



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS EM
TRANSPORTES
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lota A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel./fax: (61) 3315-4831

FEVEREIRO 2023

NORMA DNIT 440/2023 – PRO

Pavimentação – Levantamento funcional e estrutural contínuo de pavimentos utilizando um equipamento móvel – Procedimento

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

Processo: 50600.050494/2022-04

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 06/02/2023.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:	Nº total de páginas
Levantamento contínuo, avaliação funcional de pavimentos, avaliação estrutural de pavimentos	14

Resumo

Este documento estabelece o procedimento a ser adotado na realização do levantamento estrutural e funcional contínuo da superfície de pavimentos, utilizando um equipamento móvel. O levantamento realizado com este tipo de equipamento deve determinar simultaneamente, características geométricas da superfície do pavimento, parâmetros deflectométricos, irregularidade longitudinal, presença de trincas, afundamentos de trilhas de roda, macrotextura e coletar imagens da superfície do pavimento em alta definição.

Abstract

This document establishes the procedure to performing a continuous structural and functional survey of the pavement surface using a rolling device. This type of survey should simultaneously determine geometric characteristics of the pavement surface, deflection parameters, longitudinal roughness, presence of cracks, rutting, macrotexture, and collects high-definition images of the pavement surface.

Sumário

Prefácio.....	1
1 Objetivo.....	1
2 Referências normativas	2
3 Termos e definições.....	2

4 Equipamentos	3
5 Programa de ensaio.....	4
6 Procedimentos	5
7 Processamento dos dados.....	9
8 Resultados	9
Anexo A (Informativo) – Veículo de levantamento contínuo	11
Anexo B (Informativo) – Segurança no uso do laser	12
Anexo C (Informativo) – Bibliografia.....	13
Índice Geral.....	14

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR conforme a Instrução Normativa nº 20/DNIT SEDE, de 01 de novembro de 2022 e a norma DNIT 001/2023 – PRO.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece as condições exigíveis na realização do levantamento contínuo das condições estruturais e funcionais de pavimentos, utilizando um equipamento móvel. Também determina as recomendações para os procedimentos necessários, assim como, orienta sobre a forma de apresentação dos resultados obtidos.

2 Referências normativas

O documento relacionado a seguir é indispensável à aplicação desta Norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

- a) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 005 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Terminologia.

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento técnico, aplicam-se os termos da norma DNIT 005 – TER e as seguintes definições:

3.1 Afundamento

Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de levantamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação. O afundamento pode ser plástico ou de consolidação.

3.2 Afundamento de trilha de roda (ATR)

Deformação permanente acumulada no sentido transversal, em cada trilha de roda, pela ação repetida das cargas móveis. Para determinar o ATR, considera-se as diferenças entre os perfis longitudinais das bordas da trilha de roda com os aferidos no centro do afundamento.

3.3 Área trincada

Porcentagem de área do pavimento com presença de defeitos como fissuras, trincas, panelas, buracos ou remendos.

3.4 Bacia de deflexões

É a curva representativa das deflexões medidas em um pavimento. A medição parte de um valor nulo, quando o ponto a ser medido ainda não está na zona de influência da carga; cresce até um valor máximo, que ocorre quando a carga vertical está sobre o ponto de medida, ou muito próximo dele. Com o afastamento da carga do ponto de medida, a deflexão decresce progressivamente, até tornar-se novamente nula.

3.5 Deflectômetro de velocidade de tráfego (TSD)

O *Traffic Speed Deflectometer* consiste em uma série de sensores de alta taxa, incluindo sensores do tipo Doppler, acelerômetros e sensores de distância a laser, acoplados em uma barra metálica rígida, situada na parte frontal do eixo traseiro simples com rodas duplas. Estes sensores são usados para medir a velocidade de deflexão de uma das trilhas de roda do pavimento, enquanto o equipamento trafega na velocidade operacional da rodovia (até 80 km/h), sem a necessidade de interrupção do tráfego. O TSD é o principal módulo de leitura do equipamento para avaliação contínua de pavimentos.

