiais de sub-base, conforme as especificações de serviço do DNIT, estabilizada granulometricamente.

Tabela 1 – Parâmetros de norma para materiais de sub-base (DNIT, 2010)

Parâmetros da norma	Sub-base estabilizada granulometricamente
Índice de grupo	0
ISC	≥20
Expansão	≤1
Fração retida na peneira N°10, que deve ser constituída de partículas duras e isentas de substancias prejudiciais.	Sim

## Posicionamento do reforço

Um fator de correlação de carga é calculado para seções reforçadas com geogrelha. A estimativa do pavimento reforçado é comparada com a espessura da camada de base construída entre o pavimento reforçado com geogrelha e pavimento convencional, obtendo uma estimativa linear na Figura 5 (KOERNER, 1994).

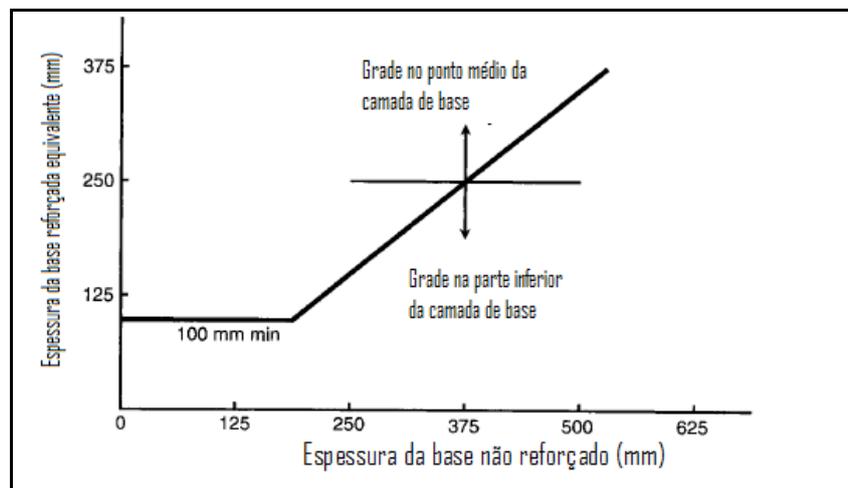


Figura 5 - Base reforçada com geogrelha para seção estrada pavimentada com geogrelhas. (Modificado de Carroll et al, 1990, *apud* por Koerner, 1994)

Em solo de base reforçada há uma tendência de menores espessura de camadas para o mesmo ISC no solo sem reforço relacionando a posição do geossintético na camada e sua influência.

## ESTUDOS DE CASO

Serão utilizados para o presente artigo, dados levantados durante ensaios realizados em laboratório na Universidade de Fortaleza- UNIFOR. O solo em estudo foi coletado na jazida localizada na região metropolitana de Fortaleza, próxima à Rodovia Anel Viário, no Bairro Pedras. O geossintético utilizado é a geogrelha WG 40S no qual é composta a partir de filamentos de poliéster de alta tenacidade e resistência a tração.

A geogrelha utilizada é a WG 40S, a qual foi disposta nos ensaios posteriores por possui as seguintes propriedades físicas e mecânicas, ilustradas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Propriedades físicas da geogrelha WG 40S (MACCAFERRI, 2014)

Propriedades Físicas	WG 40S
Abertura nominal da malha longitudinal    mm	20
Abertura nominal da malha transversal    mm	22
Massa por unidade de área                    g/m <sup>2</sup>	469
Largura do rolo                                    m	5,15
Comprimento do rolo                            m	100,0
Diâmetro do rolo                                 cm	39,0

Tabela 3 - Propriedades de resistência da geogrelha WG 40S (MACCAFERRI, 2014)

<b>Propriedades mecânicas (solicitação de tração)</b>		<b>WG 40S</b>
Resistência longitudinal última (mín.)	KN/m	40,0
Resistência transversal última (mín.)	KN/m	40,0
Alongamento na Resistência última (máx.)	%	12,0
Resistência a 2% de alongamento (mín.)	KN/m	8,0
Resistência a 5% de alongamento (mín.)	KN/m	15,0
Resistência a 6% de alongamento (mín.)	KN/m	15,0
Resistência a 7% de alongamento (mín.)	KN/m	-

### Inclusão da geogrelha

A instalação do reforço no corpo de prova se deu da seguinte forma: conhecidas as propriedades Granulométrica, Limites de Atterberg, Compactação e Índice de Suporte Califórnia do solo foram separado 6kg de amostra para ensaio. A geogrelha foi aplicado em moldes alternando a posição, entre as camadas, dentro do corpo de prova, variando a distância entre o geossintético e o pistão da presa.

