

## AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO GEOGAUGE PARA SER UTILIZADO NO CONTROLE DE QUALIDADE DE CAMADAS GRANULARES DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

**Camila Lima Maia**  
**Carlos Augusto Uchôa da Silva**  
**Suely Helena de Araújo Barroso**  
Universidade Federal do Ceará

### RESUMO

O Geogauge é um equipamento que determina MR *in situ* e o objetivo deste estudo é avaliar seu uso no controle tecnológico de camadas granulares de pavimentos. Para isso, foram realizados ensaios com o Geogauge em dois trechos: uma Rodovia e um Trecho Experimental da UFC e foi feita uma análise estatística dos MRs obtidos com o equipamento para obter o coeficiente de variação dos MRs medidos por um mesmo operador, além de testes de hipóteses para a média dos MRs medidos por diferentes operadores. Realizou-se ainda um teste de hipóteses para verificar se o Geogauge é capaz de detectar anomalias construtivas, por exemplo, um grau de compactação insuficiente. O equipamento apresentou boa repetibilidade e reprodutibilidade, além de ser capaz de detectar problemas construtivos durante a execução, indicando que o equipamento é uma boa alternativa para ser utilizado no controle tecnológico de camadas granulares de pavimentos.

### ABSTRACT

Geogauge is an equipment that determines MR in situ and the objective of this study is to evaluate its use in the technological control of granular layers of pavements. For this, tests were carried out with the Geogauge in two sections: a Highway and a Experimental Section of the UFC and a statistical analysis was made of MRs obtained with the equipment to obtain the coefficient of variation of MRs measured by the same operator, besides tests hypothesis for the mean MRs measured by different operators. A hypothesis test was also carried out to verify if the Geogauge is capable of detecting constructive anomalies, for example, an insufficient degree of compaction. The equipment presented good repeatability and reproducibility, besides being able to detect constructive problems during the execution, indicating that the equipment is a good alternative to be used in the technological control of granular layers of pavements.

### 1. INTRODUÇÃO

O controle tecnológico de uma obra de engenharia consiste na verificação dos serviços em execução e realização de ensaios para averiguar, nas diversas fases de execução, tanto se eles atendem às especificações vigentes e quanto às propriedades dos materiais apontadas no projeto. A importância do controle tecnológico na área rodoviária ocorre em função de que este é um dos principais responsáveis por assegurar o sucesso da obra, além de garantir a eficiente aplicação dos recursos e o desempenho estrutural previsto na etapa de dimensionamento.

O controle de qualidade das camadas granulares que é realizado atualmente, ainda utiliza resultados de testes de massa específica e umidade *in situ*, embora tais parâmetros não sejam usados como entradas nos métodos de dimensionamento mecânico-empírico, que utilizam como um dos principais dados de entrada para as camadas granulares, o Módulo de Resiliência (MR). Dessa forma, esses indicadores podem não ser bons parâmetros para avaliar o processo construtivo dos pavimentos dimensionados à luz da mecânica dos pavimentos, surgindo assim a necessidade da adoção de outros indicadores para verificar o comportamento resiliente dos materiais em campo.

Neste cenário, surgiram, nos últimos anos, equipamentos como o Geogauge, que busca estimar a rigidez das camadas do pavimento *in situ*, apresentando potencial para ser utilizado para o controle de qualidade durante o processo construtivo de pavimentos flexíveis. Sendo assim, o

objetivo dessa investigação é avaliar o uso do Geogauge para o controle de qualidade das camadas granulares dos pavimentos, através de critérios de repetibilidade e reprodutibilidade dos ensaios realizados com o equipamento e a capacidade do mesmo de detectar anomalias durante a construção do pavimento.

## 1. CONTROLE DE QUALIDADE DE PAVIMENTOS

A realização do controle de qualidade de forma adequada constitui-se em garantia de sucesso de toda a construção. Nas obras de infraestrutura viária, este controle possui grande relevância, pois envolve temas importantes como segurança nas diversas etapas da obra e o retorno econômico e social do investimento por parte dos órgãos públicos, privados e parcerias público-privadas. Além disso, há ainda questões relacionadas à satisfação dos usuários quanto aos aspectos de segurança, economia e conforto ao rolamento, além de aspectos relativos à sustentabilidade, onde há preocupação em evitar desperdícios e poupar recursos naturais e energéticos (FERRI, 2013).