3.6 Deflexão

Deslocamento vertical elástico medido em um ponto da superfície de um pavimento, causado pela passagem de uma carga.

3.7 Deflexão máxima (D_0)

Máximo valor de deflexão do pavimento, medido no ponto de aplicação da carga.

3.8 Detector automático de trincas

O detector automático de trincas consiste em dois sensores 2D ou 3D de alto desempenho, instalados na parte traseira do veículo de avaliação contínua, 2,20 m acima da superfície do pavimento. Cada sensor é composto de um laser e uma câmera de alta definição, permitindo uma acurácia de até 0,5 mm. Além das trincas, o afundamento da trilha de roda também deve ser obtido a cada 0,5 mm. Estes resultados permitem avaliar até 4,0 m da faixa de rolamento, com uma precisão de 1,0 mm. A partir dos dados levantados, uma série de informações podem ser utilizadas, visando definir categorias, severidade, frequência, etc.

3.9 Equipamento para avaliação contínua de pavimentos

Consiste em um caminhão semirreboque, equipado com um peso sobre o eixo traseiro simples de roda dupla e instrumentado com sensores de alta precisão e alta frequência que coletam dados funcionais e estruturais do pavimento, enquanto o equipamento trafega na velocidade operacional da rodovia. Este equipamento

pode fornecer perfis contínuos de deflexão, perfis longitudinais e transversais, macrotextura, afundamento, além de coletar imagens digitais para classificação visual e detecção de defeitos.

3.10 Flecha na trilha de roda

Medida, em milímetros, da deformação permanente no sulco formado nas trilhas de roda interna (TRI) e de roda externa (TRE), correspondente ao ponto de máxima depressão, em cada estação demarcada, sob o centro de uma régua de 1,20 m.

3.11 Índice de curvatura (IC)

Parâmetro que representa a forma da bacia de deflexões, entre o ponto de deflexão máxima e um ponto distante 200 mm do ponto de aplicação da carga. O IC é definido pela Equação 1:

$$IC = D_0 - D_{200} \quad (1)$$

Onde:

IC é a função de curvatura, expressa em milímetros (mm);

D_0 é a deflexão máxima, expressa em milímetros (mm);

D_{200} é a deflexão medida a 200 mm de distância do ponto de aplicação da carga, expressa em milímetros (mm).

3.12 Índice Internacional de Irregularidade (International Roughness Index – IRI)

Índice calculado a partir da medição do perfil longitudinal do pavimento, representando a passagem de um modelo de quarto-de-carro, a uma velocidade de simulação de 80 km/h. O modelo matemático calcula a deflexão da suspensão do quarto-de-carro utilizando os deslocamentos do perfil medido e parâmetros da estrutura do carro. A suspensão de movimento simulado é acumulada e dividida pela distância percorrida. É expresso pelo índice de unidade de inclinação m/km.

3.13 Irregularidade longitudinal

Somatório dos desvios da superfície de um pavimento, em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica do veículo, o efeito

dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via.

3.14 Macrotextura

Representa o conjunto de desvios da superfície de um pavimento em relação a uma superfície plana cujos comprimentos de onda e amplitudes sejam maiores ou iguais a 0,5 mm até o limite de não mais afetarem a interação pneu-pavimento.

3.15 Raio de curvatura

Raio da circunferência que melhor se ajusta à bacia de deformação.

3.16 Trilha externa

Faixa longitudinal do pavimento que suporta as rodas direitas dos veículos que por ela trafegam normalmente.

3.17 Trilha interna

Faixa longitudinal do pavimento que suporta as rodas esquerdas dos veículos que por ela trafegam normalmente.

3.18 Velocidade de deflexão

Velocidade de deslocamento da superfície do pavimento, na trilha de roda monitorada, devido ao efeito dinâmico da carga aplicada por um eixo simples de roda dupla.