Para facilitar a exposição dos resultados a Figura 6 apresenta, esquematicamente, o funcionamento da inclusão da geogrelha dentro do cilindro. As linhas tracejadas em destaque representa a geogrelha seguindo do cilindro particionado em camadas definida pela norma ABNT (1987).

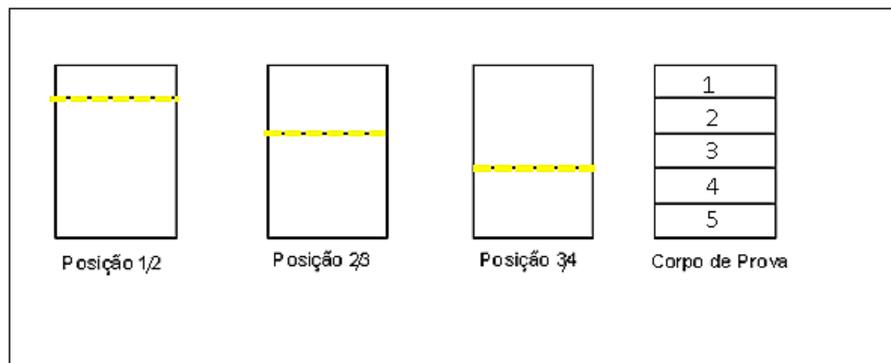


Figura 6 – Disposição da geogrelha no corpo de prova cilíndrico.

### Compactação do solo reforçado

A realização da compactação do solo reforçado é análoga para o solo sem reforço no que se refere à preparação do material, homogeneização e umidade ótima determinada. A energia de compactação executada nos ensaios são de 26 golpes (energia intermediária), realizada no solo sem reforço e reforçado com a geogrelha, simulando uma compactação de sub-base em pavimentos flexíveis.

A geogrelha foi disposta em três interfaces diferentes no molde no qual foram atribuídos números a cada posicionamento: camada superior/ inferior referente a execução ISC (1/2, 2/3 e 3/4). A Figura 7 ilustra o momento da confecção do corpo de prova.

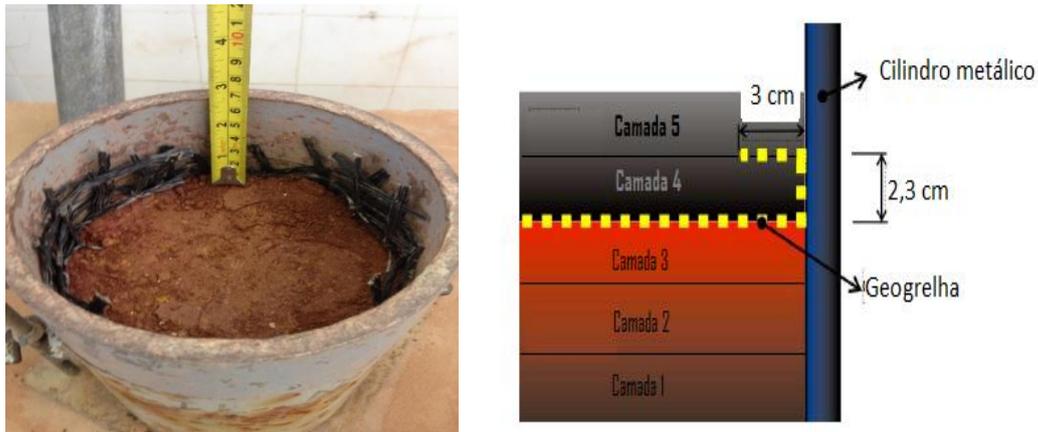


Figura 7 – Ancoragem da geogrelha da execução na posição 3/4 (adaptado de FERREIRA, 2007)

Observou-se uma maior distribuição das cargas no solo, através do reforço, com o aumento da capacidade de carga. A profundidade de aplicação do reforço é fundamental para o desempenho na camada, aumentando o valor de ISC, em relação ao solo sem reforço.