Dentre as camadas de um pavimento rodoviário, a execução das camadas de aterro, camadas finais de terraplenagem e de bases de solo estabilizado merecem maiores cuidados, devendo-se ter uma maior preocupação com o emprego correto das técnicas e procedimentos recomendados, pois a má execução desses serviços tem sempre consequências desagradáveis e onerosas ao construtor e ao usuário das obras, já que os defeitos nessas camadas aparecem, por vezes, decorridos muito tempo após a construção (ALVES, 2002).

Entre os principais defeitos, podem-se citar as deformações permanentes excessivas, que originam a trilha de roda e os escorregamentos de saia de aterro e erosão rápida devido à ação das chuvas. Motivo pelo qual o controle tecnológico de execução desses serviços deve seguir fielmente as especificações técnicas, com intuito de fornecer uma obra de engenharia de boa qualidade, com maior segurança e economia ao usuário (ALVES, 2002).

As metodologias e tecnologias normalmente utilizadas para aceitação e controle da qualidade das estruturas de pavimentos asfálticos tendem a acompanhar a evolução dos métodos de dimensionamento, uma vez que os parâmetros adotados na etapa de dimensionamento são os principais aspectos a serem controlados na fase de execução da obra (FERRI, 2013).

Em alguns países, e mais recentemente no Brasil, os métodos empíricos de dimensionamento de pavimentos asfálticos, baseados em ensaios estáticos como o CBR (*California Bearing Ratio*) foram substituídos por métodos mecanísticos-empíricos, que apresentam um maior embasamento teórico e onde muitas das análises se baseiam na Lei de Hooke generalizada (FERRI, 2013).

Seguindo a proposta de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos, algumas pesquisas têm sido realizadas no Brasil e no mundo, com o objetivo de desenvolver metodologias de controle de qualidade e aceitação que venham a satisfazer as expectativas do projeto e das agências rodoviárias, e que acompanhem os avanços tecnológicos nas áreas de construção ou ensaios.

## 2. GEOGAUGE

Diversos equipamentos podem ser usados para se obter, direta ou através de correlações,

parâmetros que indiquem as características mecânicas dos materiais que constituem as camadas do pavimento *in situ*. Entre esses equipamentos pode-se citar os já consagrados como a Viga Benkelman, o FWD (*Falling Weight Deflectometer*), o DCP (*Dynamic Cone Penetration*), o LWD (*Light Weight Deflectometer*) e o Geogauge.

De acordo com Seyman (2003), o Geogauge é fabricado pela *Humboldt Manufacturing Company* e foi desenvolvido com o objetivo principal de substituir os métodos de controle de qualidade de pavimentos utilizados até então, que se baseiam em testes de massa específica e determinações da umidade *in situ*, e controlar, em campo, os parâmetros de deformabilidade que são utilizados para do dimensionamento mecanístico-empírico, como o módulo de resiliência (MR).

Segundo o Manual do Fabricante, o Geogauge pesa cerca de 10 kg, tem altura de 28 cm, diâmetro de 25,4 cm e possui um pé circular que permite o seu posicionamento diretamente sobre o solo. O equipamento mede rigidezes de 3 a 70 MN/m e Módulo de Young de 26,2 a 610 MPa, com coeficiente de variação menor do que 10%. O coeficiente de Poisson varia em intervalos de 0,20 a 0,50 com incrementos de 0,05 e a profundidade de medida do equipamento é de 220 até 310 mm. O equipamento Geogauge está apresentado na Figura 1.



**Figura 1:** Geogauge.  
Fonte: Autoria Própria.

Os procedimentos para utilização do Geogauge são padronizados pela ASTM D 6758 (2002). Na realização do ensaio, o Geogauge impõe ao solo pequenos deslocamentos, da ordem de  $1,27 \times 10^{-6}$  m a 25 frequências fixas entre 100 e 196 Hz. A rigidez é determinada para cada um desses 25 estágios de frequência, sendo exibida ao final do ensaio, a média dos valores. O teste com o Geogauge tem duração de aproximadamente 75 segundos, sendo um ensaio rápido e de simples execução. O usuário precisa apenas inserir o coeficiente de Poisson do material e os módulos cisalhante e de elasticidade do solo são determinados pelo equipamento (BATISTA, 2007).

