



INSTITUTO FEDERAL
GOIÁS
Câmpus Anápolis

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA
MOBILIDADE**

**ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES PERMANENTES DO PAVIMENTO ASFÁLTICO
EM UM TRECHO DA AVENIDA PEDRO LUDOVICO EM ANÁPOLIS – GOIÁS**

RICARDO RUBERTI FRADE FERREIRA

ORIENTADORA: Prof^a. Ph.D ANGELA CUSTODIA GUIMARAES QUEIROZ

PUBLICAÇÃO:

ANÁPOLIS

2025

RICARDO RUBERTI FRADE FERREIRA

**ANÁLISE DAS DEFORMAÇÕES PERMANENTES DO PAVIMENTO ASFÁLTICO
EM UM TRECHO DA AVENIDA PEDRO LUDOVICO EM ANÁPOLIS – GOIÁS**

Trabalho de Conclusão do Curso II de Engenharia Civil da Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Anápolis, como requisito parcial para conclusão de curso.

Orientadora: Prof. Ph.D Angela Custodia Guimaraes Queiroz

ANÁPOLIS, 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

FERREIRA, Ricardo Ruberti Frade

F383a Análise das deformações permanentes do pavimento asfáltico em um trecho da avenida Pedro Ludovico em Anápolis – Goiás./ Ricardo Ruberti Frade Ferreira. – Anápolis: IFG, 2025.
44 f. il. color.

Orientadora: Prof. Dra. Angela Custodia Guimaraes Queiroz.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Anápolis – Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade, 2025.

1. Afundamento em trilhas de roda. 2. Pavimento flexível. 3. Deformação permanente.

I. QUEIROZ, Angela Custodia Guimaraes (orient.).

II. Título.

CDD 625.8



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS

ATA Nº 13/2024.2

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

Aos 10 dias do mês de março do ano de dois mil e vinte cinco, às 15 horas, no campus Anápolis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, foi realizada a sessão pública de apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Graduando **Ricardo Ruberti Frade Ferreira** (matrícula 20171060130223) do curso de Engenharia Civil da Mobilidade. A banca foi composta pelos seguintes membros: Angela Custódia Guimarães Queiroz, Patrícia Azevedo dos Santos e Fabrício Nascimento Silva, sob a presidência da primeira. O trabalho de conclusão de curso tem como título **“Análise das deformações permanentes do pavimento asfáltico da avenida Pedro Ludovico em Anápolis - GO”**, da área de Geotecnia, sob orientação da Profa. Angela Custódia Guimarães Queiroz. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso 2, tendo sido o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 9,0 (nove).

Encerra-se a presente sessão às 16 horas. Eu, Prof. Angela Custódia Guimarães Queiroz, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca e pelo graduando.

(assinado eletronicamente)

Profa. Angela Custódia Guimarães Queiroz

Profa. Patrícia Azevedo dos Santos

Prof. Fabrício Nascimento Silva

Ricardo Ruberti Frade Ferreira
(Graduando)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Patrícia Azevedo dos Santos**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/03/2025 13:47:53.
- **Ricardo Ruberti Frade Ferreira**, 20171060130223 - Discente, em 11/03/2025 11:49:04.
- **Angela Custodia Guimaraes Queiroz**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 10/03/2025 17:13:06.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 10/03/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 625508
Código de Autenticação: 487bb5ec62



**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Ricardo Ruberti Frade Ferreira

Matrícula: 20171060130223

Título do Trabalho: Análise das deformações permanentes do pavimento asfáltico em um trecho da avenida Pedro Ludovico em Anápolis – Goiás

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS**

_____, Anápolis, 10 / 04 / 2025

Local

Data



Documento assinado digitalmente

RICARDO RUBERTI FRADE FERREIRA

Data: 15/04/2025 22:07:00-0300

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

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Este trabalho é dedicado a Deus, que providenciou toda a minha trajetória para que eu chegasse até aqui. Dedico à minha mãe, Helena Frade (in memoriam), que tanto se doou para que eu tivesse esta oportunidade. Dedico à minha querida esposa, Letícia Vilela, que não mede esforços para cuidar de todas as obrigações sozinha, enquanto eu me dedico ao curso.

RESUMO

Este trabalho investiga as deformações permanentes no pavimento asfáltico, com foco no afundamento das trilhas de roda, em um trecho da Avenida Pedro Ludovico, em Anápolis (GO), devido ao intenso tráfego de veículos pesados. A pavimentação de qualidade é crucial para a eficiência do transporte de cargas, especialmente em regiões produtivas como o Centro-Oeste. O foco deste trabalho é analisar o afundamento plástico e de consolidação, que ocorre pela ação contínua das cargas transitórias sobre o pavimento. A metodologia que foi empregada segue a norma DNIT 433/2021-PRO, a qual padroniza o uso de treliça de medição para identificar as deformações no pavimento asfáltico, porém essa ferramenta se torna inacessível ao nosso estudo devido seu alto valor agregado. Diante desse desafio, propomos uma nova metodologia para medir as deformações permanentes, utilizando nível ótico utilizado em topografia. Além do mais, uma treliça de baixo custo foi construída, respeitando as medidas da treliça presente na norma, para coletar os dados e comparar com os resultados obtidos ao empregar a nova metodologia. A pesquisa delimita um trecho de 200 metros na Avenida Pedro Ludovico, onde se realiza a medição a cada 10 metros de afundamentos na via, utilizando instrumentos de alta precisão. Além disso, o levantamento dos dados em campo é acompanhado por análises estatísticas que permitem calcular a média, desvio padrão e variância das deformações. Ao utilizar a treliça de baixo custo, os valores obtidos para essas três variáveis foram: 6,35 mm, 0,78 mm² e 0,88 mm respectivamente. Entretanto, os dados coletados com as ferramentas de topografia propostas obtiveram valores de 6,65 mm de média, 0,89 mm² de variância e 0,94 mm de desvio padrão, mostrando uma diferença menor que 0,5 mm para os resultados das variáveis requisitadas. Diante da baixa diferença entre os dados coletados ao utilizar as duas metodologias, então o uso do material de topografia para medir afundamento em trilhas de rodas se fez eficiente e os resultados da média, variância e desvio padrão obtidos por essa pesquisa, poderão subsidiar futuras intervenções e contribuir para a melhoria da manutenção viária, aumentando a durabilidade do pavimento e a segurança dos usuários.

Palavras-chave: Afundamento em trilhas de roda. Pavimento Flexível. Deformação permanente.

ABSTRACT

This study investigates permanent deformations in asphalt pavement, focusing on the sinking of wheel tracks, in a section of Pedro Ludovico Avenue, in Anápolis (GO), due to the intense traffic of heavy vehicles. Quality paving is crucial for the efficiency of cargo transportation, especially in productive regions such as the Midwest. The focus of this study is to analyze plastic and consolidation sinking, which occurs due to the continuous action of transient loads on the pavement. The methodology that was used follows the DNIT 433/2021-PRO standard, which standardizes the use of a measuring lattice to identify deformations in asphalt pavement. However, this tool becomes inaccessible to our study due to its high added value. Faced with this challenge, we propose a new methodology to measure permanent deformations, using an optical level used in topography. Furthermore, a low-cost truss was built, respecting the truss measurements established in the standard, to collect data and compare them with the results obtained using the new methodology. The research delimits a 200-meter stretch on Pedro Ludovico Avenue, where measurements are taken every 10 meters of road subsidence, using high-precision instruments. Furthermore, a low-cost truss was built, respecting the truss measurements present in the standard, to collect data and compare them with the results obtained using the new methodology. The research delimits a 200-meter stretch on Pedro Ludovico Avenue, where measurements are taken every 10 meters of road subsidence, using high-precision instruments. In addition, the field data collection is accompanied by statistical analyses that allow the calculation of the mean, standard deviation and variance of the deformations. When using the low-cost truss, the values obtained for these three variables were: 6.35 mm, 0.78 mm² and 0.88 mm respectively. However, the data collected with the proposed topography tools obtained values of 6.65 mm of mean, 0.89 mm² of variance and 0.94 mm of standard deviation, showing a difference of less than 0.5 mm for the results of the requested variables. Given the small difference between the data collected when using the two methodologies, the use of topography material to measure subsidence in wheel tracks was efficient and the results of the mean, variance and standard deviation obtained by this research may support future interventions and contribute to improving road maintenance, increasing pavement durability and user safety.