O ensaio foi realizado com o solo sem reforço (Figura 8) em que obteve um ISC de 23% e expansão de 0,27%; parâmetros que permitem a utilização na camada de sub-base de acordo com o DNIT (2010).

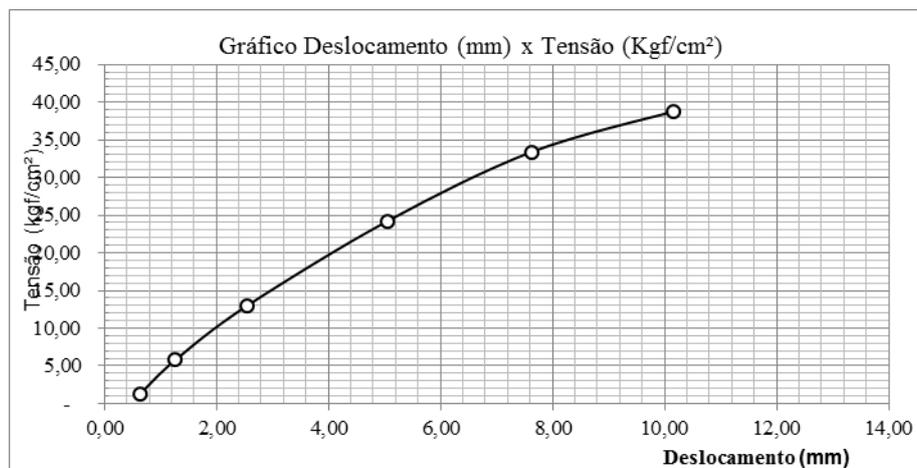


Figura 8 – Gráfico de deslocamento em função da tensão sem reforço.

As análises dos experimentos obtiveram valores de ISC em suas diversas posições. Na Figura 9, estão apresentados os ensaios do solo sem reforço (SN) e reforçado na posição 1/2 (SG 1/2), posição 2/3 (SG 2/3) e posição 3/4 (SG 3/4), os quais apresentaram uma tendência de aumento à medida que aproxima do nível superior do corpo de prova, visto que apresenta maior concentração de tensões no solo.

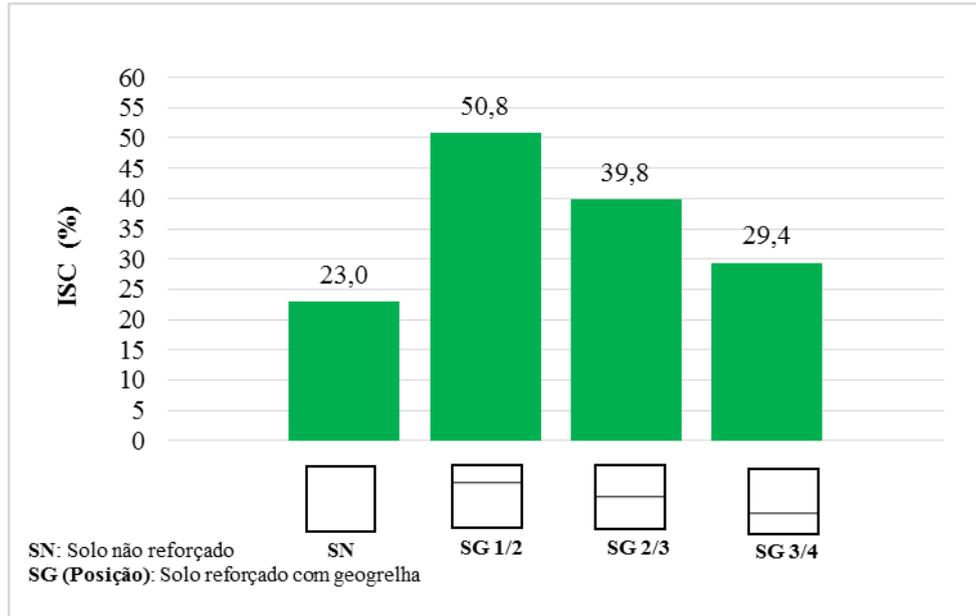


Figura 9 – Valores médios de ISC para solo reforçado com geogrelha.

