

19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

AValiação Estrutural de Segmento em uma Via Não Pavimentada a Partir de Ensaios Deflectométricos

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Weiner Gustavo Silva Costa¹; Mario Sergio de Souza Almeida^{1 2 5}; Maria do Socorro Costa São Mateus²; Luiz Heleno Albuquerque Filho³; Joanito de Andrade Oliveira¹; Ronaldo Luiz dos Santos Izzo⁴; Oldair Del Arco Vinhas Costa¹ & Cássio Alberto Teoro Carmo⁵

RESUMO: Diversas pesquisas de avaliação estrutural de pavimentos e de correlação entre equipamentos de ensaios deflectométricos baseados em métodos não destrutivos tem sido realizado para avaliar as condições de vias pavimentadas. Apesar disso 87,7% da malha rodoviária do Brasil é hoje constituída rodovias não pavimentadas. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar as condições estruturais de um segmento não pavimentado a partir de levantamento deflectométrico com ensaio de Viga Benkelman (VB) e com *Light Weight Deflectometer* (LWD), e, a partir disso avaliar de forma mecanística o pavimento local. O segmento não pavimentado avaliado tem 600 m e está localizado na BR 030 no município de Boa Nova – BA. O segmento foi dividido em 30 estacas e em cada estaca foram considerados pontos na trilha de roda externa das faixas esquerda e direita demarcados com base no eixo central da via. Com os dados do levantamento estrutural obtidos pela VB, calculou-se o número equivalente de operações de eixo simples de rodas duplas de 8,2 t acumulado suportado por essa estrutura simulando esse pavimento com um possível revestimento do tipo tratamento superficial. No levantamento com a VB as deflexões máximas são da ordem de 0,70 mm a 0,80 mm enquanto que para o LWD as deflexões foram da ordem de 0,50 mm a 0,60 mm. Ao se avaliar mecanisticamente esse pavimento numa solução em tratamento superficial chegou-se a valores número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t da ordem de 10^7 .

PALAVRAS-CHAVE: Não pavimentada; LWD; Viga benkelman.

ABSTRACT: Several investigations of structural evaluation of pavements and of correlation between equipment of deflectometric tests based on non-destructive methods have been carried out to evaluate the conditions of paved roads. Despite this, 87.7% of the road network in Brazil today consists of unpaved roads. In this sense, this work aimed to evaluate the structural conditions of an unpaved segment based on a deflectometric survey with the Benkelman Beam (VB) test and with the Light Weight Deflectometer (LWD), and, based on this, mechanistically evaluate the pavement local. The evaluated unpaved stretch is 600 m long and is located on BR 030 in the municipality of Boa Nova - BA. The stretch was divided into 30 stakes and in each stake points were considered on the outer wheel of the lane of the left and right lanes demarcated based on the central axis of the lane. With the data from the structural survey obtained by VB, the equivalent number of single axle operations with double wheels of 8.2 t accumulated supported by this structure was calculated, simulating this floor with a possible coating of the surface treatment type. No levantamento com a VB as deflexões máximas são da ordem de 0,70 mm a 0,80 mm enquanto que para o LWD as deflexões foram da ordem de 0,50 mm a 0,60 mm. By mechanistically evaluating this pavement in a surface treatment solution, values for the number of requests for axles equivalent to the standard axle of 8.2 t of the order of 10^7 were reached.

KEYWORDS: Unpaved; LWD; Benkelman beam.

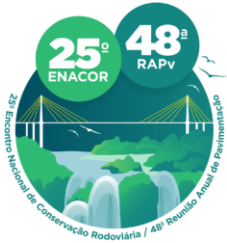
¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, e-mail: weiner@ufrb.edu.br; mario.almeida@ufrb.edu.br; joanito@ufrb.edu.br; oldair@ufrb.edu.br

² Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: socorro@uefs.br

³ Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, e-mail: mario.almeida@dnit.gov.br; luizheleno@gmail.com

⁴ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e-mail: izzo@utfpr.edu.br

⁵ HUESKER Ltda., e-mail: cassiocarmo@gmail.com



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

A avaliação estrutural de pavimentos normalmente baseia-se na análise de deformabilidade elástica, sob efeito de uma carga, em que a deflexão é um importante parâmetro na definição da capacidade estrutural (ZHENG; ZHANG; LIU, 2019).

