

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO – UEMASUL
CAMPUS AÇAILÂNDIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

FAWAN LIMA TEIXEIRA

AVALIAÇÃO OBJETIVA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: levantamento do
afundamento da trilha de roda em rodovia na cidade de Açailândia-MA

Açailândia-MA

2023

FAWAN LIMA TEIXEIRA

AVALIAÇÃO OBJETIVA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: levantamento do
afundamento da trilha de roda em rodovia na cidade de Açailândia-MA

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil..

Orientador: Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho.

Açailândia-MA

2023

T266a

Teixeira, Fawan Lima

Avaliação objetiva de pavimentos flexíveis: levantamento do afundamento da trilha de roda em rodovia na cidade de Açailândia-MA / Fawan Lima Teixeira. – Açailândia: UEMASUL, 2024.

13 f. : il.

Artigo (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2024.

Orientador: Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho.

1. Avaliação rodoviária. 2. Afundamento da trilha de roda. 3. Treliza modificada. I. Título.

CDU 625.7/.8(812.1)

FAWAN LIMA TEIXEIRA

**AVALIAÇÃO OBJETIVA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: Levantamento do
afundamento da trilha de roda em rodovia na cidade de Açailândia-MA**

Artigo apresentado ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, *campus* Açailândia, como requisito para o grau de bacharelado em Engenharia Civil.

Aprovado em: 11/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



LEONARDO TELLES DE SOUZA PESSOA FILHO

Data: 08/03/2024 16:37:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho
Especialização em Infraestrutura de Transportes e Rodovias
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente



BRENDA GOMES DE LIMA MOURA

Data: 09/03/2024 14:57:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Brenda Gomes De Lima Moura
Mestrado em Ciência dos Materiais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente



RACHEL DE ANDRADE AVELAR DA SILVA

Data: 16/03/2024 18:44:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Me. Rachel de Andrade Avelar da
Silva**
Mestrado em Ciência dos Materiais
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	METODOLOGIA.....	8
2.1	TRELIÇA MODIFICADA	8
2.2	TESTE DE CAMPO.....	9
2.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	10
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	11
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	12
	REFERÊNCIAS.....	13

**AValiação OBJETIVA DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS: Levantamento do
afundamento da trilha de roda em rodovia na cidade de Açailândia-MA**

***OBJECTIVE EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENTS: Survey of wheel track
rutting on a highway in the city of Açailândia, MA.***

Fawan Lima Teixeira¹; Leonardo Telles de Souza Pessoa Filho².

¹ Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnologia e Letras (CCHSTL), Açailândia/MA, Brasil. Email: fawanteixeira.20180040055@uemasul.edu.br

ORCID:

² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Centro de Ciências Humanas, Sociais, Tecnologia e Letras (CCHSTL), Açailândia/MA, Brasil. Email: leonardo.filho@uemasul.edu.br

ORCID:

Resumo: O modal rodoviário tem um papel significativo no transporte brasileiro, com 65% do volume de mercadorias e 95% do transporte de passageiros. No entanto, 66% da malha rodoviária brasileira apresenta problemas no pavimento, geometria e sinalização. Nesse sentido, a conservação das estradas é crucial para o progresso socioeconômico do país, permitindo a eficiente movimentação de cargas e passageiros. Considerando sua importância, torna-se indispensável realizar avaliações periódicas e implementar programas de manutenção, conservação e restauração das rodovias. Um dos principais parâmetros para a análise do desempenho de pavimentos é a ocorrência de deformações, e o Afundamento da Trilha de Roda (ATR) destaca-se como um dos indicadores mais significativos. Diante desse contexto, esta pesquisa objetiva determinar o ATR, através do desenvolvimento de uma treliça modificada. O equipamento desenvolvido é composto por uma trena a laser acoplada a uma treliça metálica adaptada. A avaliação do ATR foi realizada através da medição das flechas nas trilhas de roda externa. Em seguida, os dados coletados foram registrados em uma planilha do Excel para realizar o inventário dos afundamentos. Com base nos dados obtidos pelo equipamento e nos padrões sugeridos pelos órgãos rodoviários, foi possível identificar pontos específicos da via que requerem intervenções devido a deformações excessivas.

Palavras-chave: Avaliação rodoviária, Afundamento da Trilha de Roda, Trelença modificada.

