



## **18ª RPU – REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA**

**São Luís, MA - 18 a 20 de junho de 2012**

### **PAVIMENTO DELGADO REFORÇADO COM GEOGRELHA, SOLUÇÃO PARA VIAS URBANAS**

*Cássio Alberto Teoro do Carmo<sup>1</sup>, Célio Antônio D'Ávilla<sup>2</sup>*

#### **RESUMO**

O pavimento é uma estrutura bastante complexa no que diz respeito ao seu dimensionamento e à previsão de seu desempenho futuro, em face de inúmeros fatores intervenientes tais como: tráfego, condições do subleito, clima, condições de drenagem, estrutura, constituição e processos executivos adotados. Atualmente, há uma crescente aplicação de geossintéticos no reforço de bases e sub-bases de pavimentos, por possibilitarem a redução da espessura das camadas ou aumento da vida útil do mesmo. Há também uma redução no tempo de execução da obra, uma melhor compactação da camada reforçada, além de um melhor controle de qualidade de todo o processo, gerando uma boa relação custo-benefício. A inclusão de parâmetros da geogrelha nos métodos de dimensionamento tradicionais permite quantificar o ganho estrutural obtido pelo uso do reforço em condições adversas do leito de assentamento da estrutura. O monitoramento e avaliação de pavimentos reforçados possibilitam o levantamento de informações acerca do comportamento estrutural e conseqüente influência do reforço na estrutura do pavimento. Este artigo apresenta o acompanhamento da execução de um pavimento reforçado com geogrelha e a análise estrutural realizada a partir de resultados de ensaios de Viga Benkelman executados antes da fase executiva e após a passagem de tráfego. Os resultados obtidos demonstram a eficiência da aplicação da geogrelha na redução da estrutura do pavimento e no comportamento da estrutura implantada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geogrelha, Geossintéticos, Pavimento, Viga Benkelman

<sup>1</sup> Huesker Ltda. Rua Romualdo Davoli, 375, São José dos Campos/SP, e-mail: cassio@huesker.com.br

<sup>2</sup> Stonenge Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda. Rua Darcy Grijó, 50, Vitória/ES, e-mail: celio@stonenge.com.br



## ABSTRACT

The design and performance estimation of pavement structures is a very complex issue due to a variety of factors such as traffic, subgrade strength, climate conditions, drainage, materials characterization and execution methods. In the last decades, geosynthetics for pavement base and subgrade reinforcement (i.e. high-modulus geogrids) have been used with increasing tendency worldwide, enabling the reduction of layers thickness and time of construction, as well as the improvement of the efficiency in the compaction procedures and the increase of pavement life, resulting in a better cost-benefit relationship. The advantageous effect of the inclusion of geosynthetic reinforcement can be quantified by incorporating the geogrid properties into conventional design methods for different subgrade conditions. In the other hand, the most of the available approaches are concerned about laboratory studies, and a few numbers of field experiences taking into account the real conditions of the structure during its service life can be found in literature. In this context, the monitoring and field assessment of geosynthetic-reinforced pavements enable to evaluate the mechanical behavior and the influence of the reinforcement on the system. This article presents a measurement and monitoring program carried out in a polypropylene geogrid-reinforced pavement section during construction and after the operational traffic opening, showing the results of a deflection analysis obtained by using Benkelman beam tests. The results confirm the efficiency of the reinforcement in the reduction of layers thicknesses and in the improvement of the general structural behavior of the pavement.

**KEY WORDS:** Geogrid, Geosynthetics, Pavement, Benkelman Beam

## INTRODUÇÃO

O uso de geossintéticos como reforço de camada de base e capa asfáltica de pavimentos flexíveis melhora o desempenho deste tipo de estrutura geotécnica. No reforço de base, a inclusão pode ser posicionada tanto na interface entre o subleito e a base, quanto à meia altura da camada de base. Independente da posição da inclusão espera-se que o reforço promova um aumento da resistência do pavimento e maior distribuição de cargas no subleito. Portanto, para que o geossintético seja solicitado é necessário que esteja intimamente solidário ao solo adjacente. Esta condição torna-se mais eficiente quanto maior for a rigidez da inclusão.