Beninca e Santos (2021), por exemplo, estudaram 13 segmentos revestidos em concreto asfáltico, sendo três sobre camadas granulares e dez sobre base de paralelepípedos por meio de levantamentos deflectométricos através da Viga Benkelman (VB), do Light Weight Deflectometer (LWD) e do Falling Weight Deflectometer (FWD). Os maiores valores de deflexão em D_0 foram verificados no ensaio LWD, seguido pelo ensaio VB, e pelo ensaio FWD. Os autores apontam ainda que não houve relação entre as maiores e menores deflexões nos segmentos analisados pelos diferentes ensaios.

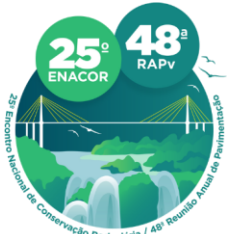
Guzzarlapudi, Adigopula e Kumar (2016) realizaram estudo comparativo dos módulos do subleito realizado por métodos de deflexão estática e dinâmica usando LWD e viga Benkelman convencional em estrada de baixo volume. Dessa forma os autores obtiveram os valores de módulos de subleito para uso como uma ferramenta avaliação da resistência do subleito para estradas de baixo volume. Sanjay *et al.* (2022) buscaram desenvolver uma correlação entre FWD e VB e propuseram uma correlação linear entre VB e FWD é desenvolvida usando valores de deflexão onde o coeficiente de correlação (R^2) encontrado foi de 0,899.

Para aplicação em solos ferroviários de solo tropical, Fonte *et al.* (2022) buscaram estabelecer uma relação entre o módulo de elasticidade estimado pelo LWD (E_{LWD}) e o módulo de resiliência (MR) a partir do ensaio triaxial de carga repetida. Segundo os autores a razão dos módulos obtidos por RLT e LWD tende a crescer para solos lateríticos à medida que os níveis de umidade do solo aumentam. Os solos não lateríticos, por outro lado, respondem de forma diferente; quando os níveis de umidade aumentam, a proporção dos módulos dos ensaios cai. Para os solos lateríticos (LA, LA' e LG'), à medida que a umidade *in situ* aumenta, a razão entre os módulos obtidos por RLT e LWD tende a aumentar, por exemplo na classificação LA do solo, a razão variou de 6,98 a 10,70, no caso da umidade ótima essa variação aumenta de 4,95 a 13,41, e para umidade ótima + 2 % varia de 0,94 a 7,12. No caso dos solos não lateríticos, a mesma tendência não foi observada, o que pode ser explicado pela heterogeneidade do material e seu comportamento mecânico.

Kuttah (2021) avaliando o módulo de elasticidade do LWD e MR obtido com o uso do RLT observou que muitos fatores podem influenciar esses valores de módulo, em particular umidade, tensão confinante e níveis máximos de tensão axial vertical durante o ensaio, juntamente com os diferentes tipos de materiais avaliados.

Rodrigues, Santos e Odebrecht (2020) buscaram obter correlações entre medidas de deflexões obtidas com Viga Benkelman (VB) e com Light Falling Weight Deflectometer (LFWD) em duas vias urbanas do município de Joinville contemplando uma execução de capa asfáltica sobre paralelepípedo e a outra executada em capa asfáltica sobre um pacote convencional de camadas granulares. Os resultados mostraram boa correlação para a segunda situação, o que não ocorreu para capa asfáltica sobre paralelepípedos.

Embora seja grande a quantidade de pesquisas de avaliação estrutural de pavimentos e de correlação entre equipamentos de ensaios deflectométricos baseados em métodos não destrutivos, de maneira geral, os estudos retratam as condições de vias pavimentadas. Apesar disso, no Brasil a extensão total da malha rodoviária dada a sua razoável distribuição ao longo das regiões geográficas, apenas 213.452 quilômetros dessas vias contam com revestimento definitivo, seja flexível, rígido ou semirrígido, o que representa uma participação de apenas 12,4% de rodovias pavimentadas na malha rodoviária, conforme detalhado pela CNT (2020). A matriz de transportes de cargas prioriza o modo



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



rodoviário, apresentando enorme desequilíbrio em relação aos demais modais. Preocupantemente 87,7% da malha rodoviária do Brasil é hoje constituída por rodovias e estradas rurais assentadas exclusivamente em leito natural ou com algum tipo de tratamento superficial da camada de desgaste apenas primário.