Abstract: The road transport mode plays a significant role in Brazilian transportation, accounting for 65% of the volume of goods and 95% of passenger transport. However, 66% of the Brazilian road network experiences issues with pavement, geometry, and signage. In this regard, road conservation is crucial for the country's socioeconomic progress, enabling the efficient movement of both cargo and passengers. Considering its importance, it becomes essential to conduct periodic assessments and implement maintenance, conservation, and restoration programs for highways. One of the key parameters for analyzing pavement performance is the occurrence of deformations, with Wheel Track Rut (WTR) standing out as one of the most significant indicators. Given this context, this research aims to determine WTR through the development of a modified truss. The equipment developed consists of a laser rangefinder attached to an adapted metal truss. The evaluation of WTR was performed by measuring deflections in the external wheel tracks. Subsequently, the collected data were recorded in an Excel spreadsheet to compile an inventory of depressions. Based on the data obtained from the equipment and the standards recommended by road authorities, it was possible to identify specific areas of the road that require interventions due to excessive deformations.

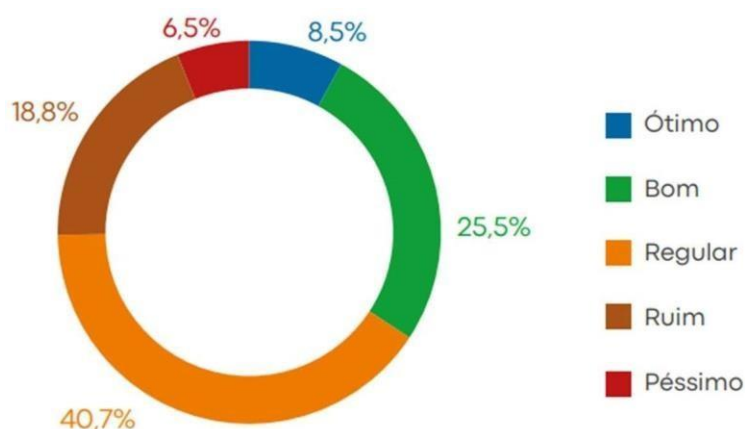
Keywords: Road assessment, Wheel Track Rut, Modified truss.

1 INTRODUÇÃO

Com uma expressiva parcela de participação na matriz de transporte brasileira, o modal rodoviário se destaca, abarcando cerca de 65% do volume de mercadorias transportadas e aproximadamente 95% do transporte de passageiros (CNT, 2021).

Na última década, os investimentos em infraestrutura rodoviária estão bem abaixo do necessário, resultando em perda de competitividade do país. A matriz rodoviária está deficiente devido à incapacidade das estradas em atender à crescente demanda de transporte das cargas nacionais.

Segundo CNT (2022), constata-se que houve uma deterioração na condição geral das estradas brasileiras em 2022. Na extensão total avaliada em 2022, observa-se que, 66,0% (72.763 quilômetros) da malha rodoviária apresenta problemas no pavimento, geometria e sinalização, sendo classificados seus estados de conservação no gráfico da Figura 1.



*Figura 1 – Gráfico da classificação geral das rodovias.
Fonte: CNT (2022).*

Essas condições inadequadas acarretam, adicionalmente, danos ambientais e à saúde, pois implicam no aumento das emissões de gases do efeito estufa. Gerando um aumento no custo do transporte de cargas e passageiros de cerca de R\$ 4,89 bilhões no Brasil, devido ao consumo adicional de 1,072 bilhão de litros de diesel (CNT, 2022).

Nesse sentido, a conservação dos pavimentos no Brasil desempenha um papel fundamental no progresso socioeconômico do país, uma vez que uma infraestrutura sólida permite a movimentação eficiente de cargas e passageiros em toda extensão nacional. Considerando sua importância, torna-se indispensável realizar avaliações periódicas e implementar programas de manutenção, conservação e restauração das rodovias, tanto por parte do governo quanto por iniciativas privadas. Tais avaliações podem ser conduzidas por meio de métodos objetivos ou subjetivos.

Com base na avaliação das vias de rodagem e na identificação dos trechos com piores ou melhores níveis de serventia, torna-se possível planejar ações corretivas mais eficazes.

Para tanto, as normas do DNIT 005, 006 e 007 estabelecem a metodologia e os equipamentos a serem utilizados durante essa avaliação.

Assim sendo, fica evidente a importância de realizar o acompanhamento e a medição dos defeitos nas vias, utilizando diferentes métodos e equipamentos. Contudo, as metodologias atuais, dispõem de equipamentos de baixa produtividade e processos demorados de avaliação. Como resultado, é comum que apenas as estradas principais de uma rede sejam regularmente monitoradas.