O aumento da resistência ao cisalhamento do pavimento se dá com o tracionamento da geogrelha. Com isto, ocorre significativa diminuição dos efeitos cisalhantes que seriam transmitidos ao subleito devido ao tráfego. A utilização de uma geogrelha aumenta o ângulo de espraçamento das tensões, fazendo com que o solo de subleito seja solicitado por menores tensões. Os benefícios do reforço tornam-se mais evidentes quanto menor for a capacidade de suporte do subleito (Koerner, 2005; Triches e Bernucci, 2004).

Além de posicionada na interface da camada de base com o subleito, é comum também o posicionamento de geogrelha no terço inferior da camada de base, pois a partir de certa profundidade o reforço deixa de provocar benefícios à estrutura. Desta forma, devido ao contato solo-agregado que ocorre na abertura da malha, a inclusão atua confinando o material e melhora suas características de resistência e rigidez. Assim, a maior economia que o reforço pode gerar é a redução da espessura da camada de base.



Dentre os diversos métodos existentes para o dimensionamento de pavimentos reforçados com geossintéticos cabe destacar aqueles baseados no método da AASHTO. Nestes métodos considera-se o benefício obtido pelo reforço ao incluir parâmetros que qualificam o ganho estrutural proporcionado pelo reforço, sendo os mais utilizados o TBR (Traffic Benefit Ratio) e o LCR (Layer Coefficient Ratio).

Como os métodos existentes são, de forma geral, de natureza empírica ou mecânica-empírica é necessária a calibração das equações utilizadas para a região onde será executado o pavimento e em função do tipo de geossintético, posicionamento do reforço, dentre outros fatores. Para tanto, é necessário que seja formado um banco de dados a partir de trechos experimentais ou trecho em condições reais de tráfego, visando obter equações condizentes com a realidade brasileira.

## CARACTERÍSTICAS DA OBRA

### Localização

O pavimento analisado está localizado na região metropolitana de Vitória, na cidade de Viana, no estado do Espírito Santo.



Figura 1. Localização da obra (Google Maps).

O pavimento está inserido em um trecho implantado pelo DER-ES para dar mobilidade à região que contempla várias transportadoras. Esta via é conhecida como Via Sudoeste. O trecho onde foi instalada a geogrelha Fornit J600 para reforço de pavimento possui uma extensão de 850 metros.

### Estrutura do Pavimento

Estudos geotécnicos empreendidos permitiram diagnosticar que o subleito (leito carroçável) constituía-se de uma camada superficial com espessura variando de 0,00 a 0,25m de mistura escória bruta com argila e CBR na ordem de 15%. Esta camada apoiava-se sobre uma camada de argila não compactada com espessura variável de 0,85m e CBR igual a 7%. O nível d'água à 0,70m da superfície permite inferir que na implantação do aterro, ocorreu lançamento de argila sobre região alagada. Esta situação foi comprovada com verificação do grau de compactação da camada que explicitou valores inferiores a 70%.

Abaixo da camada de aterro constatou-se ainda espessa camada de argila orgânica altamente compressível, com umidade natural superior a 80%.

A Figura 2 mostra a estrutura do subleito existente, que estava sendo utilizada como via não pavimentada.



Figura 2. Seção da via não pavimentada existente

Observa-se na Figura 2 que o subleito é composto por material argiloso com presença de escória. Apesar de o CBR desta camada ter boa resistência para a implantação da estrutura do pavimento, pode-se observar na Figura 3 a elevada deflexão do subleito.

Para uma melhor visualização das deflexões foram excluídas da Figura 4 as deflexões maiores que 300 centésimos de milímetros.