Keywords: Subsidence in wheel tracks. Flexible pavement. Permanent deformation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
AC	Afundamento de Consolidação
ALC	Afundamento de consolidação Local
ALP	Afundamento Plástico Local
AP	Afundamento Plástico
ATC	Afundamento de consolidação da Trilha de Roda
ATP	Afundamento Plástico na Trilha de Roda
CE	Centro
cm	Centímetro
CMTT	Companhia Municipal de Trânsito e Transportes
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de transporte
DP	Deformação do pavimento
LD	Lado Direito
LE	Lado Esquerdo
m	metros
PND	Pavimento Não Deformado
PRO	Procedimento
TER	Terminologia
TER	Trilhas de Rodas Externas
TRI	Trilhas de Rodas Internas

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Pavimento Asfáltico	13
FIGURA 2 - Camadas Típicas Do Pavimento.....	14
FIGURA 3 - Tensões Induzidas Em Um Pavimento Devido Às Cargas Móveis	14
FIGURA 4 - Tensões Induzidas Em Um Pavimento Devido Às Cargas Móveis	15
FIGURA 5 - Afundamento Plástico	16
FIGURA 6 - Afundamento De Consolidação.....	16
FIGURA 7 - Trelça Para Medir As Flechas	18
FIGURA 8 - Trelça De Alumínio.....	18
FIGURA 9 - Instrumentos A Serem Usados Na Coleta De Dados	21
FIGURA 10 – Materiais e ferramentas utilizadas	21
FIGURA 11 – Trelça de madeira	21
FIGURA 12 – Medidas da trelça.....	213
FIGURA 13 – Pneus interditando uma faixa da via selecionada	21
FIGURA 14 – Marcação da via onde os dados serão coletados.....	217
FIGURA 15 – Marcação da via onde os dados serão coletados.....	218
FIGURA 16 – Disparo da régua da trelça	218
FIGURA 17 – Leitura do deslocamento da régua	219
FIGURA 18 – Ajuste do Nível	30
FIGURA 19A - Apontamento	30
FIGURA 19B – Ajuste do foco	30
FIGURA 19C – Leitura da régua	30

LISTA DE MAPAS

MAPA 1 - Via De Ligação Entre A Go – 222 E A Br – 158	19
MAPA 2 - Delimitação Do Trecho Escolhido.....	19
MAPA 3 - Maior Aproximação Do Trecho Escolhido.....	19

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Ficha de dados coletados com a treliça.....	19
TABELA 3 – Ficha de dados coletados com nível ótico	33
TABELA 3 – Ficha de resultado dos valores coletados com nível ótico	34
TABELA 4 – Comparativo dos dados obtidos	35

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVO GERAL	11
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	13
2.2. AFUNDAMENTO E DEFORMAÇÃO PERMANENTE NO PAVIMENTO FLEXÍVEL 15	
2.3. PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE DEFEITOS ESTRUTURAIS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.	17
3. METODOLOGIA	18
3.1. DELIMITAÇÃO DO TRECHO ESTUDADO	18
3.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS E O PROCESSO EMPÍRICO REALIZADO.....	20
3.3. CONSTRUÇÃO DA TRELIÇA DE BAIXO CUSTO.....	21
3.4. PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS EM CAMPO.....	23
3.5. ANÁLISE DOS DADOS	24
3.5.1. Dados coletados com o nível ótico.....	25
3.6. LIBERAÇÃO DA INTERDIÇÃO DA VIA PARA COLETA DE DADOS	26
3.7. COLETA DOS DADOS.....	27
3.7.1. Intervenção da via e marcação das estacas.....	27
3.7.2. Coleta dos dados com a treliça	28
3.7.3. Coleta dos dados com o nível ótico	29
4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	31
4.1. ANÁLISE DOS DADOS	31
4.1.1. Dados levantados com a treliça	31
4.1.2. Dados levantados com o nível ótico.....	32
4.2. COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO NÍVEL VS TRELIÇA....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS.....	39
ANEXO A.....	40
ANEXO B	41

1. INTRODUÇÃO

As rodovias e algumas avenidas pavimentadas desempenham um papel fundamental no transporte de mercadorias e alimentos, especialmente em uma região tão produtiva como o centro-oeste goiano, onde grande parte do transporte de mercadorias e alimentos é realizado por meio de caminhões. A pavimentação asfáltica bem conservada é essencial para garantir a eficiência do transporte de cargas, contribuindo para a redução dos custos logísticos e do tempo de deslocamento, além de manter a qualidade dos produtos transportados. Uma infraestrutura rodoviária adequada é fundamental para o bem-estar dos usuários, facilitando o fluxo dos carros, motocicletas e ônibus entre áreas urbanas residenciais e centros de produção de mercadoria. Porém, nem sempre encontramos ruas e rodovias em bom estado de conservação.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) considera a deformação permanente no pavimento asfáltico, também conhecida como afundamento de trilha de roda, uma das principais falhas estruturais do pavimento asfáltico no Brasil. Este tipo de defeito ocorre ao longo das faixas de rodagem, onde os pneus dos veículos fazem contato frequente, aplicando repetidamente variadas cargas sobre o pavimento. De acordo com o (DNIT, 2006), a deformação permanente é caracterizada pela perda da forma original do pavimento devido a uma compactação instalada ou ao uso de materiais com resistência insuficiente para suportar o tráfego intenso. Segundo Maia (2012), a deformação permanente de trilha de roda são deformações transversais que se desenvolvem longitudinalmente no eixo de ação dos pneus. Essa particularidade é preocupante, pois contribui para o acúmulo de água nas depressões formadas, aumentando o risco de aquaplanagem e, conseqüentemente, de acidentes. Além do mais, esse tipo de deformação contribui com o desgaste acelerado dos veículos e com o desconforto causado aos usuários da via. Com isso, destaca-se a necessidade de monitoramento constante para evitar avanço de patologias, comprometendo a qualidade e a durabilidade do pavimento.

A avaliação e medição do afundamento de trilhas de rodas é uma etapa essencial no diagnóstico das condições estruturais do pavimento asfáltico. Esse processo permite identificar o grau de interferência e os pontos críticos que serão abordados na intervenção. Segundo Melo (2018), a análise das patologias do pavimento, como a deformação permanente, é fundamental para ações corretivas e preventivas planejadas que prolonguem a vida útil do pavimento asfáltico. O levantamento preciso dessas deformações possibilita uma melhor gestão da manutenção viária, reduzindo custos com reparos emergenciais, melhorando o conforto e a

segurança dos usuários, além de contribuir com a preservação dos veículos que circulam por esta via.

De acordo com dados do IBGE (s.d.), a frota de veículos no município Anápolis, Goiás, é de 319.524, o que contribui para uma alta demanda sobre o sistema viário da cidade. Assim, a Avenida Pedro Ludovico, uma das principais vias urbanas desse município, absorve grande parte do tráfego, especialmente de veículos pesados, propiciando o aparecimento de deformações permanentes ao longo do leito carroçável. Portanto, parte da avenida Pedro Ludovico será utilizada como local de análise de deformação permanente para a medição do afundamento nas trilhas de rodas.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desse trabalho é averiguar as deformações permanentes no pavimento asfáltico da Avenida Pedro Ludovico em Anápolis, resultantes do afundamento nas trilhas de rodas dos caminhões e, posteriormente, mensurar a profundidade do afundamento do pavimento asfáltico nas deformações mapeadas, propondo uma nova metodologia na coleta de dados e posteriormente comparar o resultado, com valores obtidos através da coleta utilizando o método tradicional.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em busca de atingir o objetivo geral deste trabalho, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o afundamento do pavimento flexível na Avenida Pedro Ludovico em Anápolis;
- Identificar os locais específicos dessas patologias, delimitando um percurso a ser estudado;
- Analisar a profundidade dessas deformações conforme parâmetros da NORMA DNIT 433/2021 - PRO;
- Utilizar equipamentos que não constam na norma para medir a profundidade da deformação permanente e comparar com valores obtidos com o uso da ferramenta padronizada na norma;

- Elaborar um banco de dados contendo os locais analisados e as profundidades obtidas da análise dos afundamentos permanentes;
- Disponibilizar os resultados alcançados para estudos posteriores e para órgãos de manutenção de vias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os pavimentos são desenvolvidos de maneira que cada camada possua uma espessura e rigidez específica, permitindo que, juntas, ofereçam uma resistência adequada às condições climáticas, características do terreno e volume de tráfego, garantindo assim o desempenho esperado ao longo de sua vida útil (Costa, 2018). Sobre a definição de pavimentos, podemos afirmar que:

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. (Bernucci, 2008, p. 11).

As variações de pavimentos existentes, geralmente são divididos em três tipos: flexível, semirrígido e rígido. Pavimento asfáltico é constituído de ligante betuminoso e é denominado pavimento flexível. Por outro lado, o pavimento rígido tem em sua formação o concreto de cimento Portland. Há também o pavimento semirrígido, que é a junção do pavimento flexível com o pavimento rígido, porém estes dois últimos não são foco de estudo nesse trabalho. Conforme classificação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), os três tipos de pavimentos rodoviários são denominados como:

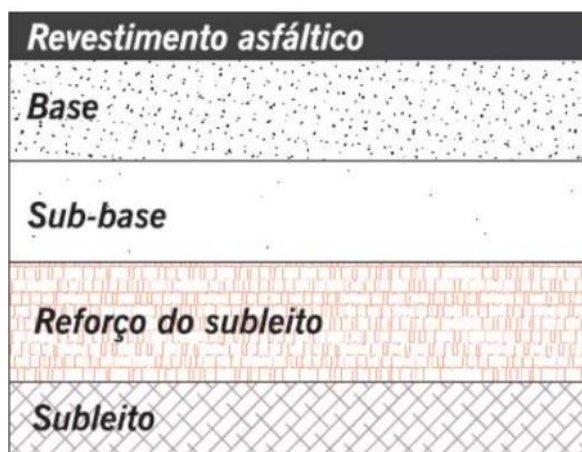
- Flexível: aquele em que todas as suas camadas sofrem deformações elásticas devido à carga aplicada, distribuindo essa carga de maneira quase uniforme entre as camadas. Um exemplo comum desse tipo de pavimento é aquele construído com uma base de brita (como brita graduada ou macadame) ou uma base de solo pedregulhos, coberta por uma camada asfáltica no revestimento.
- Semirrígido: caracteriza-se por possuir uma base cimentada, composta por materiais com propriedades aglutinantes, como uma camada de solo-cimento, coberta por um revestimento asfáltico.