4 Equipamentos

O veículo de avaliação contínua deve ser constituído dos equipamentos seguintes:

- a) um reboque de eixo traseiro simples com rodas duplas, rebocado por um motor principal, acoplado uma barra com um mínimo de 7 sensores a laser, localizada no sentido longitudinal da roda externa;
- b) posições de medição a laser sugeridas são 100 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm e 3500 mm do centro do eixo traseiro em direção à parte frontal do reboque. No entanto, outras configurações são permitidas dependendo do número de lasers e da finalidade dos levantamentos;

- c) o reboque deve estar equipado com pneus de perfil 275/70R22,5 com uma pressão de (760 ± 20) kPa (110 psi). A pressão de cada pneu deve ser monitorada em tempo real durante a aquisição de dados, utilizando medidores de pressão de pneus sem fio;
 - d) lastro suficiente para permitir que uma carga de até $(10,0 \pm 0,10)$ toneladas seja aplicada ao pavimento através do eixo traseiro (equivalente a uma carga de aproximadamente 50 kN no semieixo traseiro). Outras cargas podem ser selecionadas para estudos e pesquisas;
 - e) capacidade de coletar dados em velocidades variáveis entre 20 km/h e 80 km/h;
 - f) transdutor de distância de alta resolução instalado em uma roda, para permitir uma medição precisa da velocidade do veículo e da distância percorrida durante o teste com acurácia de $\pm 0,1 \%$;
 - g) sistema GPS para fornecer coordenadas espaciais com correção diferencial em tempo real e uma unidade de medida inercial a ser utilizada se o sinal do satélite for perdido;
 - h) sistema para garantir que as alturas do laser sejam mantidas em seu nível ideal (altura operacional);
 - i) um sistema de resfriamento/aquecimento adequado para manter a temperatura interna do trailer dentro da faixa (24 ± 2) °C;
 - j) medidores de temperatura com uma faixa mínima de $- 5$ °C a $+ 100$ °C e precisão de ± 1 °C, com capacidade para determinar as temperaturas ambiente (ar) e da superfície do pavimento, bem como a temperatura do ar ambiente dentro do trailer e em posições específicas no sensor laser Doppler;
 - k) instrumentação adequada, condicionamento de sinal e um sistema de aquisição de dados capaz de capturar e registrar os valores de velocidade das deflexões para cada laser Doppler, em até 1 kHz de frequência de amostragem. Os componentes do sistema devem estar em conformidade com as especificações do fabricante ajustados para o uso contínuo;
 - l) tecnologia de varredura de linha capaz de produzir imagens contíguas em 2D ou 3D do pavimento com um comprimento de 5 m ou menos e uma largura de, pelo menos, 2,4 m da faixa de rolamento sendo levantada. As imagens podem consistir em uma única seção de toda a faixa de rolamento ou uma série de imagens ao longo da faixa. As imagens não devem ser afetadas por sombras e devem ter resolução mínima de 1 mm transversalmente e 5 mm longitudinalmente;
 - m) software de reconhecimento automático de trincas capaz de processar as imagens e identificar trincas, bem como calcular a largura média da trinca. Os dados podem ser processados em tempo real ou após o levantamento. O software deve ser capaz de detectar fissuras de 2,5 mm de largura em uma variedade de superfícies de pavimento;
 - n) instrumentação adequada, condicionamento de sinal e um sistema de aquisição de dados capaz de capturar e gravar imagens do pavimento em velocidades de levantamento. Os componentes do sistema devem estar em conformidade com as especificações do fabricante e ser adequados para uso contínuo;
 - o) sistemas adicionais de coleta de dados para medir os parâmetros funcionais da condição do pavimento: captura de imagens digitais, irregularidade, afundamentos nas trilhas de roda e macrotextura. Os sistemas devem ser operacionalmente compatíveis para possibilitar a coleta de dados simultaneamente na mesma faixa de velocidade.
- NOTA 1: A Figura A1 do Anexo A apresenta um exemplo de veículo que pode ser utilizado no procedimento instruído por essa Norma.
- ## 5 Programa de ensaio
- ### 5.1 Levantamentos Integrados
- O veículo de avaliação contínua deve fornecer, simultaneamente, os levantamentos seguintes:
- a) Levantamento de imagens: Deve ser equipado com cinco (5) câmeras de imagem digital que são usadas