## SOLUÇÃO ADOTADA

A opção pela solução de pavimento reforçado com geogrelha decorreu da necessidade de pavimentar uma via inserida no contexto urbano de Areinha, Viana/ES. A região de inserção da via envolve um segmento já implantado com ocupação em ambos os lados. A ocupação desordenada resultou em cotas de soleira das edificações não superiores a 0,20m da cota do leito da rua existente. Mantendo-se as condições de habitabilidade, a elevação do grade constituía-se de uma impossibilidade.

A estrutura do subleito (Figura 2) não apresentava grandes ondulações, mas constatou-se que a opção de remoção de camadas para implantação do pavimento explicitou outro problema. À medida que se aprofundava a escavação, aumentava-se a umidade devido à maior proximidade do NA. Outro aspecto é que a camada resistente seria removida e o leito de assentamento, assumiria comportamento mais instável.

Neste contexto, buscou-se solução que permitisse implantar estrutura de pavimento em se que remove-se no máximo 0,10m da camada existente (subleito) e que a implantação da estrutura do pavimento fosse bastante delgada com revestimento em CBUQ, considerando-se a impossibilidade de se elevar o grade devido às cotas de soleiras das edificações lindeiras.

As Figuras 03 e 04 apresentam as deflexões no local a ser pavimentado. Os levantamentos deflexões foram realizados sob a camada do subleito.

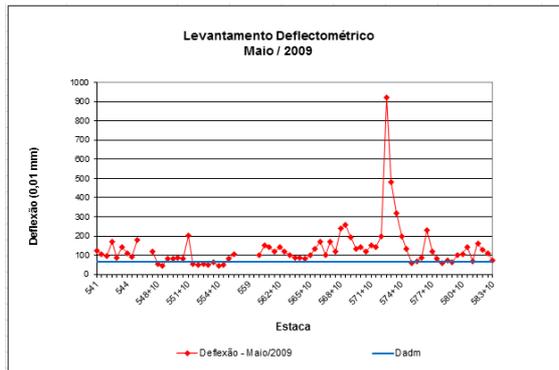


Figura 3. Levantamento deflectométrico do pavimento a ser implantado.

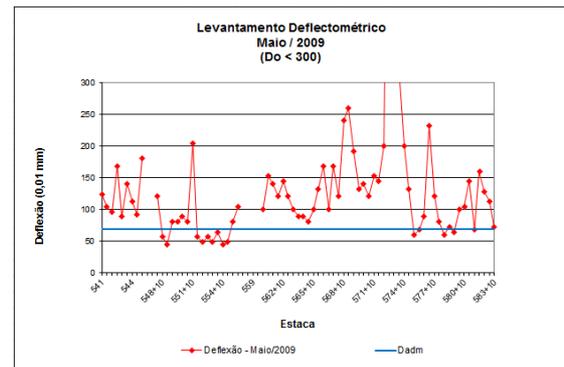


Figura 4. Levantamento deflectométrico do pavimento a ser implantado (Do < 300).

### Geossintéticos

A Norma Brasileira NBR 12553 define geossintéticos [G] como: “Denominação genérica de produtos poliméricos (sintéticos ou naturais), industrializados, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, entre as quais se destacam: reforço, separação ....”.

Nesta aplicação de reforço de estrutura de pavimento os geossintéticos utilizados têm as seguintes funções: a geogrelha [GG] tem a função de reforço [R] que é a utilização das propriedades mecânicas da geogrelha para melhorar o comportamento mecânico da estrutura e o geotêxtil tecido [GTW] tem a função de impedir a mistura dos materiais adjacentes.

As características técnicas dos geossintéticos utilizados como reforço de pavimento são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades dos geossintéticos utilizados.