O solo reforçado com a geogrelha apresentou um aumento superior ao solo sem reforço, representada percentualmente a razão de acréscimo do ISC, visto na Figura 10.

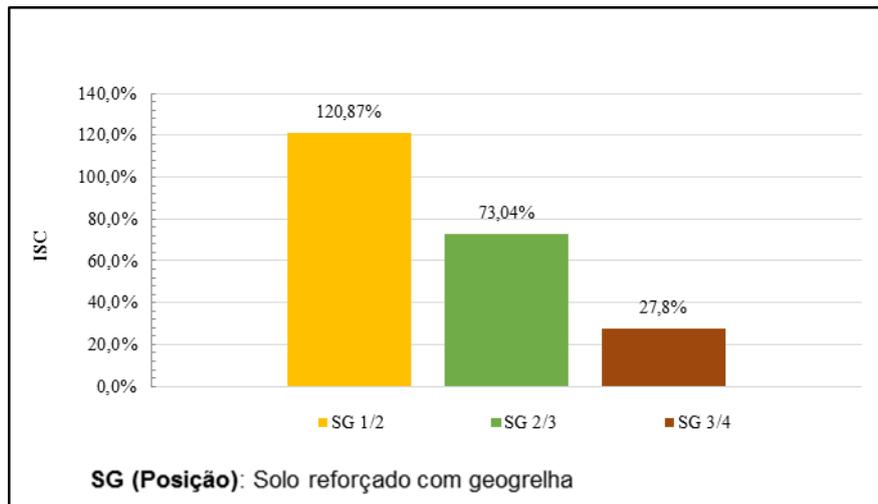


Figura 10 – Evolução percentual do solo reforçado com geogrelha nas diversas posições.

Para comprovar os resultados apresentados, deve-se analisar as curvas de deslocamentos em função da tensão. A Figura 11 mostra como as tensões progrediram com a aplicação das cargas, em três profundidades distintas. Nota-se que à medida em que o número de carregamento aumenta, a diferença entre as tensões em kgf/cm<sup>2</sup> registradas nas alturas especificadas também aumenta

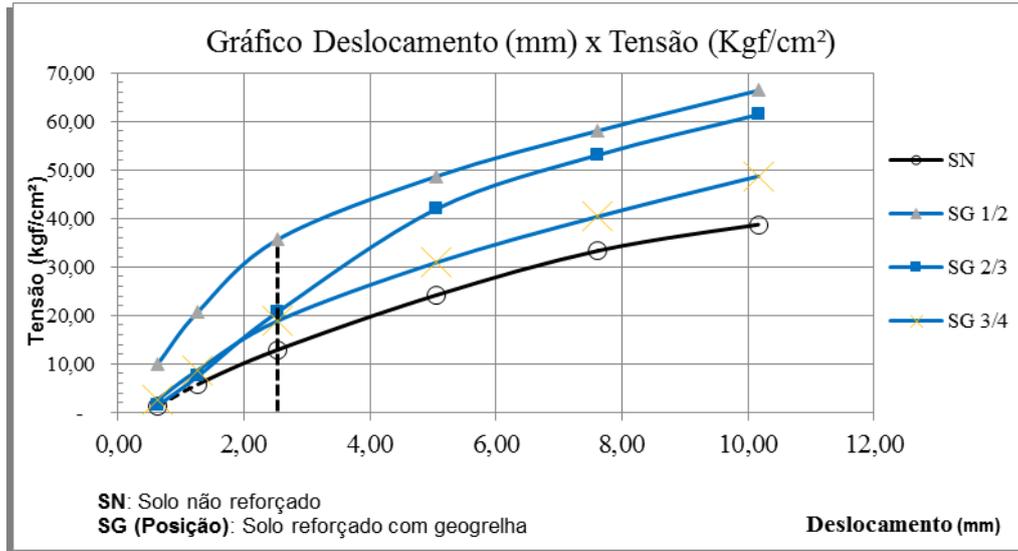


Figura 11 - Gráfico de deslocamento em função da tensão com utilização de geogrelha.