Em função de fatores físicos, geométricos e climáticos e geotécnicos, diferentes métodos de projeto e dimensionamento de estradas não pavimentadas foram desenvolvidos em todo o mundo. Esses métodos majoritariamente são concebidos para estradas tratadas com cascalho (FILHO; RIBEIRO; CASAGRANDE, 2022). Com isso, pela discrepância entre a malha não pavimentada frente a malha pavimentada e a necessidade da correta aplicação de recursos públicos, é importante que pesquisas e investigação sejam realizadas com uso de diferentes metodologias para a avaliação das condições estruturais.

Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar as condições estruturais de um segmento não pavimentado a partir de levantamento deflectométrico com ensaio de Viga Benkelman e com LWD, e, a partir disso avaliar de forma mecânica o pavimento local.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A presente pesquisa teve por objetivo a avaliação da condição estrutural de um segmento não pavimentado de 600 m da BR 030 no município de Boa Nova – BA. As coordenadas de início e fim do segmento são $-14^{\circ}22'59''$ S, $-40^{\circ}11'31''$ O e $-14^{\circ}23'6''$ S, $-40^{\circ}11'13''$ O (Figura 1).

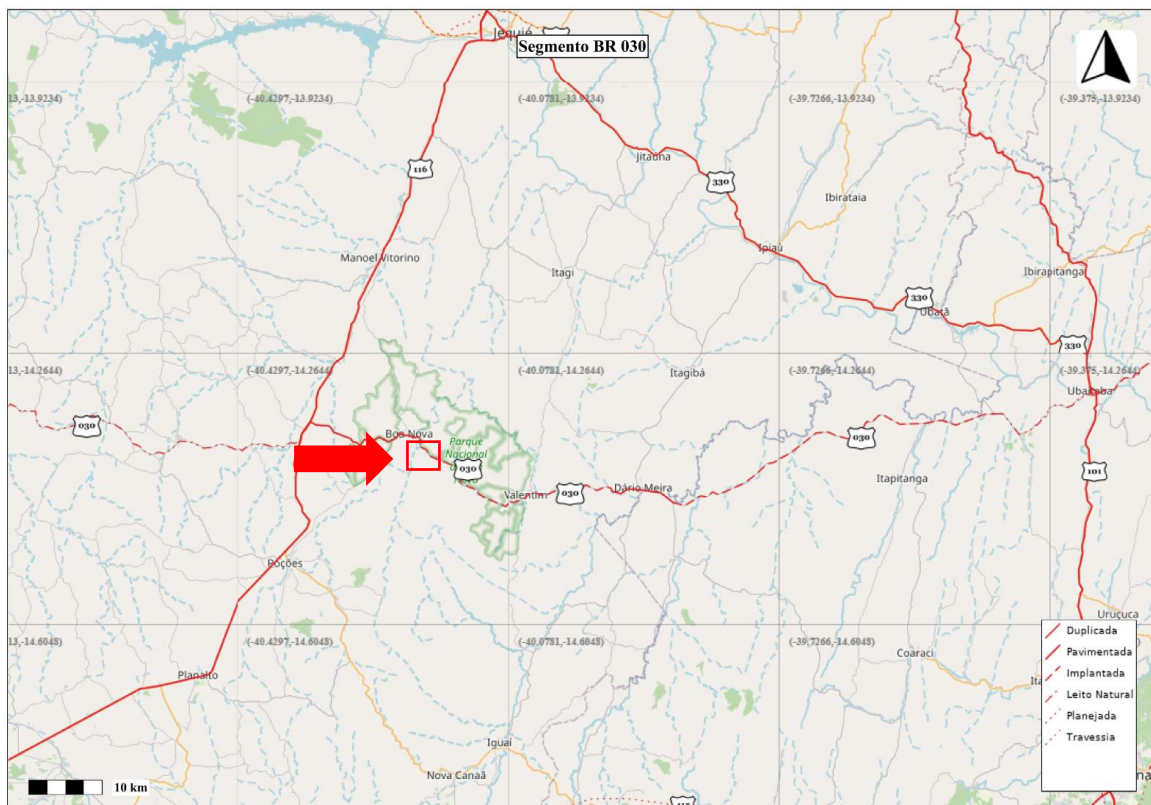
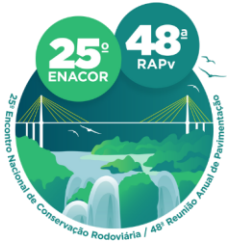


Figura 1. Localização do segmento experimental executado na BR-030/BA.