- Rígido: seu revestimento tem uma camada de alta rigidez em comparação com as demais, o que permite que ele absorva quase todas as tensões causadas pelo tráfego. Um exemplo típico é o pavimento feito com placas de concreto de cimento Portland.

2.1. PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

De acordo com o estudo de Felício (2023), pavimentos flexíveis, também definidos como pavimento asfáltico, são estruturas constituídas por diversas camadas projetadas para suportar o tráfego e distribuir as cargas provenientes dos veículos de tal maneira que elas sejam transmitidas progressivamente ao solo, minimizando o impacto em suas camadas inferiores. Essas camadas estruturais do pavimento flexível são compostas por revestimento asfáltico, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, conforme Figura 1, onde cada uma dessas, desempenha um papel fundamental na resistência e durabilidade do pavimento (DNIT, 2006).

Figura 1 - Pavimento Asfáltico

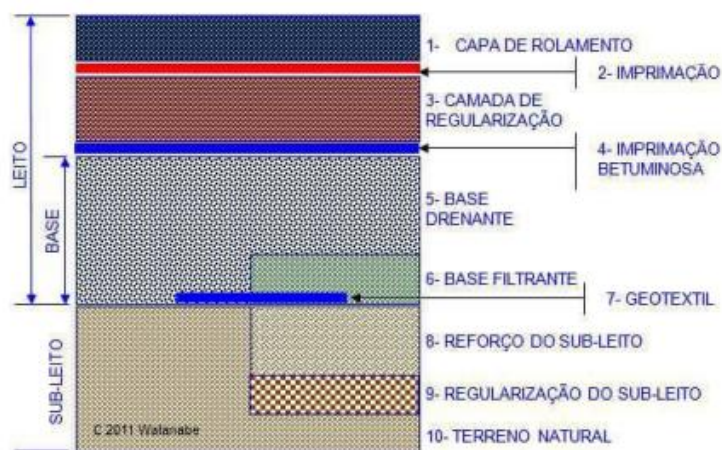


Fonte: CAMARGO (2023, p. 15).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 8547) define a sobreposição dessas camadas como pavimento flexível, onde cada uma dessas camadas, contém uma função específica para garantir o desempenho estrutural e durabilidade da via.

Segundo Biroli (2003), apud (Felício, 2023), o pavimento flexível é composto por várias camadas de diferentes materiais. No entanto, dependendo das tensões aplicadas e da capacidade de suporte do subleito, algumas dessas camadas podem ser dispensadas. A seguir, a Figura 2, exemplifica basicamente as divisões de cada camada do pavimento flexível.

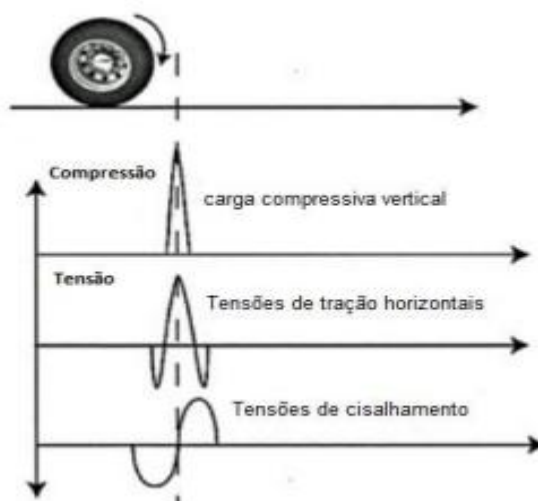
Figura 2 - Camadas típicas do pavimento



Fonte: WATANABE (2018, citado por Melo, 2012, p. 29).

O pavimento asfáltico sofre contato direto com as rodas dos veículos, denominando essa camada de contato como faixa de rolamento. Segundo Costa (2018), durante esse contato, as cargas do tráfego são transmitidas à faixa de rolamento, onde o pavimento sofre três diferentes tipos de carregamento: carga compressiva vertical descarregada diretamente na superfície do pavimento, sendo imediatamente transmitida às camadas inferiores da pavimentação, tensões horizontais de tração que atuam na parte inferior da camada asfáltica e tensões de cisalhamento que ocorrem dentro do pavimento. A figura 3 exemplifica como as tensões provenientes de cargas móveis são induzidas em um pavimento flexível.

Figura 3 - Tensões induzidas em um pavimento devido às cargas móveis



Fonte: COSTA (2018, p. 26).

Ao longo da vida útil de um pavimento, as tensões introduzidas na faixa de rolamento podem ser agravadas devido ao aumento no volume de tráfego, variações significativas de temperatura e ao peso crescente dos veículos. De acordo com Maia (2012), esses fatores fazem com que a via se torne uma estrutura em constante movimentação, acelerando o desgaste de suas características iniciais mais rápido do que o esperado e, conseqüentemente, causando patologias na malha asfáltica.

2.2. AFUNDAMENTO E DEFORMAÇÃO PERMANENTE NO PAVIMENTO FLEXÍVEL

As depressões na superfície do pavimento são patologias estruturais definidas como afundamentos permanentes, podendo atingir somente o revestimento asfáltico ou até mesmo as suas camadas subjacentes, inclusive o subleito. De acordo com Maia (2012), as cargas transferidas ao pavimento flexível geram tensões em suas múltiplas camadas, causando degradação do betume asfáltico e das camadas inferiores como podemos observar na figura 4.

Figura 4 - Tensões induzidas em um pavimento devido às cargas móveis



Fonte: MAIA (2012, p. 4).

Costa (2018), afirma que “uma das patologias mais encontradas na malha rodoviária brasileira é o afundamento ou deformação permanente de trilha de roda”, fazendo com que o desempenho do pavimento se torne inferior ao de projeto. De acordo com DNIT 005/2003-TER, há duas classificações para os afundamentos, onde cada uma delas se subdividem em dois tipos. Elas são:

- Afundamento plástico (AP): é o afundamento causado pela fluência plástica e ocorre quando uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito se deformam, ocorrendo

assim, um levantamento nas laterais. Se esse afundamento ocorre em um trecho de até 6 metros, é chamado de afundamento plástico local (ALP); mas quando o afundamento se estende por mais de 6 metros e segue a trilha das rodas, é conhecido como afundamento plástico na trilha de roda (ATP).

- Afundamento de consolidação (AC): é o afundamento decorrente da compactação desigual de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito, sem que haja levantamento nas laterais. Se o afundamento acontece em uma extensão de até 6 metros, recebe o nome de afundamento de consolidação local (ALC). Quando ultrapassa os 6 metros e está ao longo da trilha de roda, é chamado de afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC).

O afundamento nas trilhas de roda, em dias chuvosos, pode causar o acúmulo de água nessa região da pista, fazendo com que os pneus do veículo percam o atrito com a pista, ao passar pela região deformada. Além disso, essas patologias no pavimento causam desconforto ao usuário das vias e desgaste prematuro dos veículos que nelas transitam. As figuras 5 e 6, são exemplos de afundamentos em pavimento asfáltico.

Figura 5 - Afundamento plástico



Fonte: Imagem do autor

Figura 6 - Afundamento de consolidação



Fonte: DNIT (005/2003, p. 8)

Bernucci *et al.* (2008, citado por Melo, 2018), aponta diferentes motivos para a ocorrência dos afundamentos:

Para o afundamento por consolidação na trilha de roda (ATC), o problema ocorre devido à densificação ou ruptura por cisalhamento nas camadas abaixo do revestimento. Também pode ser causado pelo descolamento da película de asfalto dos agregados. Isso geralmente resulta no surgimento de trincas dentro ou nas bordas das trilhas de roda, sem que haja levantamento lateral, exceto em alguns casos de ruptura por cisalhamento.

No caso do afundamento de consolidação local (ALC), o problema está relacionado a falhas na construção, como má compactação, presença de solo de baixa resistência ("borrachudo") ou problemas de drenagem. Também pode ocorrer ruptura localizada por cisalhamento, além das trincas que tendem a surgir nas áreas mais afundadas.

Já o afundamento plástico nas trilhas de roda (ATP) acontece devido a erros na dosagem da mistura asfáltica, como excesso de ligante ou a escolha inadequada do tipo de revestimento asfáltico para suportar a carga. Isso geralmente causa um levantamento lateral como compensação do volume ao redor da depressão.