Um dos principais parâmetros para a análise do desempenho de pavimentos é a ocorrência de deformações, e o Afundamento da Trilha de Roda (ATR) destaca-se como um dos indicadores mais significativos. A regulamentação para a avaliação desses problemas no país é estipulada pela norma DNIT 006/2003–PRO (2003). O afundamento da trilha de roda representa a medida da profundidade da depressão deixada por veículos em estradas ou superfícies de rolamento.

Diante desse contexto, a presente pesquisa objetiva determinar o Afundamento da Trilhas de Roda (ATR), através do desenvolvimento de uma treliça modifica. De forma a tornar mais rápida e eficiente, a avaliação desse tipo de feito em pavimentos.

2 METODOLOGIA

Para a realização da avaliação do ATR, conforme o DNIT 007/2003 – PRO, deve-se analisar a profundidade e a frequência dos afundamentos nos trechos avaliados, sendo este trecho tido como homogêneo e de mesmas ou muito próximas características físicas.

2.1 TRELIÇA MODIFICADA

O equipamento desenvolvido é composto por uma trena laser, modelo Inkersi – Telêmetro a laser, 40 m medidor, Range Finder, com precisão de ± 2 mm e armazenamento máximo de 99 medições (INKERSI, 2019). Além da trena, utilizou-se uma treliça metálica adaptada, similar à treliça convencional recomendada pela norma DNIT 007/2003 – PRO, sendo esse equipamento fornecido pelo Laboratório de Hidráulica, Geotecnia e Pavimentação – HIGEOPAV.

Em sequência, a trena laser foi fixada na treliça, substituindo-se a régua móvel pela trena a laser. A Figura 2 apresenta ambos os materiais utilizados.



Figura 2 – Materiais utilizados.

Fonte: a) INKERSI (2019); b) Autor (2023).

2.2 TESTE DE CAMPO

A avaliação foi conduzida, na avenida Alexandre Costa, no município de Açailândia-MA, no dia 10 de outubro de 2023, às 15 horas. A Figura 3 apresenta o segmento rodoviário escolhido para a avaliação.

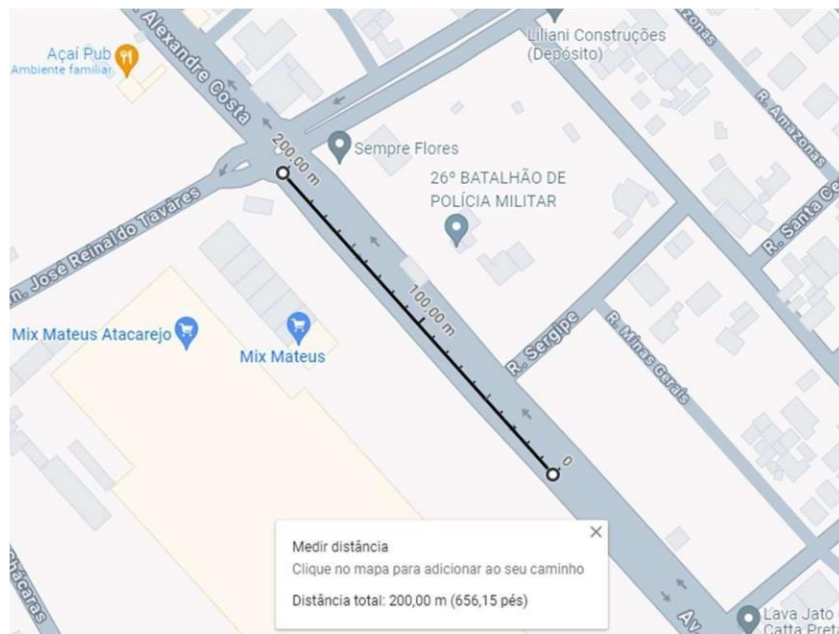


Figura 3 – Trecho escolhido para a avaliação.

Fonte: Autor (2023).

A avaliação do ATR será realizada através da medição das flechas nas trilhas de roda externa TRE, utilizando a treliça metálica modificada. Para isso, foi necessário realizar medições numa superfície plana, para possibilitar a comparação entre as medidas de afundamento no pavimento em relação ao piso plano de referência, conforme a Figura 4.



Figura 4 – Aferição do plano de referência.