Propriedade	Unid	Especificações	
		Fornit J600	Hate 55/55
Descrição do produto	-	Geogrelha biaxial	Geotêxtil tecido biaxial
Matéria prima	-	polipropileno	polipropileno
Módulo de Rigidez a 2% de deformação (J)	kN/m	≥ 600	≥ 270
Deformação na Ruptura	%	10	15



## Dimensionamento do Pavimento

### Parâmetros para o Dimensionamento

Com base na sondagem realizada na via a ser pavimentada (Figura 2) e nos levantamentos deflectométricos (Figuras 3 e 4) pode-se realizar uma retroanálise com o auxílio do programa Elym5 para a determinação dos módulos das camadas existentes (Tabela 2).

Tabela 2. Módulo de resiliência determinado com o auxílio do Elym5.

Camada	CBR (%)	Espessura (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )
Escória + Argila	15	25	950
Argila	7	85	450
Argila Orgânica W <sub>nat</sub> > 80%	3	--	220

O volume de tráfego para o período de projeto (N) determinado pelo método do DNIT foi de 5,0E+6, o que equivale a aproximadamente 1,7E+6 pelo método da AASHTO (Equação 1).

$$N_{AASHTO} \cong \frac{1}{3} \cdot N_{DNIT} \quad (1)$$

### Método da AASHTO

O dimensionamento do reforço com geossintéticos é baseado no método da AASHTO de 1993. O método da AASHTO é baseado em uma regressão obtida a partir de resultados de pistas experimentais e utiliza o número estrutural (SN) que quantifica a resistência estrutural requerida pelo pavimento para uma determinada combinação entre o suporte do solo, tráfego atuante e níveis de confiabilidade e serviciabilidade.

A contribuição estrutural do geossintético em um pavimento flexível é quantificada no método pelo aumento do coeficiente estrutural da camada de base por meio do parâmetro LCR (*Layer Coefficient Ratio*). Este parâmetro é obtido por meio de ensaios laboratoriais.

O dimensionamento da estrutura é feito pelas equações abaixo.

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 \cdot LCR + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \quad (2)$$

onde:

SN = número estrutural

a<sub>1</sub> = coeficiente estrutural do revestimento;

a<sub>2</sub> = coeficiente estrutural da base;

$a_3$  = coeficiente estrutural da sub-base;  
 $D_1$  = espessura da camada de revestimento;  
 $D_2$  = espessura da camada de base;  
 $D_3$  = espessura da camada de sub-base;  
 $m_2$  = coeficiente de drenagem da base;  
 $m_3$  = coeficiente de drenagem da sub-base;  
 LCR = layer coefficient ratio, que é dado pela Equação 3.

$$LCR = \frac{SN_r - \alpha_1 \cdot D_1}{SN_u - \alpha_1 \cdot D_1} \quad (3)$$

onde:

$SN_r$  = número estrutural da seção reforçada;  
 $SN_u$  = número estrutural da seção não reforçada;  
 $\alpha_1$  = parâmetro obtido em ensaio.

Para a geotelha utilizada neste trabalho o valor do LCR foi determinado através da Figura 5.

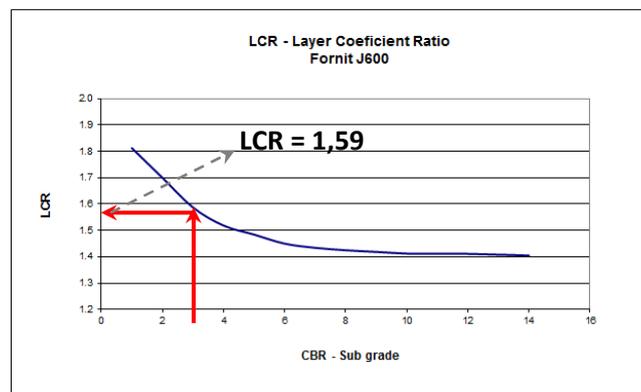


Figura 5. Determinação do LCR para a geotelha Fornit J600. (Adaptado de Baillie, 2002)

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

$$\Delta PSI = P_0 - P_f \quad (5)$$

onde:

$\Delta PSI$  = perda de serventia esperada durante o período de projeto (Equação 5);  
 $P_0$  = índice de serventia inicial;

- $P_f$  = índice de serventia final;  
 $W_{18}$  = número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 82 kN, calculado com os coeficientes da AASHTO;  
 $Z_R$  = desvio padrão para a probabilidade de êxito que se quer para a estrutura;  
 $S_0$  = desvio padrão que leva em conta as incertezas das variáveis medidas e do processo construtivo;  
 $M_R$  = Módulo de resiliência;  
 $SN$  = número estrutural considerando a contribuição da geogrelha (Equação 2).