2.3. PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE DEFEITOS ESTRUTURAIS DO PAVIMENTO FLEXÍVEL.

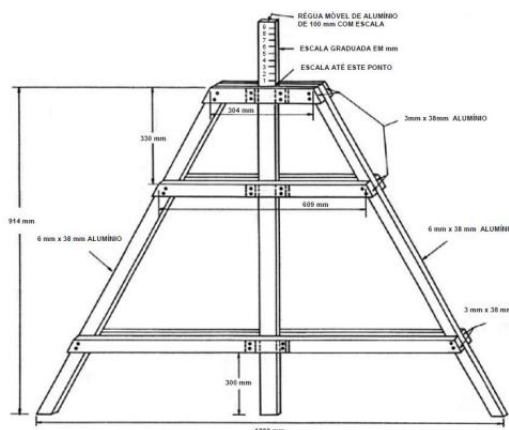
Para levantar patologias e defeitos em pavimento flexível, é necessário portar ferramentas específicas, métodos contundentes e, acima de tudo, seguir a norma em vigor, Norma DNIT 433/2021 – PRO. O primeiro passo ao realizar o procedimento, é a precaução com a segurança, onde a via a ser analisada, deve estar fechado ao trânsito para que o procedimento possa ser realizado com segurança.

De acordo com DNIT 433/2021 – PRO, “as flechas devem ser medidas em milímetros, espaçadas a cada 10 m na extensão do trecho avaliado, utilizando a treliça” de alumínio. Essa treliça deve ser padronizada e conter 1,20m de comprimento em sua base, portando uma régua móvel instalada em seu ponto médio, permitindo medir, em milímetros, as flechas da trilha de rodas.

A norma DNIT 433/2021 – PRO, ainda nos diz que “essas medidas devem ser executadas nas trilhas de rodas internas (TRI) e externas (TER), deslocando a treliça transversalmente dentro da trilha até a obtenção da leitura máxima”. Se houver defeitos no pavimento que inviabilizem a medição da flecha no ponto desejado, é indicado deslocar longitudinalmente a treliça até que encontremos um local apropriado pra realizar a medição.

As figuras 7 e 8, exibem o modelo da treliça indicado pela norma.

Figura 7 - Treliza para medir as flechas



Fonte: DNIT (2021, p. 6)

Figura 8 - Treliza de alumínio



Fonte: MELO (2018, p. 54)

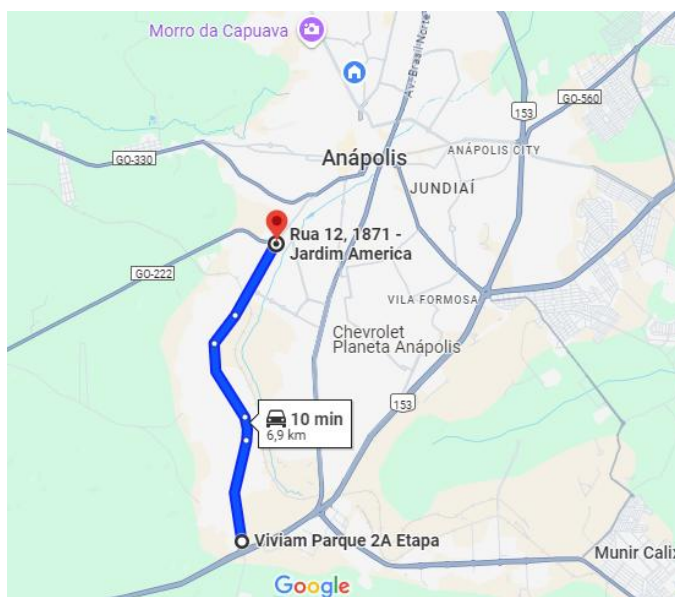
3. METODOLOGIA

Este trabalho se caracteriza como estudo de caso baseado na avaliação objetiva da superfície de pavimento flexível. Portanto, neste capítulo são apresentadas as ações que foram realizadas para alcançar o objetivo proposto, bem como o trecho analisado e as ferramentas utilizadas. O método de levantamento e determinação de afundamento em trilhas de roda, seguiu a NORMA DNIT 433/2021 – PRO.

3.1. DELIMITAÇÃO DO TRECHO ESTUDADO

A Avenida Pedro Ludovico é uma via de acesso de grande importância na cidade de Anápolis, ligando vários bairros da região sudoeste ao centro da cidade. Essa avenida, por sua vez, também é via de ligação da BR – 158 à GO – 222, onde, essa última, interliga a cidade de Anápolis à Nerópolis. Isso faz com que haja grande circulação de caminhões pela Avenida Pedro Ludovico em decorrência das inúmeras lavouras e fábricas que há na região, provocando assim, patologias na pavimentação asfáltica. O mapa 1 apresenta todo o percurso da Avenida Pedro Ludovico que é via de ligação entre as duas rodovias citadas acima, o qual se tem grande tráfego de veículos pesados.

Mapa 01 - Via de ligação entre a Go – 222 e a Br – 158

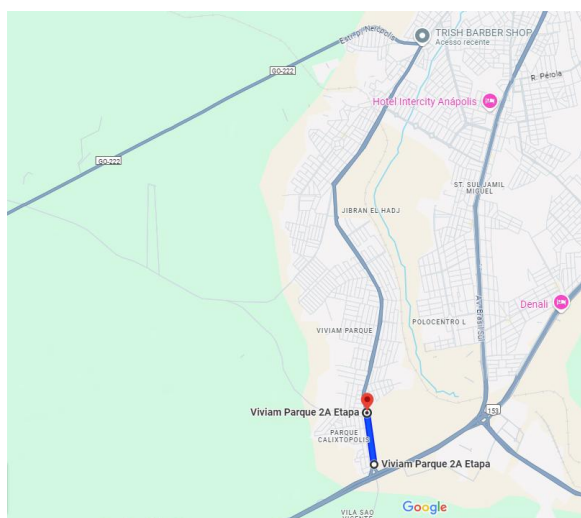


Fonte: <https://www.google.com.br/maps/>

Diante deste cenário, parte do trajeto por onde há grande circulação de caminhões na Avenida Pedro Ludovico, foi delimitado e selecionado como alvo de estudo desse trabalho.

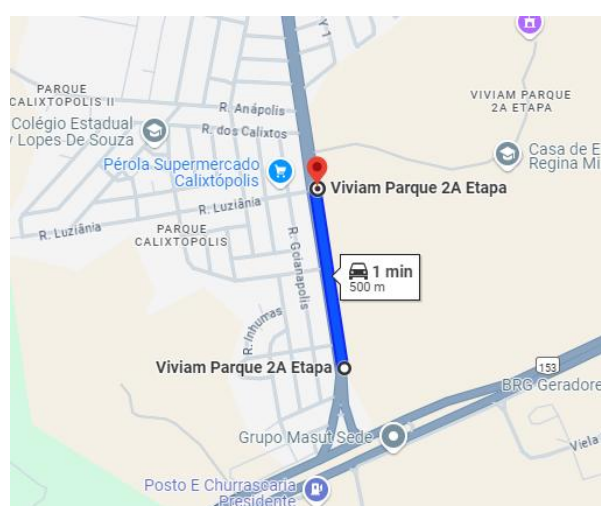
Os mapas 2 e 3, indicam o percurso e o marca de azul no mapa de Anápolis.

Mapa 02 - Delimitação do trecho escolhido



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/>

Mapa 03 - Maior aproximação do trecho escolhido



Fonte: <https://www.google.com.br/maps/>

A escolha do local teve como critério de seleção o elevado fluxo de caminhões de carga. Foi delimitado um percurso de aproximadamente 200 metros de via, localizado no final da Avenida Pedro Ludovico, centro-bairro.

3.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS E O PROCESSO EMPÍRICO REALIZADO

Para avaliação do pavimento, se faz necessário seguir a Norma DNIT 433/2021 PRO, onde os seguintes materiais devem estar disponíveis:

- a) Treliça de alumínio, padronizada, tendo 1200 mm de comprimento na base, dotada de régua móvel instalada em seu ponto médio e que permite medir, em milímetros, as flechas da trilha de roda;
- b) Fichas de levantamento de defeitos no pavimento (Anexo A e B);
- c) Equipamento e material auxiliar para a locação e demarcação dos defeitos no pavimento, tais como: trena de 20 m, prancheta, caneta, formulários, entre outros.

As dimensões da treliça de alumínio, figura 7, estão presentes no anexo C deste trabalho, onde as bases possuem um espaçamento de 1200 mm entre si, a altura em seu corpo é de 914 mm e no ponto médio da base, está localizada a régua móvel, formando um pescoço de 100 mm acima do cordo da treliça. É nessa parte superior da régua que se encontra a graduação da escala milimétrica.

Devido à indisponibilidade da treliça citada na norma e ao alto custo atrelado a ela, propomos um novo método de medida e coleta de dados do afundamento em trilhas de roda, substituindo a treliça por um instrumento de topografia de alta precisão, o qual está disponível para realizar a análise, sem que haja custo algum. Este instrumento é o Nível Óptico Automático AT - 32 da fabricante Xpex com abertura da objetiva 40 mm, zoom de 32x e precisão de 1,0 mm. Ele pode ser acoplado a um tripé de topografia, possibilitando assim, o ajuste horizontal do nível e a rotação do mesmo, quando necessário.

Na figura 9, estão imagens da régua com escala milimétrica a ser utilizada, o nível ótico AT – 32 e o tripé de alumínio para estação total/nível.

Figura 9 - Instrumentos a serem usados na coleta de dados



Fonte - <https://www.xpex.com.br/>

Vale ressaltar que não há na literatura, relatos da utilização deste tipo de equipamento para medir afundamento permanente do pavimento asfáltico nas trilhas de rodas. Propomos então, este novo método de análise, baseado na experiência adquirida em campo de estágio ao operar esse tipo de equipamento realizando nivelamento de diferentes tipos de terreno.