O Projeto *NCHRP 10-65* (2009) recomendou o uso do Geogauge para o controle de qualidade das camadas granulares do pavimento, pois o equipamento apresentou uma série de vantagens em relação a outros dispositivos estudados, como: (a) fornecer uma medida imediata do módulo de resiliência do material *in situ*; (b) identificar as áreas com anomalias com uma taxa de sucesso aceitável; (c) conseguir identificar de forma satisfatória o aumento de rigidez em materiais não

cimentados; (d) correlacionar os módulos de resiliência com a massa específica seca do material, para uma grande gama de materiais testados; (e) possuir uma dispersão normalizada menor do que os outros dispositivos e (f) não necessitar de mão de obra especializada.

Segundo Batista (2007), o Geogauge, apresenta-se como uma boa alternativa na avaliação estrutural dos pavimentos, pois se trata de um equipamento com baixo custo de aquisição, de fácil manuseio, com alto potencial para armazenamento de dados e rapidez na execução de ensaios. Observe-se ainda que o equipamento permite o controle e interferência no processo de compactação das obras de engenharia em tempo real, evitando posteriores intervenções corretivas.

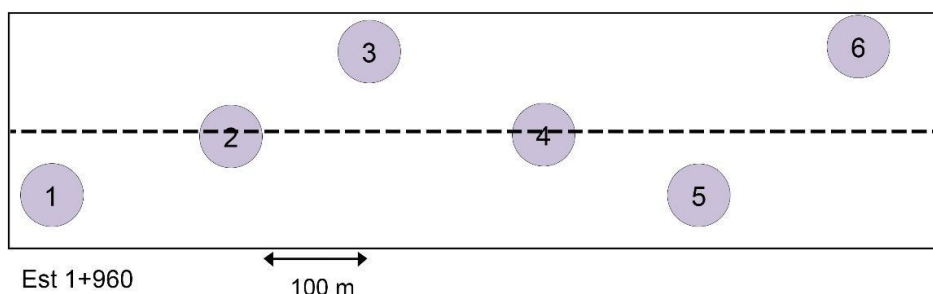
Outros autores que estudaram a utilização do Geogauge foram Lenke e Mckeen (1999), Fortunato (2005), Nazzal (2003) e Sawangsuriya *et al.* (2003), Ferreira (2007), Pestana (2008), Hossain e Apegyei (2010) e Gudishala (2004).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O método aqui usado consistiu na realização de ensaios de campo com o equipamento Geogauge em dois trechos: um trecho de 600 metros de uma Rodovia e um Trecho Experimental de 40 metros da Universidade Federal do Ceará (UFC), construído nas dependências empresa Insttale Engenharia.

A estrutura do trecho da Rodovia é composta por um aterro de solo A-2-4, uma sub-base de solo A-2-4 com 15 cm de espessura, uma base de Brita Graduada Simples (BGS) de 15 centímetros de espessura, uma camada de *Binder* com 6 cm de espessura, sendo o revestimento de concreto asfáltico com 6 cm de espessura. Já a estrutura do trecho experimental é composta por um subleito do solo natural da Insttale, um reforço do subleito de solo tipo A-2-4 de 20 cm de espessura, uma sub-base de solo-brita de 15 cm de espessura, uma base de BGS de 15 cm de espessura e o revestimento de concreto asfáltico com 5 cm de espessura.

No trecho da Rodovia, os ensaios com o Geogauge foram realizados em seis pontos, espaçados 100 metros entre si, começando pela borda direita, em seguida o eixo e borda esquerda, e assim por diante, em todas as camadas do pavimento. Em cada ponto de ensaio, as medições com o Geogauge foram repetidas pelo menos três vezes. O procedimento de ensaio com o Geogauge foi realizado de acordo com a norma ASTM D 6758 (2002). A Figura 2 apresenta uma vista da Rodovia.