### Estrutura do Pavimento Reforçado

A Figura 6 mostra a estrutura do pavimento implantado.

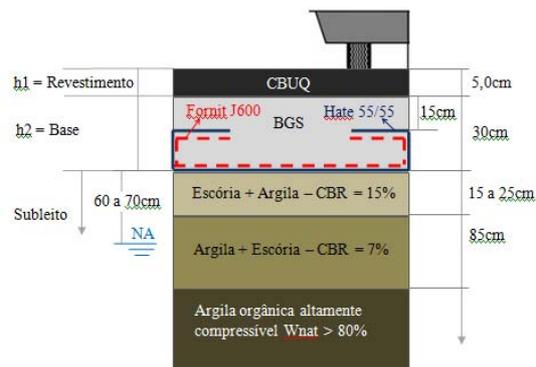


Figura 6. Seção do pavimento flexível implantado. CBUQ = concreto betuminoso usinado a quente e BGS = brita graduada simples.

### Execução do Pavimento

A execução do pavimento foi realizada em 2009. As Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12 mostram as etapas de construção do pavimento reforçado.



Figura 7. Regularização do subleito para a instalação do geotêxtil [GTW] e da geogrelha [GG].



Figura 8. Instalação do geotêxtil [GTW] Hate 55/55.



Figura 9. Instalação da geogrelha [GG] Fornit J600.



Figura 11. Compactação da base em BGS (brita graduada simples).



Figura 10. Execução da base em BGS (brita graduada simples).



Figura 12. Execução da capa asfáltica em CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente).



Figura 13. Pavimento em operação e em perfeitas condições (Dezembro/2011).

## AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

O ensaio para a avaliação estrutural do pavimento foi realizado com a Viga Benkelman.



A obra foi finalizada no mês de julho de 2009 e os ensaios de viga Benkelman foram realizados 14 e 28 meses após a conclusão da obra o que corresponde respectivamente aos meses de setembro de 2010 e novembro de 2011. A Figura 14 mostra os levantamentos realizados para o monitoramento do pavimento.

Na Figura 15 apresenta-se um comparativo entre o levantamento deflectométrico inicial (Figuras 3 e 4) e os levantamentos obtidos após a implantação do pavimento reforçado (Figura 14).

Com base no volume de tráfego de projeto  $N_{DNIT} = 5,0E+6$  foi determinada a deflexão admissível para esta via pavimentada.

A deflexão admissível foi calculada pela equação que está na norma do DNIT (DNER-PRO-11/79).

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \cdot \log N_{projeto} \quad (6)$$

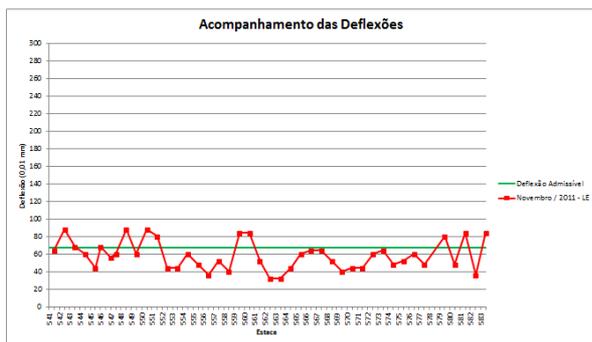


Figura 14. Levantamento deflectométrico realizado em novembro de 2011.