A fim de validar os dados que serão coletados com o equipamento de topografia, se faz necessário a comparação destas medidas, com dados coletados utilizando a treliça indicada na norma. No entanto, como citado anteriormente, o laboratório de Engenharia não conta com este equipamento e a aquisição dessa treliça não se enquadra nos valores possíveis a serem empregados para a realização da pesquisa em questão. Diante de tais fatos, foi construída uma treliça com materiais de baixo custo, com dimensões e funcionalidade idênticas à treliça de alumínio citada na norma. Assim, foi possível coletar os dados com os dois diferentes equipamentos e comparar os resultados obtidos por eles.

3.3. CONSTRUÇÃO DA TRELIÇA DE BAIXO CUSTO

A treliça para medição das flexas nas trilhas de roda, conforme indicado na norma (DNIT 006/2003 – PRO), disposta no anexo C deste trabalho, possui medidas específicas para

cada parte que a compõe. Com base na figura C1, foi construída uma treliça utilizando ~~matérias~~ **materiais** de baixo custo, tais como madeira de alisar de portais, régua escolar e parafusos, seguindo as medidas descritas no anexo C. Segue imagem das medidas da treliça de baixo custo para comparação com medidas do anexo C. A figura 10, apresenta os materiais e ferramentas que foram utilizados na construção da treliça e a figura 11, mostra a treliça já confeccionada, enquanto as figuras 12a, 12b e 12c, apresentam as medidas após a treliça pronta.

Figura 10 – Materiais e ferramentas utilizadas



Fonte: Imagem do autor

Figura 11 - Treliça de madeira



Fonte: Imagem do autor

Figura 12 A



Fonte: Imagem do autor

Figura 12 B



Fonte: Imagem do autor

Figura 12 C



Fonte: Imagem do autor

3.4. PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS EM CAMPO

Os pontos de análise das flechas, ou seja, onde elas são medidas, devem estar sinalizados e descritos como estacas. As estacas devem ser dispostas com um espaçamento de 10 m entre si, identificando onde os dados serão coletados. Em seguida, o nível será instalado no tripé e, posteriormente, o nível será apontado para uma régua de alumínio com escala milimétrica, onde essa régua será posicionada ao lado da primeira estaca.

Quando se usa a treliça citada na norma, as bases da treliça com distância de 120 cm entre si, são posicionadas no pavimento não deformado (PND) em relação à sua construção original e, logo após, a régua da treliça é disparada pelo operador, deixando-a deslizar livremente até que essa régua encoste no local mais afundado do pavimento deformado e logo em seguida, o operador trava novamente a régua, possibilitando assim, a leitura e coleta da medida do afundamento através do deslocamento vertical da régua móvel da treliça. Essa régua por sua vez, fica no ponto médio entre as bases da treliça, estando cada base a uma distância de 60 cm à direita ou à esquerda desse ponto médio.

Não há registros na literatura da utilização de outro tipo de equipamento, que não seja a treliça, para coletar dados de afundamento de trilhas de rodas. Assim, um novo método de coleta de dados, utilizando o equipamento de topografia foi desenvolvido e proposto neste trabalho para que a coleta pudesse ser realizada. A fim de seguir a mesma linha de raciocínio do método onde se utiliza a treliça, três dados foram coletados com o auxílio da régua milimetrada e do nível ótico para obter a medida do afundamento do pavimento. Em seguida, apresentamos o procedimento proposto e utilizado na coleta dos dados.

Inicialmente a régua de alumínio utilizada, foi posicionada no ponto de maior afundamento do centro (CE) do sulco formado na trilha de roda interna (TRI) da via, onde seu operador, manteve-a na posição vertical até a leitura da escala milimétrica dessa régua ser realizada pelo operador do nível ótico, ao apontá-lo para a régua. Após a leitura da régua, inicialmente posicionada no CE do sulco do pavimento ser realizada, a régua foi reposicionada, deslocando-a transversalmente 60 cm para o lado esquerdo (LE) do ponto da leitura inicial, posicionando-a sobre pavimento não deformado (PND) onde também foi realizada a leitura da escala milimétrica na régua. Posteriormente, a régua foi novamente reposicionada, mas desta vez, deslocando-a 60 cm para o lado direito (LD) do ponto da medida inicial, posicionado novamente a régua sobre o PND e, posteriormente, mais uma vez a leitura da escala milimétrica foi realizada pelo operador do nível ótico. Todos os dados obtidos foram anotados na Ficha de Levantamento de Afundamento de trilhas de roda (Anexo B). Com essas três leituras em mãos, tornou-se possível calcular quanto o pavimento sofreu deformação na trilha de roda através da diferença das alturas coletadas. Esse procedimento foi realizado em cada estaca inicialmente demarcada na via.

3.5. ANÁLISE DOS DADOS

De acordo com a norma DNIT 433/2021 PRO, os seguintes parâmetros devem ser calculados com os dados coletados:

- média ($\bar{\alpha}$);
- desvio padrão (S);
- variância das flechas medidas nas TRI e TRE (S^2).

As fórmulas para o cálculo da média, do desvio padrão e da variância dos valores das flechas TRI e TRE são as seguintes:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i}{n} \quad (1)$$

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

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

Onde:

$\bar{\alpha}$ – média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE), em milímetros (mm);

α – valores individuais, em milímetros (mm);

n – número de flechas medidas;

S – desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE), em milímetros (mm);

S^2 – variância, em milímetros ao quadrado (mm²).

3.5.1. Dados coletados com o nível ótico.

Para conseguirmos calcular a média, a variância e o desvio padrão dos dados coletados com o nível e régua, primeiramente devemos calcular, a partir dos valores coletados, a profundidade do afundamento na trilha de rodas, tendo em vista que esse valor não é diretamente coletado em campo, como acontece ao utilizar a treliça. Em busca de chegarmos ao valor do afundamento em cada estaca, propomos os seguintes calculos:

1º Passo: Média da diferença:

$$\bar{M}_D = \frac{|LE - LD|}{2} \quad (4)$$

2º Passo: Esperança do pavimento Não deformado:

$$E_{PND} = LD + \bar{M} \quad (5)$$

3º Passo: Deformação do pavimento:

$$DP = (E_{PND} - CE) * 10 \quad (6)$$

Onde: LE = Lado Esquerdo; LD = Lado Direito; CE = Centro

Unindo todos os três passos em uma única fórmula, temos:

$$DP = \left(CE - \left(LE - \frac{|LE - LD|}{2} \right) \right) * 10 \quad (7)$$

3.6. LIBERAÇÃO DA INTERDIÇÃO DA VIA PARA COLETA DE DADOS

O trecho analisado da avenida Pedro Ludovico, além fazer parte deste importante caminho de ligação entre o centro de Anápolis e inúmeros bairros situados na região sudoeste da cidade, também interliga a BR-153 com a GO-222, como podemos observar nos Mapas 01 e 02. Ao analisar o trecho escolhido para coleta dos dados, pode-se perceber o intenso tráfego de motocicletas, veículos e caminhões passando por essa via. Diante de tal realidade, surgiu a necessidade de interdição de uma das faixas de rolagem da avenida para que a coleta dos dados pudesse ser realizada com segurança.

No dia 19 de fevereiro de 2025, a coordenação do Instituto Federal de Goiás – Campus Anápolis, enviou um ofício à Companhia Municipal de Trânsito e Transporte (CMTT), solicitando a “ **interdição parcial da Av. Pedro Ludovico (somente meia pista), no sentido Centro/Bairro, Quadra 16, Lotes 42 ao 48, Parque Calixtópolis, para realização de levantamento das deformações permanentes do pavimento asfáltico, a fim de obter dados experimentais que servirão de base para futura fundamentação de TCC**”, no dia 23 de fevereiro de 2025, das 13h00min às 15h00min”. A CMTT respondeu o ofício conforme Anexo D, permitindo a liberação da via, porém não ofereceram apoio para a intervenção da via durante a coleta dos dados, orientando que a intervenção seria de inteira responsabilidade do

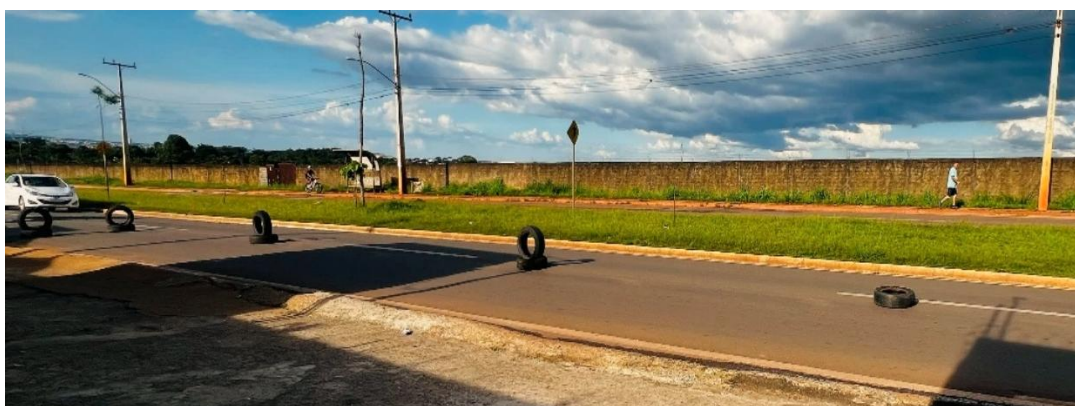
responsável pelo evento. E por esse motivo, a coleta dos dados foi realizada somente em uma faixa da via.