para gravar imagens de alta resolução da superfície do pavimento e dos ativos da rodovia. As câmeras são orientadas para garantir uma visão completa de 360°.

- b) Geometria: Um sistema de posicionamento global por satélite (GPS) deve fornecer coordenadas precisas e sincronizadas e dados espaciais do perfil vertical e horizontal.
- c) Medições de deflexão: Deve ser possível realizar medição contínua da velocidade de deflexão do pavimento com velocidades de até 80 km/h.
- d) Detecção automatizada de trincas: Deve projetar uma linha de laser com 4 m de largura ao longo do pavimento.
- e) Índice de Irregularidade – IRI, com medições por sistema laser.
- f) Medições contínuas dos afundamentos nas trilhas de roda.
- g) Medições de Macrotextura: A macrotextura da superfície deve ser continuamente medida usando três (3) lasers, ou seja, um (1) em cada trilha de roda e dois (2) entre as trilhas de roda, obtendo-se a profundidade média do perfil.

NOTA 2: Através do computador, instalado no veículo propulsor, devem ser programadas as unidades a serem utilizadas e o número de cargas aplicadas em cada estação de ensaio.

5.2 Localização das estações de ensaio

As estações de ensaio devem estar espaçadas longitudinalmente conforme a necessidade específica do projeto, transversalmente afastadas do bordo do revestimento das distâncias especificadas na Tabela 1, em função da largura da faixa de rolamento.

Tabela 1 – Localização dos pontos

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância ao bordo do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50	0,90

6 Procedimentos

6.1 Calibração

No início de cada jornada de trabalho, devem ser realizados os seguintes ajustes e calibrações:

6.1.1 Transdutor de distância

O transdutor de distância instalado na roda medidora de distância deve ser calibrado de acordo com as especificações do fabricante.

O fator de calibração e informações associadas, como data e hora da calibração, são armazenadas e usadas para todos os testes subsequentes até que uma nova calibração de distância seja executada.

A calibração de distância deve ser realizada imediatamente após qualquer alteração no transdutor de distância ou em qualquer parte do equipamento que possa interferir nos valores das constantes de calibração existentes.

6.1.2 Extensômetros

Os extensômetros instalados no eixo traseiro do reboque devem ser calibrados de acordo com as especificações do fabricante.

Os fatores de calibração e outras informações associadas, como data e hora da calibração, são armazenadas e usadas para todos os testes subsequentes até que uma nova calibração do extensômetro seja realizada.

Deve-se realizar uma calibração adicional se um extensômetro for reparado ou substituído.

6.1.3 Ângulos dos Lasers

O ângulo de medição relativo entre cada laser Doppler deve ser determinado usando o método de calibração de deslocamento, de acordo com o manual do fabricante.

A calibração deve ser realizada, no mínimo, antes do início de um levantamento de rede e a cada 3000 km de levantamento.

Calibrações adicionais devem ser realizadas quando qualquer componente do sistema que possa influenciar as medições for substituído, reparado ou ajustado.

6.1.4 Sistema de coleta de imagens

O sistema deve ser calibrado de acordo com as instruções do fabricante. Isso pode envolver o alinhamento dos principais componentes do sistema de medição, como câmeras, fontes de luz, etc.