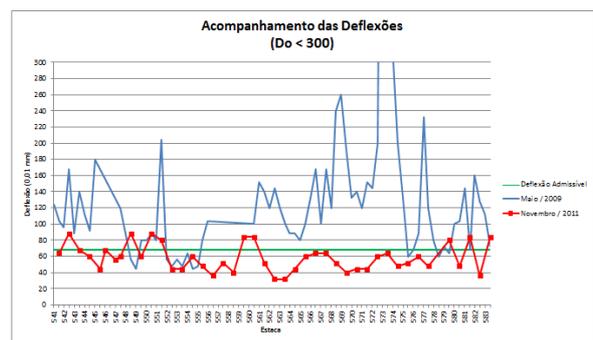


Figura 15. Comparativo da redução da deflexão do pavimento após sua implantação.

Observa-se na Figura 14 que as deflexões do pavimento reforçado ficaram próximas à deflexão admissível calculada.

Para que se possa fazer uma avaliação quanto ao desempenho da geogrelha no pavimento foi realizada com o auxílio do programa Elsym5 (Elastic Layer System Model) uma simulação procurando determinar a espessura de base em brita graduada para se atingir a deflexão admissível.

A Figura 16 apresenta a deflexão medida em campo, conforme o pavimento foi executado (Tabela 3) e a simulação com o programa Elsym5 para se estimar a espessura da camada de base para o pavimento atender a especificação da deflexão admissível de  $67,76 \times 10^{-3}$  mm.

A Figura 17 esquematiza o que está apresentado na Figura 16, o pavimento executado com a utilização da geogrelha (Fornit J600) e a Figura 17 (b) representa o pavimento caso estivesse sido executado sem a utilização da geogrelha.

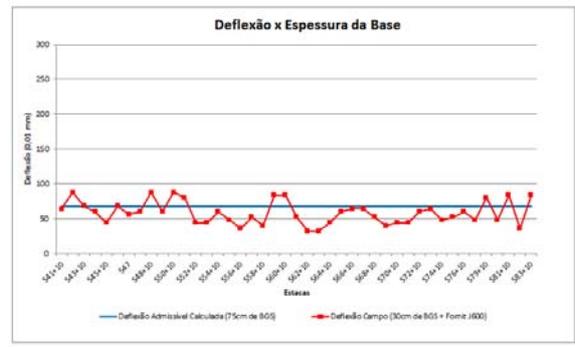


Figura 16. Deflexão versus espessura da camada de base.

Observa-se a diferença de espessura que seria necessário para atender as premissas de projeto, sem levar em consideração as restrições de greide da via urbana.

Com as bacias de deflexões medidas no pavimento em novembro de 2011 foi realizado também uma retroanálise para se estimar o novo valor de módulo de resiliência da camada de base, ou seja, determinar quanto de ganho que a geogrelha de polipropileno deu a camada de brita graduada.

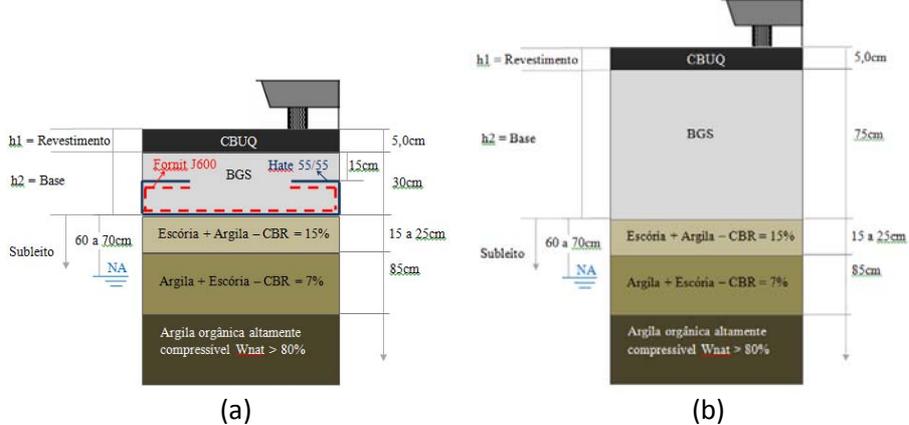


Figura 17. (a) Estrutura do pavimento reforçado com geogrelha e (b) Estrutura do pavimento sem geogrelha

Tabela 3. Módulo de resiliência das camadas do pavimento.