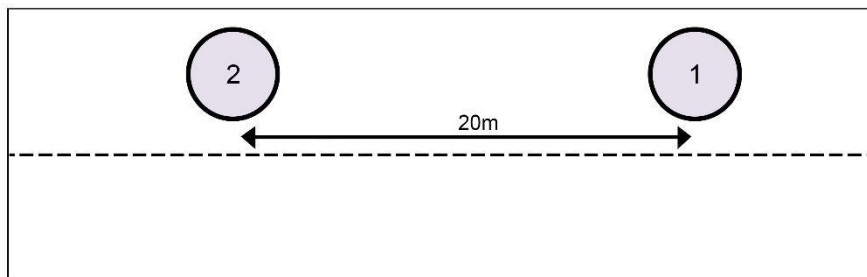


**Figura 2:** Localização dos pontos de ensaio no trecho da Rodovia.

Fonte: Autoria Própria.

Já no trecho experimental os ensaios com o Geogauge foram realizados em dois pontos,

espaçados 20 m entre si, localizados próximos à borda esquerda, em todas as camadas do pavimento, conforme Figura 3. Em cada ponto de ensaio, as medições com o Geogauge foram repetidas pelo menos três vezes e o procedimento de ensaio com o Geogauge foi realizado de acordo com a norma ASTM D 6758 (2002).



**Figura 3:** Localização dos pontos de ensaio no Trecho Experimental.  
Fonte: Autoria Própria.

Para avaliar a repetibilidade e reprodutibilidade do equipamento para obter os módulos *in situ*, foi realizada uma análise estatística dos dados obtidos em campo, a fim de determinar o coeficiente de variação entre as medições realizadas por um mesmo operador. Além disso, os ensaios foram realizados também por operadores diferentes e foi utilizado um teste de hipóteses para as médias dos módulos medidos para verificar se havia diferença nos módulos obtidos por diferentes operadores. Usou-se ainda um teste de hipóteses com o objetivo de verificar se o equipamento é capaz de detectar uma mudança no grau de compactação da camada, durante o processo construtivo. Nas análises estatísticas e testes de hipóteses foram usados o *software* Excel ® e o seu suplemento *Action*.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de avaliar se o Geogauge pode ser usado no controle tecnológico de camadas granulares de pavimentos flexíveis, realizou-se vários testes a fim de inferir sobre a capacidade do equipamento em detectar anomalias construtivas como uma compactação insuficiente, por exemplo, além da repetibilidade e reprodutibilidade do ensaio com o equipamento.

Assim, realizou-se um ensaio na camada de sub-base localizado no Ponto 6 de ensaio do trecho da Rodovia. Inicialmente, neste ponto, executou-se o ensaio com o equipamento Geogauge e determinou-se o grau de compactação da camada, verificando-se que este era insuficiente, ou seja, menor do que 100%. A camada sofreu uma nova compactação, com mais passadas do rolo compactador e os ensaios com o Geogauge e determinação do grau de compactação foram repetidos. Foram realizadas cinco repetições do ensaio com o Geogauge em cada situação e determinou-se o  $MR_{GEO}$  médio.

A fim de avaliar se o equipamento é capaz de detectar uma mudança na compactação da camada, foi realizado um Teste de Hipótese utilizando a distribuição *t* de *Student* para as médias dos valores obtidos nos dois casos. Sendo assim, foi realizado um teste de Hipótese para as Médias, considerando variâncias iguais, utilizando o *software* Excel. O nível de significância considerado na análise foi de 5%. As Hipóteses nula e alternativa estão apresentadas a seguir:

$$H_0: M_1 = M_2$$

$$H_1: M_1 \neq M_2$$



A Tabela 1 apresenta o resultado do Teste de Hipótese para as médias obtidas dos  $MR_{GEO}$ .

**Tabela 1:** Teste de Hipótese quanto à mudança de compactação.

Estatísticas	$MR_{GEO} (MPa)^*$	$MR_{GEO} (MPa)^{**}$
Média	134,688	161,846
Variância	168,1502	487,8719
Observações	5	5
Variância agrupada	328,011	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	8	
Stat t	-2,37096	
P(T<=t) uni-caudal	0,022589	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,045179	
t crítico bi-caudal	2,306004	

\*antes da compactação

\*\*depois da compactação

Fonte: Autoria Própria.