Fonte: <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso em 03/06/2023



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



O segmento analisado, refere-se a um trecho que recebeu tratamento com revestimento primário (Figura 2). O segmento está localizado em uma região de Coberturas detrito-lateríticas: areia com níveis de argila e cascalho e crosta laterítica e rochas do complexo Jequié (DALTON DE SOUZA *et al.*, 2003).



(a)

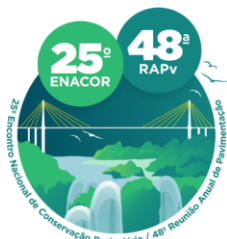
Figura 2. (a) Segmento não pavimentado BR 030 e (b) seção representativa da estrutura em uma janela do pavimento do local.

Locação dos pontos de ensaio

O segmento foi dividido em 30 estacas e em cada estaca foram considerados pontos na trilha de roda externa das faixas esquerda e direita demarcados com base no eixo central da via. A locação dos pontos em relação ao eixo transversal das vias foi definida de acordo com a Norma DNIT 133/2010 – ME, que estabelece os procedimentos metodológicos para delinear a linha de influência longitudinal da bacia de deformação elástica do pavimento. Nesses pontos foram feitos levantamentos prévios de deflectometria como parte de um estudo onde serão caracterizados os materiais coletados em diferentes pontos, física e mecanicamente.

Ensaio Viga Benkelman (VB)

O ensaio de viga Benkelman (VB) foi realizado no dia 19 de maio de 2023. Não houve influência de chuvas neste período. O equipamento utilizado é com relação a/b de 4/1, devidamente calibrado em laboratório. O ensaio foi realizado em conformidade com a Norma DNIT 133/2010 – ME (Figura 3). Em cada estaca do segmento foram determinadas as deflexões na trilha externa das faixas da esquerda e da direita. Foi utilizado caminhão, com 8,2 t de carga no eixo traseiro, igualmente distribuída entre as duas rodas duplas com pneus calibrados na pressão de 550 kPa (80 psi).



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



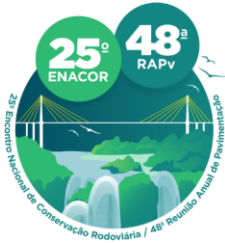
Figura 3. Levantamento com viga Benkelman na BR 030.

Ensaio Light Weight Deflectometer (LWD)

O ensaio LWD foi realizado no mesmo dia. O equipamento utilizado foi o Deflectômetro de Impacto Leve LWD-15, possui a placa de aço de 30 cm de diâmetro com 02 cm de espessura e massa de 15 kg, um peso de massa de queda de 10,0 kg e a altura de queda de 720 mm, massa de impacto de 15 kg (Figura 4).



Figura 4. Levantamento com LWD na BR 030.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Avaliação de desempenho e vida útil

Com os dados do levantamento estrutural obtidos pela VB, calculou-se o número equivalente de operações de eixo simples de rodas duplas de 8,2 t acumulado suportado por essa estrutura simulando esse pavimento com um possível revestimento do tipo tratamento superficial e um período de projeto em acordo com a DNER-PRO 11 (DNER, 1979). Foi utilizada a equação 1 e os valores de k e n, conforme Tabela 4. Vale salientar que para a determinação do tráfego ou N previsto a Equação 1 faz referência aos FEC da USACE.

Segundo a DNER-PRO 11 nesse caso deve ser adotada como deflexão admissível o dobro do valor obtido pela expressão. Com isso o N calculado deve ser metade daquele calculado para as deformações medidas, assumindo ser essas as admissíveis para essa estrutura de pavimento (tratamento superficial).

Considerou-se para essa avaliação a deformação característica como sendo o valor médio mais desvio padrão, em cada faixa.

Tabela 1. Equação e parâmetros utilizados para o cálculo do número N.