## ANÁLISE DE TENSÃO E EXPANSÃO DO SOLO

Todos os ensaios de ISC foram executados com dois corpos de prova na umidade ótima conhecida do solo com energia intermediária. Na Tabela 12 estão os valores obtidos no solo sem reforço (SN) e o solo reforçado com geogrelha (SG).

Tabela 12 - Resultados do ensaio de ISC.

Material	Energia de Compactação	Aplicação da Geogrelha	Wot média (%)	ISC na Wot média (%)	Expansão (%)
SN	P. INTERMEDIÁRIA	-	14,5	23,0	0,27
SG 1/2	P. INTERMEDIÁRIA	P. 1/2	13,3	50,8	0,25
SG 2/3	P. INTERMEDIÁRIA	P. 2/3	14,4	39,8	0,21
SG 3/4	P. INTERMEDIÁRIA	P. 3/4	14,4	29,4	0,16

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente trabalho, realizou-se ensaios com o solo de propriedade mecânicas de sub-base em que a inclusão do reforço verificou acréscimo da capacidade de suporte, através de uma metodologia de construção alternativa. A medida que o reforço sofria maiores solicitações, na realização do ISC, obteve-se melhor desempenho do solo ensaiado.

O solo sem reforço apresentou resultados consideravelmente inferiores, sob o ponto de vista da capacidade de suporte ao carregamento nos ensaios de ISC realizados, em comparação com o ensaio reforçado com geogrelha. O reforço foi disposto em três profundidades no corpo de prova, no qual reproduziram aumentos no valor de ISC.

Nos ensaios (ISC), o solo sem reforço registrou o valor de ISC igual a 23% e expansão de 0,27%, enquanto que, no melhor resultado, o solo reforçado com geogrelha atingiu 50,8% de ISC e a expansão de 0,25% na posição 1/2. Na posição 2/3 quanto na posição 3/4 o reforço atingiu um valor

de ISC igual a 39,8%, expansão de 0,21% e ISC de 29,4 com expansão de 0,16%, respectivamente.

Portanto, a geogrelha apresentou um comportamento benéfico junto ao solo, porém, isso torna um ponto inicial para maiores pesquisas no amadurecimento dessa nova metodologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas 9895. **Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro – RJ, 1987a.

BATHURST, R.J. **Funções e Classificações do Geossintéticos**. IGS (International Geosynthetic Society). Disponível em: <<http://www.geosyntheticssociety.org/Resources.aspx>>. Acesso em: 21 de fev. 2016.

DNIT. **Solos: Determinação do índice de suporte califórnia utilizando amostras não trabalhadas**. Ministério dos transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria Geral, Diretoria Executiva, Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2014.

DNIT. **Solos: Pavimentação, sub-base estabilizada granulometricamente**. Ministério dos transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Diretoria Geral, Diretoria Executiva, 2010.

FERREIRA, J. A. Z. **Estudo de reforço de pavimentos com ensaios de arrancamento em equipamento de pequenas dimensões**. 112p. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GMA WHITE PAPER. **Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/Subbase Courses of Pavement Structures**. Geosynthetic Materials Association. Prepared for AASHTO Committee 4E, 2000.

KARLA, M. International geosynthetic society: **Funções dos Geossintéticos**. Universidade de Brasília. 2016. 2p.

KOERNER, R. M. **Designing with Geosynthetics**. 3rd Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994.

LADEIRA, M.A.S.A. **Estudo dos fenômenos da interação solo-geossintético através de ensaios de arranque**. Dissertação para Mestrado em Engenharia Civil na F.E.U.P, Porto, 1995.

MACCAFERRI. Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos: **Manual Técnico**. São Paulo: Maccaferri do Brasil, 2014.

MELLO, L. G. et al. **Extension of Vidoca Avenue: Successful use of geosynthetics for retaining structure and embankment construction**, 1st Pan American Geosynthetic Conference & Exhibition, 2-5 de março de 2008, Cancun, México, 2008.

WAYNE, M., FRASER, I. REALL, B., and KWON, J. **Performance verification of geogrid mechanically stabilised layer**, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, 2013. 4 p.