Observando-se a Tabela 1, é possível perceber que o valor-P, considerando uma distribuição bi-caudal, foi menor do que o nível de significância adotado. Além disso, o *Stat t* está dentro da zona de rejeição da hipótese nula. Sendo assim, rejeita-se a hipótese nula de que as médias dos módulos obtidos antes e depois da nova compactação da camada são iguais. Portanto, verifica-se que o Geogauge é capaz de detectar anomalias durante a construção do pavimento, tornando-se um importante dispositivo para ser utilizado no controle de qualidade das camadas granulares de pavimentos flexíveis. A correção de defeitos durante a construção das camadas do pavimento proporciona grandes benefícios, principalmente financeiros, pois a correção dos defeitos que aparecem no pavimento após sua construção é sempre muito onerosa.

O projeto NCHRP (2009) também avaliou a eficácia do Geogauge em detectar anomalias construtivas, chegando a uma taxa de sucesso de 79%, uma das maiores entre os equipamentos estudados, ficando atrás apenas do DSPA. O dispositivo também foi capaz de identificar de forma satisfatória o aumento de rigidez em materiais não cimentados. Nesse estudo, o Geogauge foi indicado para o uso no controle de qualidade de camadas granulares dos pavimentos.

O ensaio com o Geogauge foi repetido inúmeras vezes pelo mesmo operador em todos os pontos de ensaio de todas as camadas do trecho da rodovia e do trecho experimental analisado. O coeficiente de variação em cada caso foi calculado a fim de aferir sobre a repetibilidade do ensaio com o dispositivo. As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios com o Geogauge para as camadas de Aterro, Sub-base e Base da Rodovia, respectivamente. Já a Tabela 5 apresenta os resultados para o trecho experimental.

**Tabela 2:** Resultados dos ensaios com o Geogauge para o Aterro da Rodovia.

Ensaio	MR <sub>GEO</sub> (MPa)		
	Pontos		
	1	2	3
1	289	206	142
2	298	190	123
3	245	179	125
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	-
Média	277	192	130
Desv. Pad.	28,3608	13,5769	10,4403
Coef. Var. (%)	10,2	7,1	8,0

Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 3:** Resultados dos ensaios com o Geogauge para a sub-base da Rodovia.

Ensaio	MR <sub>GEO</sub> (MPa)					
	Pontos					
	1	2	3	4	5	6
1	292	205	136	188	116	124
2	212	175	133	152	209	118
3	182	179	143	200	195	141
4	-	-	-	156	226	142
5	-	-	-	-	175	148
6	-	-	-	-	181	-
Média	229	186	137	174	184	135
Desv. Pad.	56,8624	16,2891	5,1316	23,6643	38,0089	12,8763
Coef. Var. (%)	24,9	8,7	3,7	13,6	20,7	9,6

Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 4:** Resultados dos ensaios com o Geogauge para a camada de base da Rodovia.

Ensaio	MR <sub>GEO</sub> (MPa)					
	Pontos					
	1	2	3	4	5	6
1	84	96	102	135	95	108

2	86	98	80	93	95	103
3	79	92	104	103	106	96
4	77	94	94	94	92	96
5	86	82	81	93	94	93
6	87	84	87		99	92
Média	83	91	91	104	97	98
Desv. Pad.	4,1673	6,5422	10,3473	18,0499	5,0365	6,2290
Coef. Var. (%)	5,0	7,2	11,3	17,4	5,2	6,4

Fonte: Autoria Própria.

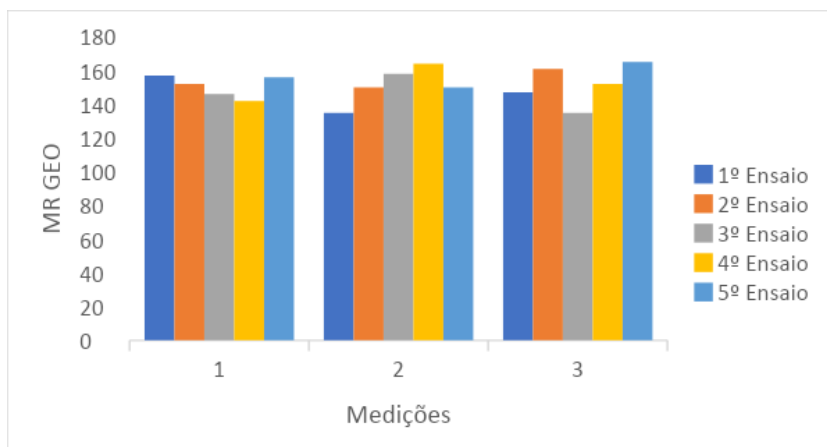
**Tabela 5:** Resultados dos ensaios com o Geogauge para o Trecho Experimental.