Local de análise	Equação	k	n	Fonte
Topo do revestimento Eq. 1	$N = n \sqrt{\left(\frac{10^k}{D_{adm}} \right)}$	3,01	0,176	DNER-PRO 11/1979

Em que:

N: número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t;

D_{adm} : deslocamento vertical/deflexão (mm) admissível no topo do revestimento;

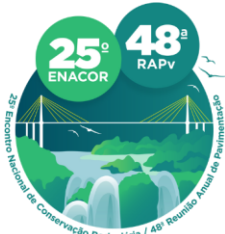
k e n: coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura asfáltica, e modificados para refletir o desempenho no campo.

RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÕES

Deflexões

Do levantamento deflectométrico são apresentados os resultados na Figura 5. Observa-se que no levantamento com a VB as deflexões máximas são da ordem de 0,70 mm a 0,80 mm. Enquanto que para o LWD as deflexões foram da ordem de 0,50 mm a 0,60 mm. Observa-se menor variação entre as deflexões ao longo das estacas no LWD. Esses resultados apresentaram comportamento semelhante aos obtidos por Beninca e Santos (2021), com valores de leitura no LWD maiores que aqueles obtidos pela VB (Figura 5).

Essa diferença possivelmente se deve ao fato de os aspectos de carregamento, área de aplicação da carga, leitura de deflexão serem distintos em cada caso. Nesse sentido é interessante avaliar a relação entre os dois ensaios.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

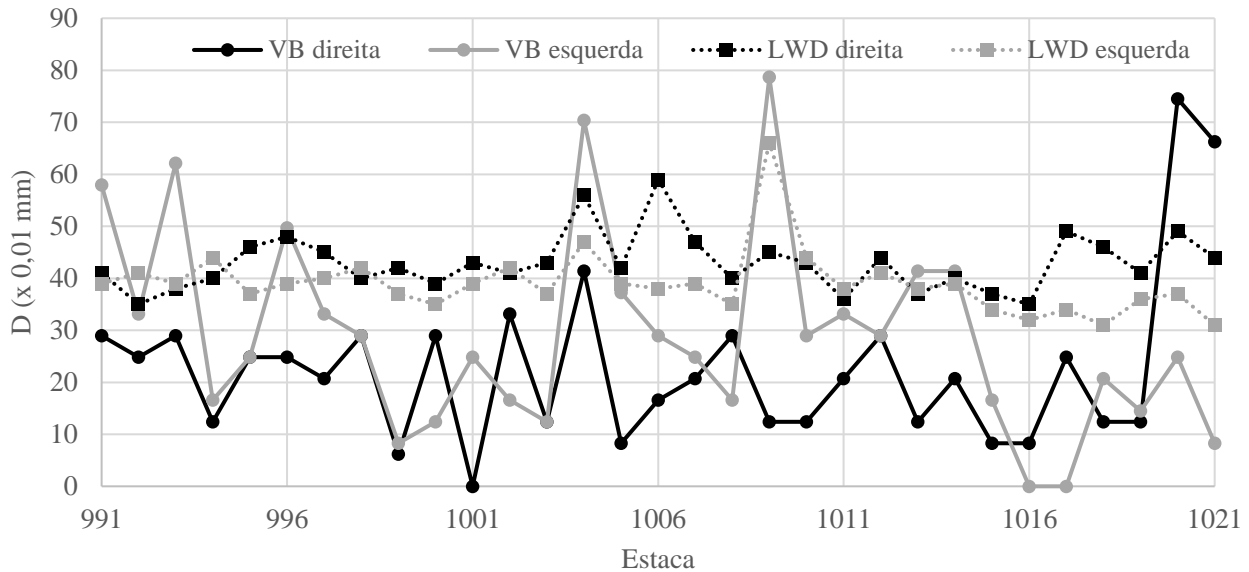


Figura 5. Deflexões medidas com viga Benkelman e com LWD na BR 030.

Comparando-se as deflexões medidas pelo LWD com aquelas medidas pela Viga Benkelman (D_{LWD}/D_{VB}) (Figura 6) em cada estaca pode-se observar ainda uma diferença de comportamento entre as leituras médias dessa relação nas duas faixas e com um valor médio próximo a 2 para a faixa da direita e a 1,5 para a faixa da esquerda. Observa-se que nesse caso não foi obtida boa correlação como nos resultados de Rodrigues, Santos e Odebrecht (2020). Beninca e Santos (2021) chegaram a melhores correlações comparando resultados de VB com FWD do que VB com LWD.