Fonte: Autor (2023).

Além disso, fez-se a demarcação dos pontos a serem avaliados conforme preconizado pela norma DNIT 006/2003 – PRO. As estacas foram marcadas, com uso de giz a cada 20 metros. Como o segmento em questão é uma pista dupla, ambas as pistas foram demarcadas, totalizando 10 estacas em cada pista. Também foram colocados cones de sinalização para a segurança dos avaliadores. Com a demarcação das estacas, deu-se prosseguimento a medida do ATR, na trilha de roda externa de ambas as pistas, conforme a Figura 5.



*Figura 5 – Levantamento do ATR.
Fonte: Autor (2023).*

Em seguida, os dados coletados foram registrados numa planilha do Excel para realizar o inventário dos afundamentos.

2.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para a avaliação das flechas medidas na trilha de roda, é necessário calcular a média aritmética dos valores médios (\bar{X}) das flechas, em milímetros, e a variância (s^2) das flechas medidas. Para vias de pista dupla, esses parâmetros devem ser calculados separadamente para as TRE das faixas mais solicitadas do tráfego. Segue abaixo as fórmulas utilizadas para calcular a média, desvio padrão e variância das flechas medidas nas trilhas de roda.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{K})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{K})^2}{n-1} \quad (3)$$

onde:

X – Média aritmética das flechas medidas para a TRE;

x_i – Valores individuais;

S – Desvio padrão das flechas medidas para a TRE;

S^2 – Variância.

Adicionalmente, foram empregadas planilhas do Excel para o processamento dos dados das medições, utilizando as equações acima.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Gráfico 1 expõe os dados obtidos no experimento.

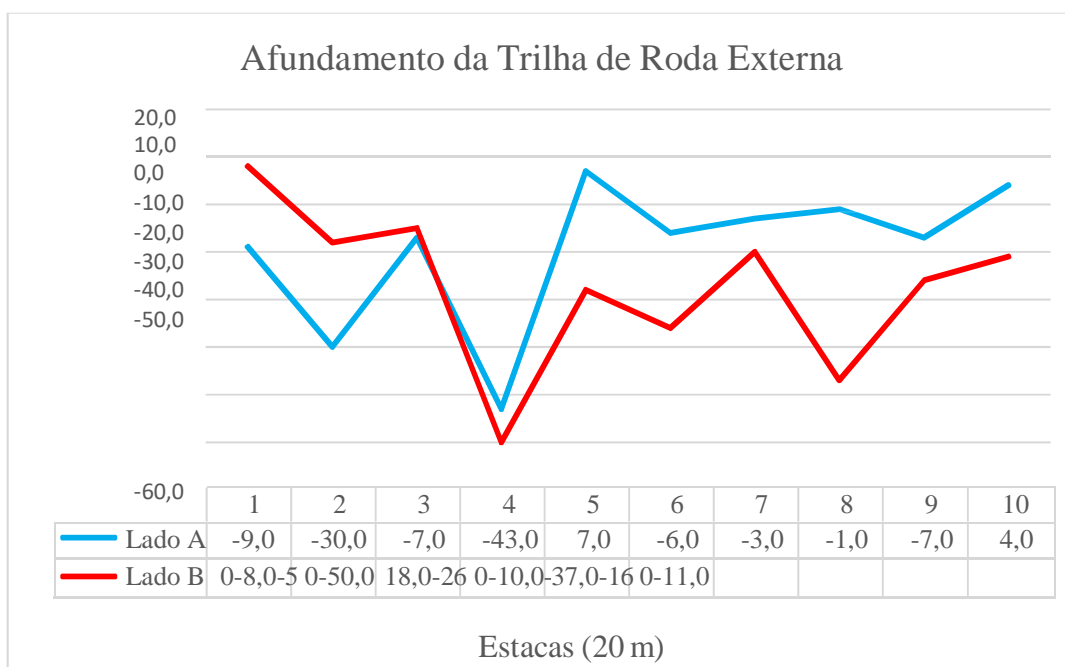


Gráfico 1 – Afundamentos do trecho analisado.

Fonte: Autor (2023).

Em determinadas estacas, são apresentados valores de afundamento que ultrapassam os 12 mm, que segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT, 2006), é um indicativo de comprometimento estrutural da pista.