Ensaio	MR <sub>GEO</sub> (MPa)							
	Subleito		Reforço		Sub-base		Base	
	Pontos							
	1	2	1	2	1	2	1	2
1º Ensaio	157	90	193	153	179	130	83	77
	135	83	189	137	225	139	76	89
	147	101	197	151	214	127	76	90
2º Ensaio	152	107	188	161	170	151	77	75
	150	85	180	168	200	166	80	86
	161	89	198	169	192	192	74	78
3º Ensaio	146	106	167	155	165	175	84	90
	158	89	158	148	159	152	68	70
	135	88	178	132	167	159	77	91
4º Ensaio	142	101	152	162	187	147	79	94
	164	103	167	156	184	174	81	81
	152	86	193	158	210	138	87	80
5º Ensaio	156	94	191	157	166	164	87	91
	150	99	138	154	175	165	79	87
	165	85	149	160	165		77	86
Média	151	94	176	155	184	156	79	84
Desv. Pad.	9,3018	8,3020	19,4491	10,0390	20,4376	18,5746	5,0000	7,0576
Coef. Var. (%)	6,1	8,9	11,1	6,5	11,1	11,9	6,3	8,4

Fonte: Autoria Própria.

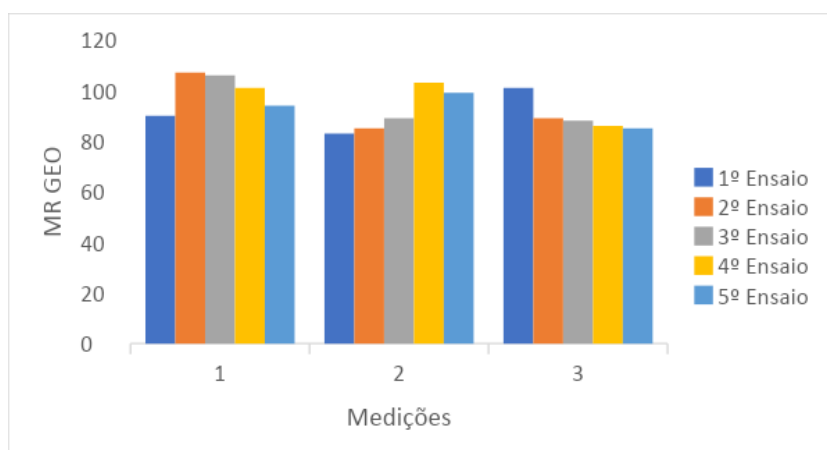
Observando-se as Tabelas 2, 3, 4, e 5, pode-se perceber uma boa repetibilidade do equipamento em geral, resultando em baixos valores de coeficientes de variação para os ensaios realizados em um mesmo ponto. Estes resultados estão de acordo com o Manual do Fabricante, onde consta que o coeficiente de variação dos módulos medidos com o Geogauge é em torno de 10%, o que foi verificado para a maioria dos pontos ensaiados. Esses resultados também podem ser verificados nas Figuras 4 e 5, para o subleito do trecho experimental.





**Figura 4:** Resultados do ensaio com o Geogauge para o Subleito do trecho experimental (Ponto 1).

Fonte: Autoria Própria.



**Figura 5:** Resultados do ensaio com o Geogauge para o Subleito do trecho experimental (Ponto 2).

Fonte: Autoria Própria.

Baixos coeficientes de variabilidade também foram obtidos por Pestana (2008), que utilizou o Geogauge para medir a deformabilidade das camadas do pavimento construído com Resíduo de Construção e Demolição (RCD) e observou uma boa repetibilidade do equipamento em geral.