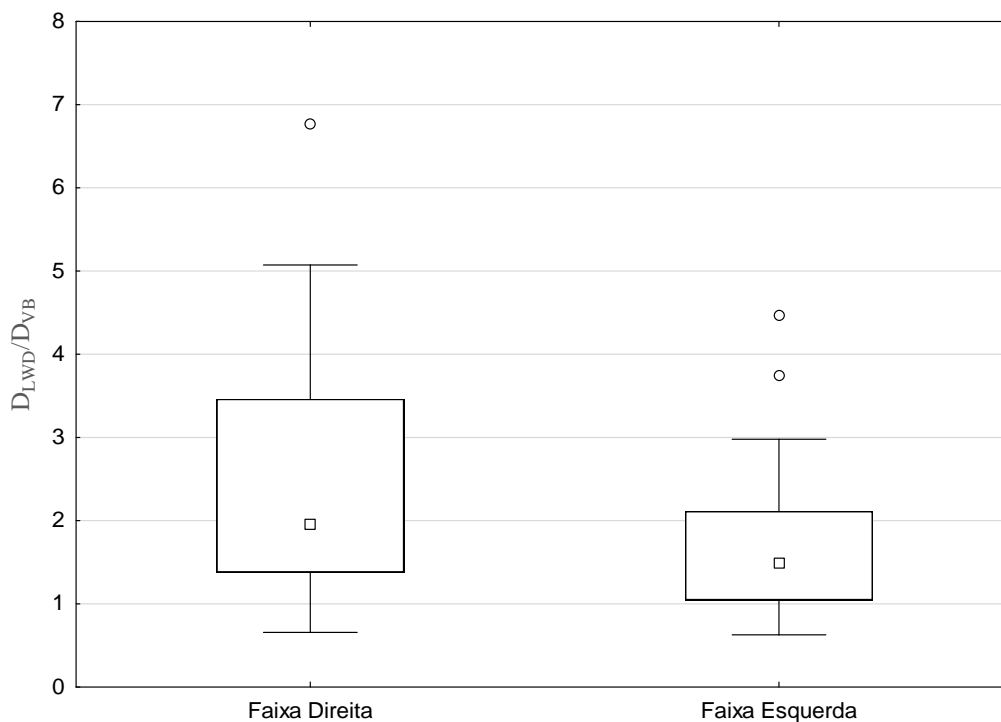
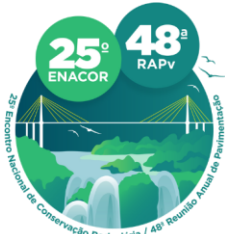


Figura 5. Boxplot da relação entre as deflexões medidas com viga Benkelman e as com LWD.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Ressalta-se ainda que o LWD, segundo recomenda o fabricante, apresenta faixa de teste de módulo de deformação dinâmica até no máximo 223 MPa. Tal fato pode estar atrapalhando nas leituras realizadas. Isso será avaliado em trabalhos posteriores após realização de ensaios dinâmicos para caracterização desses materiais do local.

Avaliação de desempenho e vida útil

Considerando as deflexões obtidas pela Viga Benkelman em cada faixa calculou-se os valores do número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t suportados nos dois casos (esquerda e direita). Chegou-se a valores de N na faixa da direita maiores que para faixa esquerda no caso do levantamento com a VB. Para o levantamento com LWD essa diferença foi menor entre as faixas. Lembrando que essa avaliação foi para uma suposta solução em tratamento superficial para o local que esteja sujeita a esse nível de deformação. Esse resultado mostra boa capacidade de suporte da via local. Trabalhos futuros avaliarão o volume de tráfego atual e a elasticidade da demanda da rodovia para estimar parcela de tráfego gerado nessa via.

Estatística	VB		LWD	
	Direita	Esquerda	Direita	Esquerda
D médio (x 0,01 mm)	22,77	28,91	42,9	39,0
Desvio Padrão	15,81	19,17	5,5	6,2
D característico (x 0,01 mm)	38,58	48,08	48,4	45,2
N	$6,14 \times 10^7$	$1,76 \times 10^7$	$1,69 \times 10^7$	$2,48 \times 10^7$

Tabela 2. Valores de N calculados para cada faixa.