Outros autores, apresentam valores máximos admissíveis diferentes para deformações. Choi (2013) e Lacroix (2013) consideram valores satisfatórios de até 12,5 mm de ATR. Já Medina e Motta (2015), informam que resultados de ATR entre 10 e 16 mm são considerados satisfatórios. A Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT, especifica o valor máximo da flecha admissível como sendo de 7 mm.

Os valores positivos dos afundamentos apontam a presença de elevações em relação ao

plano de referência, indicando a presença de remendos mal executados no segmento viário em questão. Esses remendos, são caracterizados como patologias funcionais do pavimento, segundo a norma DNIT 005/2003- TER, pois causam desconforto aos usuários.

A partir dos dados do ATR, foram calculados a média, o desvio padrão e a variância, em ambos os segmentos, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição estatística dos dados dos afundamentos.

Pista	Flecha (mm)		
	Média	Desvio Padrão (S)	Variância (S ²)
Lado A	-9,5	15,41	237,39
Lado B	-17,3	16,69	278,46

Fonte: Autor (2023).

É possível observar que a média da flecha no lado B é quase duas vezes maior que no lado A. Já o desvio padrão e a variância, em ambos os lados, apresentam semelhanças, entretanto, esses valores são altos, indicando uma grande variabilidade nos afundamentos.

Com essas análises estatísticas é possível compreender a variação e a distribuição das flechas medidas, fornecendo informações importantes para a avaliação e o planejamento de intervenções na via, como:

- Avaliação da prioridade de intervenções, visto que, é possível determinar quais áreas exigem intervenções imediatas em comparação com aquelas que podem aguardar.
- Monitoramento de desempenho, pois as análises estatísticas podem ser usadas para estabelecer um banco de dados de desempenho da via ao longo do tempo, ajudando a avaliar a eficácia das intervenções realizadas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cerca do equipamento desenvolvido, observa-se que o mesmo apresentou um ganho na velocidade de aquisição dos dados, uma vez que a trena laser é capaz de armazenar os dados das flechas medidas, dispensando a necessidade de papel e caneta para anotar os dados. Além disso, a aferição dos afundamentos com um medidor digital oferece maior precisão em comparação com a régua metálica analógica. Produzindo resultados mais confiáveis e registros com maior detalhamento.

Através da avaliação dos afundamentos, é possível identificar áreas específicas da via que requerem intervenções devido a deformações excessivas. Isso auxilia os órgãos responsáveis pela gestão rodoviária na tomada de decisões. Compreender a ocorrência de afundamentos ajuda a melhorar a segurança nas estradas, garantindo que os veículos possam circular de maneira mais segura e prevenindo acidentes relacionados a deformações no pavimento.

Com base nos dados obtidos a partir do equipamento e nos padrões sugeridos pelos órgãos rodoviários, o trecho em análise, requer reforço no revestimento e na base onde necessário, a fim de manter as características funcionais da via.

Em trabalhos futuros, planeja-se utilizar outros modelos de trena laser, modelos que tenham conectividade com aparelhos celulares, de modo a superar a limitação de memória apresentada pela trena.

REFERÊNCIAS

CHOI, Y. T. **Development of a mechanistic prediction model and test protocol for the permanent deformation of asphalt concrete.** (Dissertation of Philosophy). North Carolina State University. 2013.

CNT, **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?**. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/>. Brasília – DF, 2017. Acesso em Março de 2023.

Confederação Nacional de Transportes – CNT, **Pesquisa CNT de rodovias 2022.** Brasília: CNT : SEST SENAT, 229 p, 2022.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 005/2003- TER: defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia.** Rio de Janeiro: IPR, 2003.

_____. **DNIT 006/2003 – PRO:** avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003.

_____. **DNIT 007/2003 – PRO:** levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2003.

_____. **DNIT 2006:** Manual de restauração de pavimentos asfálticos. Rio de Janeiro, 2006a.

LACROIX, A. T. **Performance prediction of the NCAT test track pavements using mechanistic models.** Dissertation (Doctor of Philosophy). North Carolina State University, 2013.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos.** 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2015.

MATIAS, Rubens Feitosa. **Revisão bibliográfica sobre pavimento rígido e pavimento flexível considerando dimensionamento e custos.** Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral. 2022. 98 p. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

PINTO, P. C; TAFFE, E; GARCIA, F. T; BITENCOURT, F.; PASSOS, M.; BIANCHINI, M. – **Metodologia de avaliação e diagnóstico da rede pavimentada do DAER-RS** – Revista Estradas, nº18, 2013.