No projeto NCHRP (2009) o Geogauge foi recomendado para o controle de qualidade de camadas granulares, pois apresentou vantagens como possuir uma dispersão normalizada menor do que os outros dispositivos estudados.

Já no trabalho de Hossain e Apeageyi (2010), que verificou o uso do LWD, Geogauge e DCP para determinação dos módulos de resiliência das camadas do pavimento *in situ*, foi encontrada uma alta variabilidade nos valores de módulo obtidos com os três equipamentos. Entretanto, foi possível obter uma relação entre os módulos de todos os equipamentos utilizados, quando se considerou o 85º percentil.

Com o objetivo de investigar a reprodutibilidade do ensaio com o Geogauge, diferentes operadores realizaram ensaios nas camadas de subleito, reforço do subleito e sub-base do trecho

experimental. Em cada ponto, o ensaio com o equipamento foi repetido três vezes e calculou-se a média. Um teste de Hipótese foi realizado para avaliar se há diferenças significativas entre os ensaios realizados por cada operador. O nível de significância adotado foi de 5%. As Hipóteses são as seguintes:

$H_0$ :  $M_1 = M_2$ , ou seja, não há diferença significativa entre a média dos resultados obtidos por diferentes operadores;

$H_1$ :  $M_1 \neq M_2$ , ou seja, há diferença significativa entre a média dos resultados obtidos por diferentes operadores.

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados dos testes de hipóteses realizados para as camadas de subleito, reforço do subleito e sub-base do trecho experimental, respectivamente.

**Tabela 6:** Teste de hipótese para a camada de subleito do Trecho Experimental quanto à reprodutibilidade.

Estatísticas	MR <sub>GEO</sub> (média) (MPa)	
	Operador 1	Operador 2
Média	91,37219429	93,80804801
Variância	83,75770429	126,9938638
Observações	3	3
Variância agrupada	105,3757841	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	4	
Stat t	-0,290620618	
P(T<=t) uni-caudal	0,392893343	
t crítico uni-caudal	2,131846786	
P(T<=t) bi-caudal	0,785786685	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 7:** Teste de hipótese para a camada de reforço do subleito do Trecho Experimental quanto à reprodutibilidade.

Estatísticas	MR <sub>GEO</sub> (média) (MPa)	
	Operador 1	Operador 2
Média	146,6494654	144,9056156
Variância	77,81129574	147,1063782
Observações	3	3
Variância agrupada	112,458837	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	4	
Stat t	0,201399281	
P(T<=t) uni-caudal	0,425106758	
t crítico uni-caudal	2,131846786	
P(T<=t) bi-caudal	0,850213515	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

Fonte: Autoria Própria.

**Tabela 8:** Teste de hipótese para a camada de sub-base do Trecho Experimental quanto à reprodutibilidade

Estatísticas	MR <sub>GEO</sub> (média) (MPa)	
	Operador 1	Operador 2
Média	161,9867432	152,9360737
Variância	137,0054167	346,4052992
Observações	3	3
Variância agrupada	241,705358	
Hipótese da diferença de média	0	
Gl	4	
Stat t	0,712989604	
P(T<=t) uni-caudal	0,257619688	
t crítico uni-caudal	2,131846786	
P(T<=t) bi-caudal	0,515239376	
t crítico bi-caudal	2,776445105	

Fonte: Autoria Própria.

De acordo com os dados das Tabelas 6, 7 e 8, não se pode rejeitar a hipótese nula de que as médias dos ensaios realizados por diferentes operadores são iguais. Sendo assim, não há indícios de que as médias são diferentes, o que mostra uma boa reprodutibilidade do ensaio com o Geogauge.

Assim, com os resultados obtidos para avaliação do equipamento Geogauge, observou-se uma boa repetibilidade e reprodutibilidade do equipamento em geral, além da capacidade de detectar problemas construtivos em tempo real, sendo um importante dispositivo que pode ser utilizado no controle tecnológico em camadas granulares de pavimentos flexíveis.

Em comparação com outros equipamentos utilizados para determinar os módulos de resiliência dos materiais em campo, o Geogauge apresenta a vantagem de ser um método direto, rápido, de fácil execução, além de ser um equipamento portátil e ter um custo menor do que outros dispositivos utilizados, por exemplo, o FWD.