3.7. COLETA DOS DADOS

3.7.1. Intervenção da via e marcação das estacas

A via foi interditada com pneus fornecidos por uma borracharia situada em frente ao local da coleta dos dados, conforme figura 13.

Figura 13 – Pneus interditando uma faixa da via selecionada



Fonte: Imagem do autor

O espaçamento de 10 metros entre estacas foi demarcado ao longo da via, utilizando trena e giz para realizar as marcações no pavimento asfáltico. A marcação foi realizada ao longo do afundamento no TRI da faixa da direita da via sentido centro-bairro.

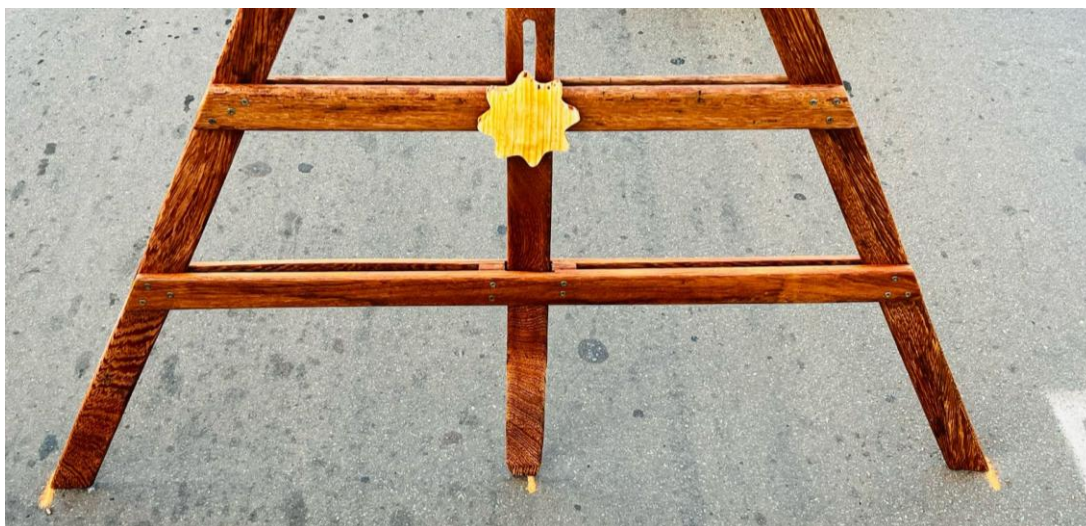
Figura 14 – Marcação da via onde os dados serão coletados



Fonte: Imagem do autor

Após as marcações das estacas no pavimento, foram feitas as marcações no centro da trilha de rodas, onde se forma o sulco e, em seguida, foram realizadas as marcações transversais sobre o PND com afastamento de 60 cm para cada lado (LE e LD), como indicado na figura abaixo.

Figura 15 – Marcação da via onde os dados serão coletados



Fonte: Imagem do autor

3.7.2. Coleta dos dados com a treliça

Após o posicionamento da treliça sobre a marcação, o operador realiza o disparo da régua girando o eixo acoplador no sentido anti-horário, fazendo com que a régua caia livremente sobre o afundamento formada na trilha de roda.

Figura 16 – Disparo da régua da treliça



Fonte: Imagem do autor

Posteriormente o operador gira o eixo acoplador no sentido horário, travando novamente o equipamento, possibilitando assim, a leitura do deslocamento da régua sem que haja alteração no deslocamento sofrido por ela.

Figura 17 – Leitura do deslocamento da régua



Fonte: Imagem do autor

Após esse procedimento ser realizado, os valores das distâncias deslocadas em milímetros, são anotados na ficha de coleta de dados, disposta no anexo A.

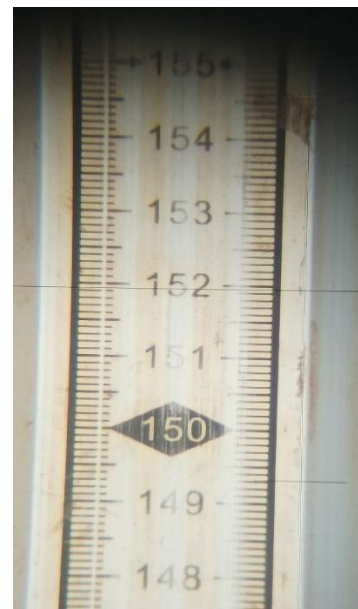
3.7.3. Coleta dos dados com o nível ótico

Após o nível ótico ser instalado sobre o tripé, ele passou por ajuste fino através dos três niveladores presentes na base niveladora acoplada acima do tripé, guiado pelo nível bolha presente no próprio equipamento. Com esse ajuste fino, o equipamento ficou pronto para uso.

Figura 18 – Ajuste do nível

Fonte: Imagem do autor

Este novo procedimento de coleta de dados proposto, utilizando equipamentos de topografia, exige três coletas de dados em cada estaca. Inicialmente a régua de alumínio foi posicionada por seu operador sobre a marcação no centro (CE) do sulco, mantendo-a parada na posição vertical até que o operador do nível consiga fazer a leitura da escala milimétrica na régua. Para a realização dessa leitura, inicialmente o operador do nível deve mirá-lo para a régua e posteriormente fazer o ajuste fino do foco do nível, possibilitando assim a visualização da escala da régua e somente então a leitura poderá ser realizada com precisão.

Figura 19A – Apontamento*Figura 19B – Ajuste do foco**Figura 19C – Leitura da régua*

Fonte: Imagens do autor

Em cada estaca, os dados foram coletados no centro (CE), no lado direito (LD) e no lado esquerdo (LE) da trilha de rodas, enquanto todos os valores foram anotados na Ficha de levantamento para defeitos em trilhas de roda, disposta no Anexo B e posteriormente transcritos para a tabela 2.

4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos e suas análises.

4.1. ANÁLISE DOS DADOS

Para as flexas medidas com a treliça e com o nível, são calculados os parâmetros descritos nos itens a seguir:

4.1.1. Dados levantados com a treliça

Os dados coletados foram transcritos para a tabela 1.

Tabela 1 – Ficha de dados coletados com a treliça

Ficha de Levantamento de Afundamento de trilhas de roda								
Ficha para levantamento com Treliça								
Data do levantamento:				23/02/2025		Estaca inicial do trecho:		1
Técnico responsável:						Estaca final do trecho:		10
Local do trecho analisado				Av. Pedro Ludovico Qd 16 St. Calixtópolis				
Estaca	Metros*	Pista Esquerda			Pista Direita			
		TRE	CE	TRI	TER	CE	TRI	
1	0				7			
2	10				5			
3	20				7			
4	30				7,5			
5	40				6			
6	50				6			
7	60				6			
8	70				7			
9	80				5			
10	90				7			

TRI: Trilhas de Roda Interna; CE: Centro; TER: Trilhas de Roda Externa.

* Metros: Utilizar o espaçamento de 10 metros quando possível

Fonte: Produzida pelo autor

- Média aritmética dos valores das flexas:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i}{n}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{(7 + 5 + 7 + 7,5 + 6 + 6 + 6 + 7 + 5 + 7)}{10}$$

$$\bar{\alpha} = 6,35 \text{ mm}$$
(8)

- Variância dos valores das flexas medidas:

$$S^2 = \frac{\sum (\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n - 1}$$
(4)

$$S^2 = 0,7806 \text{ mm}^2$$

- Desvio Padrão das flexas medidas:

$$S = \sqrt{S^2}$$

$$S = 0,8835 \text{ mm}$$
(10)

4.1.2. Dados levantados com o nível ótico

Os dados levantados foram transcritos e estão dispostos na tabela 2. Lembrando que a precisão da régua é de 1,0 mm, porém a escala dos valores lidos na régua é em cm.