6.2 Validação

Na ausência de outros requisitos especificados, uma ou ambas as opções a seguir devem ser realizadas, após a validação da medição de distância:

- a) selecionar vários locais de validação ou segmentos de, no mínimo 2000 m, e comparar os valores de deflexão modelados com os dados do TSD com os resultados de FWD, ou outros equipamentos de medição de deflexão, para avaliar a sua acurácia e razoabilidade. Realizar repetições para avaliar a repetibilidade do Sistema;
- b) estabelecer um segmento de referência para a validação do levantamento deflectométrico, com pelo menos 10 km de comprimento, que mostre a variação de valores entre muito baixo a alto, e realizar cinco verificações antes do início do levantamento da rede. Se for logisticamente possível, deve-se retornar ao segmento de referência em intervalos regulares e coletar outro conjunto de cinco verificações. Na impossibilidade de retorno ao segmento de referência, definir outro segmento. Comparar a deflexão máxima modelada

(D_0) e os valores do índice de curvatura com os dados anteriores para avaliar a consistência dos resultados. Os critérios para a aceitação da validação são $R^2 \geq 0,90$ e $R^2 \geq 0,85$, para deflexão máxima e índice de curvatura, respectivamente. Usando os mesmos conjuntos de cinco execuções, avaliar a repetibilidade interna do sistema comparando cada execução com os valores médios de 100 m. Os critérios para a aceitação da repetibilidade interna são $R^2 \geq 0,95$ e $R^2 \geq 0,90$, para os valores de deflexão máxima e índice de curvatura modelados, respectivamente;

- c) estabelecer um segmento de referência para validação do levantamento de área trincada (pode ser o mesmo usado para o deflectométrico), com pelo menos, 10 km de comprimento que apresente trincas variadas e realizar cinco verificações, antes do início do levantamento de rede. Se possível, deve-se retornar ao mesmo local, no final do levantamento, e coletar outro conjunto de cinco verificações. Na impossibilidade de retorno ao segmento de referência, definir outro segmento. Comparar os resultados médios de 100 m, para cada conjunto de verificações, para avaliar a consistência dos resultados. O critério de aceitação para validação é $R^2 \geq 0,85$ para cada conjunto de dados. Além disso, deve-se avaliar a repetibilidade interna do sistema, antes e depois do levantamento, comparando cada execução com os valores médios de 100 m do mesmo conjunto. O critério de aceitação para repetibilidade interna é $R^2 \geq 0,90$;
- d) se os levantamentos forem realizados anualmente e os mesmos segmentos de referência forem utilizados a cada ano, pode haver algum benefício na comparação de dados históricos, embora deva-se levar em conta a deterioração geral do pavimento e quaisquer trabalhos de manutenção que tenham sido executados.

6.3 Equipe de campo e segurança de tráfego

- a) A equipe de campo deve ser composta por um motorista e um técnico para a operação e coleta de dados do equipamento. O operador é responsável por todo o gerenciamento da operação, incluindo a

orientação ao motorista quanto à condução do veículo, a verificação do funcionamento do equipamento, a rota a ser seguida e o registro de observações pertinentes.

- b) Devem ser realizadas medidas para garantir a segurança do levantamento, incluindo atendimento às normas de trânsito da via.
- c) Caso necessário, o veículo pode ser acompanhado por escolta, identificada com giroflex e adesivos reflexivos, para maior segurança na operação.

6.4 Preparação do equipamento

- a) Antes de iniciar o levantamento, todo o equipamento deve ser ligado, para permitir que seus componentes se estabilizem. Se necessário, aguardar o tempo prescrito pelo fabricante.
- b) Verificar se todos os sensores apresentam leituras conforme as instruções do fabricante.
- c) Deve ser realizado um teste da leitura dos sensores em um local de ensaio conhecido visando à verificação de seu funcionamento.
- d) Devem ser realizadas as verificações diárias do sistema, indicadas pelo fabricante.
- e) As câmeras devem ser posicionadas para atingir o objetivo do levantamento e de apresentação das imagens digitais, privilegiando-se sempre a adequada visualização dos defeitos nos pavimentos.