Vale ressaltar que os materiais utilizados nesta investigação são todos materiais granulares, devendo ainda ser testado o uso do Geogauge para materiais cimentados ou argilosos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Geogauge é um equipamento que fornece uma medida direta dos parâmetros de deformabilidade in situ, além de possuir baixo custo e potencial para ser usado no controle tecnológico das camadas dos pavimentos flexíveis. O ensaio com o Geogauge, de uma maneira geral, mostrou uma boa repetibilidade e reprodutibilidade, além de ser capaz de identificar defeitos durante a etapa de construção do pavimento. A utilização do Geogauge no controle de qualidade dos pavimentos é um importante passo para a disseminação da proposta mecânica de dimensionamento de pavimentos flexíveis, uma vez que é possível determinar em campo o parâmetro usado como dado de entrada no dimensionamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. B. C. Avaliação da capacidade de suporte e controle tecnológico de execução da camada final de terraplenagem utilizando o penetrômetro dinâmico cone. 2002. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D6758. Standart Test Method for Measuring Stiffness and Apparent Modulus of Soil and Soil Agregate in-Place by an Electro- Mechanical Method. ASTM International, USA, 2002.
- BATISTA, L. C. M. Determinação de parâmetros de deformabilidade de camadas de um pavimento a partir de ensaios de campo. 2007. 197 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- FERREIRA, R.F. Dimensionamento de um pavimento experimental para o tráfego de caminhões fora-de-estrada em planta de mina. 2007. 205 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.
- FERRI, S. Critérios de aceitação e controle da qualidade da execução de camadas de fundação de pavimentos novos através de métodos deflectométricos. 2013. 331 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- FORTUNATO, E. Renovação de Plataformas Ferroviárias. Estudos Relativos à Capacidade de Carga. 2005. 628 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto, 2005.
- GUDISHALA, R. Development of resilient modulus prediction models for base and subgrade pavement layers from in situ devices test results. 2004. 133 f. Thesis (Master of Science in Civil Engineering) - Faculty of the Louisiana State University, Louisiana, 2004.
- HUMBOLDT Mfg. Co. GeoGauge User Guide. Version 4.1, 2007.
- HOSSAIN, M. S.; APEAGYEI, A. K. Evaluation of the Lightweight Deflectometer for In-Situ Determination of Pavement Layer Moduli. Virginia Transportation Research Council. Research Report. Final Report VTRC 10-R6, 2010.
- LENKE, L. R.; McKEEN, R. G. Evaluation of the Humboldt GeoGauge on Dry Cohesionless Silica Sand in a Cubical Test Bin. ATR Institute. University of New Mexico, 1999.
- NAZZAL, M. D. Field Evaluation of in-situ Tests Technology for QC/QA During Construction of Pavement Layers and Embankments. 2003. 124 f. Thesis (Master of Science in Civil Engineering) - Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Louisiana, 2003
- PESTANA, R. M. M. Contribuição ao estudo do comportamento mecânico de resíduos de construção e demolição aplicados em estradas de baixo tráfego. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008
- SEYMAN, E. Laboratory Evaluation of in-situ tests as potential quality control/quality assurance tools. 2003. 186 f. Thesis (Master of Science in Civil Engineering) - Graduate Faculty of the Louisiana, State University and Agricultural and Mechanical College, 2003.
- SAWANGSURIYA, A.; TUNCER, B. E.; PETER, J. B. Relationship of Soil Stiffness Gauge of Modulus to Other Test Moduli. Transportation Research Board., Washington, D.C, 2003. 82nd Annual Meeting, January 12-16.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD NCHRP NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. NCHRP REPORT 626: NDT Technology for Quality Assurance of HMA Pavement Construction. Project 10-65, Washington, D.C, 2009. ISSN 0077-5614. ISBN: 978-0-309-11777-7.

---

Camila Lima Maia (camilalima@det.ufc.br)

Carlos Augusto Uchôa da Silva (uchoa@det.ufc.br)

Suelyly Helena de Araújo Barroso (suelyly@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará

Bloco 703, Campus do Pici – Fortaleza, CE, Brasil