Tabela 2 – Ficha de dados coletados com Nível ótico

Ficha de Levantamento de Afundamento de trilhas de roda							
Ficha para levantamento com o Nível Ótico							
Data do levantamento:					Estaca inicial do trecho:		
Técnico responsável:					Estaca final do trecho:		
Local do trecho analisado							
Pista Direita (x)				TRE ()			
Pista Esquerda ()				TRI (x)			
Estaca	Metros*	Faixa de Rolamento			$\bar{M}_D$ (cm)	E_{PND} (cm)	DP (mm)
		LE (cm)	CE (cm)	LD (cm)			
1	0	231,3	230	227,2			
2	10	211,6	210	207,5			
3	20	166,4	165,1	162,1			
4	30	171	169,8	167,1			
5	40	128	127	124,6			
6	50	130,9	130	127,7			
7	60	188,4	187,7	185,6			
8	70	165,2	164,1	161,6			
9	80	143,8	142,6	140,3			
10	90	122,6	121,9	119,8			

Fonte: Produzida pelo autor

Na busca de obter os valores do afundamento do trilho de rodas, as equações (4), (5) e (6) foram utilizadas para obter os dados desejados ao preencher a tabela 3. No entanto, podemos utilizar a equação (7) para obtermos direto o valor para a deformação permanente (DP). Na equação (11), foi calculado como exemplo, o valor de DP na estaca 1.

$$DP = \left(CE - \left(LE - \frac{|LE - LD|}{2} \right) \right) * 10$$

$$DP = \left(230 - \left(231,3 - \frac{|231,3 - 227,2|}{2} \right) \right) * 10 \quad (11)$$

$$DP = 7,5 \text{ mm}$$

Na tabela 3, estão os valores coletados em campo e a tabela preenchida com os respectivos resultados:

Tabela 3 – Ficha de resultado dos valores coletados com nível ótico

Ficha de Levantamento de Afundamento de trilhas de roda							
Ficha para levantamento com o Nível Ótico							
Data do levantamento:		23/02/2025			Estaca inicial do trecho:		1
Técnico responsável:					Estaca final do trecho:		10
Local do trecho analisado		Av. Pedro Ludovico Qd 16 St Calixtópolis					
Pista Direita (x)				TRE ()			
Pista Esquerda ()				TRI (x)			
Estaca	Metros*	Faixa de Rolamento			$\bar{M}_D$ (cm)	E_{PND} (cm)	DP (mm)
		LE (cm)	CE (cm)	LD (cm)			
1	0	231,3	230	227,2	2,05	229,25	7,5
2	10	211,6	210	207,5	2,05	209,55	4,5
3	20	166,4	165,1	162,1	1,95	164,45	6,5
4	30	171	169,8	167,1	1,95	169,05	7,5
5	40	128	127	124,6	1,7	126,3	7
6	50	130,9	130	127,7	1,6	129,3	7
7	60	188,4	187,7	185,6	1,4	187	7
8	70	165,2	164,1	161,6	1,8	163,4	7
9	80	143,8	142,6	140,3	1,75	142,05	5,5
10	90	122,6	121,9	119,8	1,4	121,2	7

Fonte: Produzida pelo autor

Diante dos resultados da deformação do pavimento, podemos agora calcular os valores da média, da variância e do desvio padrão para os valores das flexas coletados com o equipamentos de topografia.

- Média aritmética dos valores das flexas:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i}{n}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{(7,5 + 4,5 + 6,5 + 7,5 + 7 + 7 + 7 + 7 + 5,5 + 7)}{10} \quad (12)$$

$$\bar{\alpha} = 6,65 \text{ mm}$$

- Variância dos valores das flexas medidas:

$$S^2 = \frac{\sum(\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{n - 1} \quad (13)$$

$$S^2 = 0,8917 \text{ mm}^2$$

- Desvio Padrão das flexas medidas:

$$S = \sqrt{S^2} \quad (14)$$

$$S = 0,9443 \text{ mm}$$

4.2. COMPARAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO NÍVEL VS TRELIÇA.

Após o cálculo dos valores coletados, obtivemos valores das variáveis almejadas para cada método de medida. A seguir, se encontra disposta a tabela 4, para facilitar a visualização e comparação dos resultados, os valores obtidos através da coleta de dados e dos cálculos realizados.

Tabela 4 – Comparativo dos resultados obtidos

Estaca	Treliça	Nível	Diferença	%
	(mm)	(mm)	(mm)	
1	7	7,5	0,5	7,1%
2	5	4,5	0,5	10,0%
3	7	6,5	0,5	7,1%
4	7,5	7,5	0	0,0%
5	6	7	1	16,7%
6	6	7	1	16,7%
7	6	7	1	16,7%
8	7	7	0	0,0%
9	5	5,5	0,5	10,0%
10	7	7	0	0,0%

Fonte: Produzida pelo autor

A tabela 5 apresenta os valores de média, variância e desvio padrão encontrados:

Tabela 5 – Comparativo dos resultados obtidos

Resultados obtidos				
	Treliça	Nível	Direfença	unidade
Média	6,35	6,65	0,5	(mm)
Variância	0,7806	0,8917	0,1667	(mm) ²
Desvio padrão	0,8835	0,9443	0,4082	(mm)

Fonte: Produzida pelo autor

A equação (15) define o método utilizado para encontrar o percentual da diferença entre os valores da treliça e do nível.

$$\% = \frac{(\text{nível} - \text{treliça})}{\text{treliça}} * 100 \quad (15)$$

Podemos observar facilmente que a diferença entre os valores coletados na mesma estaca, mas com o uso de diferentes equipamentos foi bem pequena, onde a média da diferença entre esses valores foi de apenas meio milímetro (0,5 mm). Observa-se também que o resultado da variância para os dados coletados com a treliça, foi menor que os dados coletados com o nível. Isso mostra que os valores coletados com a treliça ficaram mais próximos de sua média, enquanto os valores coletados com o nível, sofreu um pouco mais de dispersão, se distanciando um pouco mais da média desses valores. Outros dados que essa análise proporciona, são os valores obtidos para o desvio padrão, onde também foi atingido valores maiores ao coletarmos os dados com o nível, mostrando que os valores coletados sofreram maior dispersão, se distanciando mais da média desses valores ao compararmos com o desvio padrão encontrado para a coleta de dados com a treliça.

Contudo, o objetivo do trabalho foi alcançado, onde conseguimos coletar os dados do afundamento permanente nas trilhas de rodas utilizando uma nova metodologia ainda não empregada em nenhum trabalho encontrado na literatura. Além do mais, conseguimos comparar esses resultados com valores obtidos ao coletar os dados utilizando o método previsto na norma, o que nos demonstrou a eficiência do novo método empregado, estando os valores obtidos, bem próximos entre si.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho exigia equipamentos que não há no laboratório de Engenharia do Campus – Anápolis. Diante disso, houve a necessidade de construir equipamento de baixo custo para realizar a coleta dos dados, implicando em um equipamento não fidedigno à norma, mesmo que as medidas tenham sido seguidas com grande rigor. Isso implica na possível diferença dos resultados obtidos entre as duas medidas, pois pode haver erro de paralax ao realizar a medida na régua da treliça.

Outro fator que pode ter contribuído para a pequena variação nas medidas, foi o manuseio da régua e a leitura da régua ao utilizar o nível ótico. A régua de alumínio do equipamento de topografia, a qual é graduada em milímetros, deve ser posicionada frente ao operador da mesma, o qual precisa segurá-la firmemente até que a leitura seja realizada. Isso por várias vezes não aconteceu devido a posição da régua sobre o pavimento estar muito próxima da faixa seccionada, a qual divide a pista ao meio. Ressaltamos que mesmo após solicitarmos apoio à CMTT para interditar a avenida durante a coleta dos dados, não obtivemos este respaldo, ficando sob nossa responsabilidade o fechamento da via. Essa falta de apoio fez com que inúmeras vezes o operador da régua não conseguisse manter a posição ideal para a coleta dos dados, tendo em vista que a deformação permanente existente na pista, encontra-se na pista direita, sentido centro-baixo, na trilha de roda esquerda da faixa da direita. Ou seja, a coleta foi realizada praticamente sobre a faixa seccionada que divide a pista ao meio, então o grande fluxo de veículos na faixa da esquerda impossibilitou, por várias vezes, o posicionamento correto da régua durante a coleta, possibilitando também essa pequena diferença nos resultados obtidos.

A leitura da régua também é um desafio, tendo em vista que a divisão da mesma é de 1 mm, enquanto havia necessidade de coletar valores com precisão de 0,1 mm. Essa leitura foi realizada na régua de maneira visual, baseada na experiência de leitura do equipamento, o que também é um agravante, podendo ter causado essa pequena diferença nos resultados.

A coleta de dados utilizando a treliça prevista na norma, se fez mais eficaz em relação ao método proposto, pois há grande diferença na execução dos procedimentos, onde o método proposto, exige mais tempo e mais mão de obra tanto na coleta dos dados, quanto na análise deles, demandando mais tempo em todas as fases do procedimento. Contudo, os resultados encontrados foram bem próximos nas duas metodologias empregadas, e assim, podemos concluir que o método de coleta de dados para medir o afundamento permanente no pavimento

asfáltico proposto neste trabalho, utilizando material de topografia é eficaz e poderá ser empregada na ausência da treliça prevista por norma. Vale ressaltar que a interdição da via deve ser total durante a coleta de dados para que não haja impedimentos na coleta devido ao fluxo de veículos e com isso, aumenta a possibilidade de alcançar maior precisão dos resultados.

REFERÊNCIAS

BERNUCCI, Liedi Bariani. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação para engenheiros**: 1. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2008. 509p.

CAMARGO, Anderson Wanie. **Recuperação dos pavimentos asfálticos**: Um estudo de caso da Avenida New York no setor Jardim Novo Mundo em Goiânia-GO. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, Goiânia, 2023.

COSTA, Daniel Beserra. **Análise de deformação permanente de misturas asfálticas a partir dos critérios de Mohr Coulomb**. 2018. 107p. Dissertação de Pós-Graduação – Campina Grande, SP, 2018.