Camada	CBR (%)	Espessura (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )
Revestimento CBUQ	--	5	30000
Brita Graduada Simples	--	30	2000
Escória + Argila	15	25	950
Argila	7	85	450
Argila Orgânica W <sub>nat</sub> > 80%	3	--	220



Tabela 4. Módulo de resiliência das camadas do pavimento, considerando o reforço com a geogrelha.

Camada	CBR (%)	Espessura (cm)	MR (kgf/cm <sup>2</sup> )	
			sem reforço	com Fornit J600
Revestimento CBUQ	--	5	30000	30000
Brita Graduada Simples	--	30	2000	6500
Escória + Argila	15	25	950	950
Argila	7	85	450	450
Argila Orgânica W <sub>nat</sub> > 80%	3	--	220	220

## CONCLUSÕES

Com base no pavimento estudado verificou-se que a utilização da geogrelha de polipropileno como reforço de base de pavimento é uma excelente solução para locais onde o subleito tenha baixa capacidade de suporte e também em locais onde a estrutura do pavimento tenha de ser delgada devido à interferência urbana, graças ao elevado módulo de rigidez da geogrelha que permite uma considerável redução nas deflexões do pavimento reforçado.

O método utilizado para o dimensionamento da estrutura mostrou-se bastante eficiente, indicando uma estrutura delgada e com excelente coeficiente estrutural.

Apesar das deflexões em algumas estacas estarem acima da admissível à solução se enquadra perfeitamente as expectativas do projeto, pois devido às interferências urbanas, conforme pode ser visto na Figura 7, não era possível a execução de camada de base superior à executada com geogrelha.

Verifica-se também (Tabela 4) que a geogrelha de polipropileno promoveu um acréscimo de 2,25 vezes na rigidez do módulo da brita graduada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao DER-ES pelo apoio no monitoramento das deflexões do pavimento.



## REFERÊNCIAS

- AASHTO (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ABNT (2002). *NBR 12553 – Geossintéticos – Terminologia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Baillie, B. (2002). *Fornit – Biaxial Geogrid Reinforcement. Reference manual for the design of flexible pavement structures*. Technical Reference Fornit-DN-1. Huesker, Inc.
- Carmo, C.A.T et al (2012). *Deformation Analysis of a Geogrid-Reinforced Pavement*. Second Pan American Geosynthetics Conference & Exhibition. GeoAmericas 2012. Anais Lima, Perú.
- DNER (1979). *Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – DNER-PRO 11/79*. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Brasil.
- Ferreira, C.J. et. al (2009). *Procedimentos de Execução e Análise de Pavimentos Experimentais Reforçados com Geossintéticos*. I Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica na Região do Centro-Oeste. Anais. Goiânia, Brasil.
- Ferreira, C.J. et al (2009). *Avaliação Estrutural de um Pavimento Experimental Reforçado com Geogrelha*. IV Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimento e Projeto de Reforço. ABPv. Anais. Fortaleza, Brasil.
- Koerner, R. M (2005). *Designing with Geosynthetics*. 5ª edição, Prentice-Hall, United States of América.
- Trichês, G. e Bernucci, L.B. (2004). *Reforço de base de pavimento*. Manual Brasileiro de Geossintéticos. Editado por Vertematti, J.C., pp. 153-169, Brasil.
- US. Army Corps of Engineers (2003). *Use of geogrid in pavement construction*. Technical Report: ETL 1110-1-189. Washington, D.C.