CONCLUSÃO

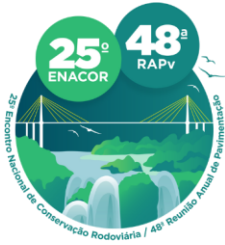
Com os resultados obtidos foi possível perceber a importância de levantamento estrutural nesse tipo de via no planejamento para correta aplicação de recursos públicos, sendo necessário que essas vias não pavimentadas e suas características específicas sejam objeto de pesquisas que correlacionem a utilização de diferentes equipamentos deflectométricos para a avaliação de suas condições estruturais. Dos resultados pode-se concluir que na média as deflexões foram majoradas pelo LWD em comparação com o levantamento feito com a Viga Benkelman. E, ao se avaliar mecanicamente esse pavimento numa solução em tratamento superficial chegou-se a valores número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 t da ordem de 10^7 , mostrando bom comportamento do pavimento atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENINCA, G. P.; SANTOS, A. G. Avaliação estrutural de pavimentos urbanos revestidos por concreto asfáltico sobre camada de paralelepípedos a partir de ensaios deflectométricos. In: 35 ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2021, 100% online. 35 ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. Anuário CNT do Transporte - Estatística Consolidada. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2020/File/PrincipaisDados.pdf>, 2020.

DALTON DE SOUZA, J; KOSIN, M; MELO, R. C.; SANTOS, R. A.; TEIXEIRA, L. R.; SAMPAIO, A. R.; GUIMARÃES, J. T.; VIEIRA BENTO, R.; BORGES, V. P.; MARTINS, A. A. M.; ARCANJO, J. B.; LOUREIRO, H. S. C.; ANGELIM, L. A. A. Mapa Geológico do Estado da Bahia – Escala 1:1.000.000. Salvador: CPRM, 2003. Versão



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



1.1. Programas Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo e Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB). Convênio de Cooperação e Apoio Técnico-Científico CBPM-CPRM. 2003.

DER-SP. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. Projeto de Pavimentação. IP-DE-P00/001. São Paulo, 53. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. DNER-PRO 101/79: Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis. Normas rodoviárias – Volume I. Procedimento – B. Brasília, DF, 1979.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 133 – Pavimentação asfáltica – Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman – Método de ensaio. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro. 2010.

FILHO, L. H. A.; RIBEIRO, L. F. M.; CASAGRANDE, M. D. T. Proposta de avaliação das condições estruturais e funcionais de trechos experimentais de uma estrada não revestida construída com diferentes técnicas de melhoramento de solos. Revista ENINFRA. Brasília – DF. v. 1. n. 1. p. 171 – 186. Nov. 2022.

FONTE, F. S. M.; DONATO, M.; GOUVEIA, B. G.; SANTANA, C. S. A.; SILVA, M. A. V. Analysis of the influence of tropical soil classification methods on railway subgrades according to repeated load triaxial (RLT) and light weight deflectometer (LWD) tests. Case Studies In Construction Materials, [S.L.], v. 17, p. 1-13, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01301>.

GUZZARLAPUDI, S. D.; ADIGOPULA, V. K.; KUMAR, R.. Comparative studies of lightweight deflectometer and Benkelman beam deflectometer in low volume roads. Journal Of Traffic And Transportation Engineering (English Edition), [S.L.], v. 3, n. 5, p. 438-447, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.005>.

KUTTAH, D. Determining the resilient modulus of sandy subgrade using cyclic light weight deflectometer test. Transportation Geotechnics, [S.L.], v. 27, p. 100482, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100482>.

RODRIGUES, P. R.; SANTOS, A. G.; ODEBRECHT, E. Avaliação do potencial de uso do defletoômetro de impacto leve para medidas de deflexão em pavimentos urbanos. Transportes, [S.L.], v. 28, n. 5, p. 70-82, 15 dez. 2020. Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo. <http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v28i5.2078>.

SANJAY, R.; TEJESHWINI, S.; MAMATHA, K. H.; DINESH, S. V. Comparative study on structural evaluation of flexible pavement using BBD and FWD. Materials Today: Proceedings, [S.L.], v. 60, p. 608-615, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.124>.

ZHENG, Y.; ZHANG, P. E LIU, H. (2019) Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement. International Journal of Pavement Engineering, v. 20, n. 8, p. 874-883.