DNIT, Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia**. (Norma DNIT 005/2003 – TER) Rio de Janeiro, 2003.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 2ª Edição. Rio de Janeiro, Equipe técnica Engesur Ltda, f 26.

FELICIO, R.; JUNIOR, L.R.T. Dimensionamento de pavimento do tipo flexível: estudo de caso aplicado no Parque Industrial – Alvorada do Sul, PR. **Journal of Exact Sciences**, Maringá, PR, Vol.37, n.2, pp. 05-14, 17 maio 2023.

MAIA, Iva Marcelo Cardoso, **Caraterização De Patologias Em Pavimentos Rodoviários**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, Portugal, 2012.

MELO, Welington da Silva. **Levantamento das patologias de pavimentos flexíveis da avenida Adjair da Silva Casé na Cidade de Caruaru – PE**: 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2018.

ANEXO A

[illegible]

TRI: Trilhas de Roda Interna; CE: Centro; TER: Trilhas de Roda Externa;

*Metros: Utilizar o espaçamento de 10 metros quando possível

ANEXO B

[illegible]

TRI: Trilhas de Roda Interna; TER: Trilhas de Roda Externa;

LE: Lado Esquerdo; CE: Centro; LD: Lado Direito

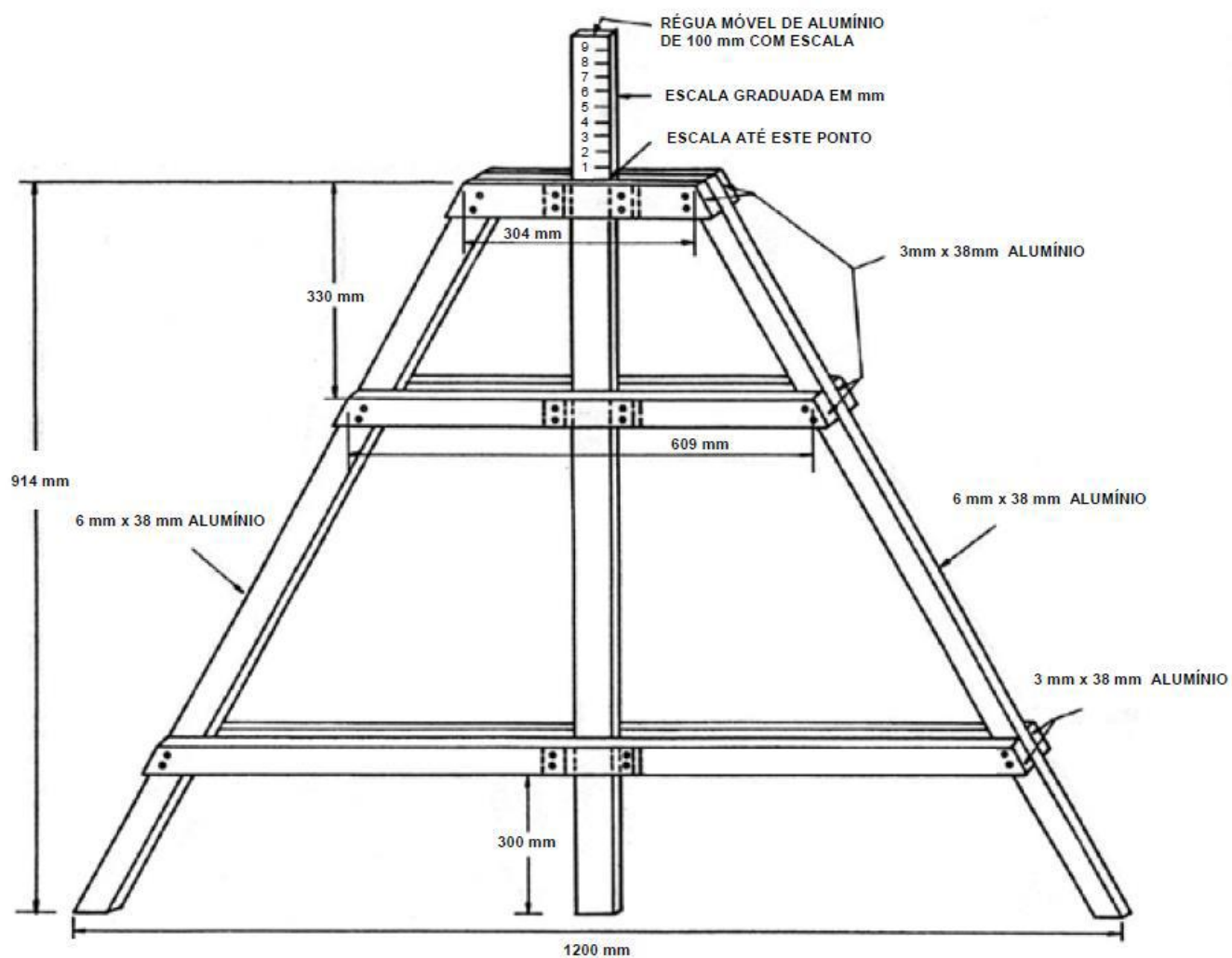
$\bar{M}_D$: Média da diferença; E_{PND} : Esperança do Pavimento não deformado;

DP: Deformação do Pavimento

*Metros: Utilizar o espaçamento de 10 metros quando possível

ANEXO C

Figura C1 – Treliza para medição das flechas da trilha de roda



Fonte: DNIT 006/2003 – PRO

ANEXO D

04/03/25, 12:14

SEI/PMA - 1470702 - Autorização

CMTT



Prefeitura de Anápolis

COMPANHIA MUNICIPAL DE TRÂNSITO E TRANSPORTES

Avenida Brasil Sul nº. 7575 - Bairro Anexo Vila Esperaça - CEP 75133-565 - Anápolis - GO - www.anapolis.go.gov.br

AUTORIZAÇÃO Nº 1470702 - CMTT/DITRT

Interessado: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) – Campus Anápolis.

1. Conforme previsto no Art. 95, da Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, que institui o Código de Trânsito Brasileiro.
Art. 95, 1º, “A obrigação de sinalizar é do responsável pela execução da obra ou evento”. Ressaltase ainda que a sinalização do referido evento deverá estar em concordância com os modelos e padrões apresentados no Anexo II do Código de Trânsito Brasileiro.
2. Fica definido que o cometimento de infração penal ou crime será de inteira responsabilidade do autor, ao que fica eximida a Companhia Municipal de Trânsito e Transportes de possíveis responsabilizações.
3. O solicitante, no ato do recebimento da presente liberação, deverá apresentar o documento (abaixo-assinado) com a concordância de todos os eventuais prejudicados e que todos estão cientes e de acordo com o fechamento. Sem este documento a Companhia Municipal de Trânsito e Transportes poderá a seu critério suspender a realização do evento até que o documento seja apresentado.
4. Fica o interessado ciente de que a eventual instalação de equipamentos, como palcos, tendas, toldos e demais aparelhamentos, não poderá representar empecilho para a livre circulação de veículos e pessoas fora dos horários autorizados neste documento, e que haverá fiscalização por parte desta autarquia. Na ocorrência de irregularidades, caso não possam ser imediatamente sanadas ou gerem prejuízos a terceiros, a autorização será imediatamente cassada.
5. **Fica estabelecido que o responsável pelo evento seja: Ricardo Ruberti Frade Ferreira.**
6. O uso de qualquer equipamento de som fica condicionado à autorização da Gerência de Posturas.
7. Por envolver ordem pública, deverá ser encaminhada uma cópia deste documento à Polícia Militar, Gerência de Posturas e ao Corpo de Bombeiros.
8. Salientamos que a via deverá ser devidamente sinalizada com obstáculos físicos, dispostos na legislação, ficando o responsável descrito no item 4, encarregado de providenciar toda a sinalização necessária a fim de trazer maior segurança aos participantes do evento, bem como dos veículos e pedestres que transitem pelas proximidades do local onde está sendo realizado o evento.

9. Observados os itens anteriores, sob o ponto de vista de **trânsito (exclusivamente)** a Companhia Municipal de Trânsito e Transportes é **FAVORÁVEL** à **interdição parcial da Av. Pedro Ludovico (somente meia pista), no sentido Centro/Bairro, Quadra 16, Lotes 42 ao 48, Parque Calixtópolis, para realização de “levantamento das deformações permanentes do pavimento asfáltico, a fim de obter dados experimentais que servirão de base para futura fundamentação de TCC”, no dia 23 de fevereiro de 2025, das 13h00min às 15h00min.**
10. A validade desta autorização fica condicionada a retirada do documento pelo requerente, seja de forma física ou digital. O responsável pelo evento deve garantir a retirada em uma das duas formas descritas, sob pena de ter a autorização **REVOGADA**.

A não observância dos itens acima torna esta autorização sem validade.

Igor Lino Siqueira
Diretor de Trânsito e Transportes

Max Lânio Aparecido Souza
Diretoria de Fiscalização

Presidência da CMTT Em 20 de fevereiro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Igor Lino Siqueira** **Diretor(a)** em 21/02/2025, às 09:41, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Lemes Alencar** **Diretor(a)** em 21/02/2025, às 16:00, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Max Lânio Aparecido Souza** **Diretor(a)** em 21/02/2025, às 17:38, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.anapolis.go.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **1470702** e o código CRC **9026DA0E**.