6.5 Verificação de calibração e funcionamento

- a) Ligar o sistema de controle de temperatura e todos os componentes, incluindo quaisquer sistemas adicionais de aquisição de dados, por tempo suficiente para que a temperatura do ar ambiente dentro do trailer atinja (24 ± 2) °C, antes de iniciar qualquer coleta de dados ou atividades de calibração.
- b) Realizar a verificação da calibração, a partir das leituras dos sensores antes do início das medições do dia e a qualquer momento em que houver suspeita de que tenha ocorrido alguma alteração do sistema em relação à sua última calibração.

- c) Realizar também as leituras ao final dos trabalhos para que as determinações realizadas sejam validadas.

6.6 Execução do levantamento

- a) As condições climáticas devem permitir a boa qualidade da visualização dos defeitos nos pavimentos e do vídeo registro. O levantamento não deve ser realizado em dias chuvosos, com pavimento molhado, com muita neblina, com pouca luz natural, nem no início ou fim do dia, em que a posição do sol em possa provocar o ofuscamento das imagens. Levantamentos noturnos podem ser realizados, desde que haja boa iluminação artificial partindo do veículo em direção à área avaliada.
- b) Antes de iniciar o registro dos dados, o operador deve identificar, corretamente no sistema, o ponto inicial do levantamento e o trecho a ser levantado. A medição deve ser realizada de maneira contínua, no entanto, caso ocorram interrupções, deve-se retornar algumas dezenas de metros antes do local da interrupção, a fim de que a medição possa ser emendada sem prejuízo do registro de dados.
- c) Ao longo do trecho levantado, deve-se obrigatoriamente, registrar pontos de referência da rodovia vinculados aos instrumentos do veículo, principalmente ao odômetro. Consideram-se pontos de referência qualquer elemento que tenha uma posição fixa na rodovia, cuja posição em relação aos marcos quilométricos da rodovia possa ser materializada. Destacam-se: marcos quilométricos, encontros de pontes, emboques de túneis, estacas (não necessariamente a cada 20 m), quebra-molas ou passagens elevadas de pedestres, elementos notáveis de trevos ou interseções entre outros. Os marcos quilométricos são pontos notáveis obrigatórios de registro.
- d) O operador deve seguir as instruções do fabricante para uso do equipamento (consultar o Manual do usuário do fabricante).
- e) Certificar-se de que os lasers estão abertos e que a roda de medição está abaixada.

- f) O levantamento deflectométrico deve ser conduzido na trilha de roda externa, salvo indicação em contrário. As faixas centrais só devem ser testadas, se houver obstrução na faixa externa e isso deve ser relatado.
- g) O levantamento de trincas deve ser conduzido em toda a faixa, quando se tratar de rodovia de pista simples. No caso de rodovia com mais de uma faixa, o levantamento deverá ser executado na faixa externa da mesma, salvo indicação em contrário. As faixas centrais só devem ser testadas, se houver impedimento na faixa externa e isso deve ser relatado.
- h) Iniciar as gravações dos dados 150 metros antes do marco inicial do percurso em análise.
- i) Ao longo do levantamento, o veículo deve ser conduzido de maneira suave, devendo-se garantir que a velocidade de deslocamento esteja dentro da faixa de operação do equipamento.
- j) Devem ser evitadas mudanças bruscas de velocidades durante o levantamento, pois podem alterar os registros dos sensores de aceleração devido à possível inclinação do veículo.
- k) A taxa de coleta de dados dos lasers Doppler pode ser afetada pela velocidade do veículo, cor do pavimento e altura do laser Doppler do pavimento. Se a taxa de dados de um laser cair abaixo de um valor especificado, normalmente 650 Hz, por períodos de tempo significativos e for consideravelmente menor do que os outros lasers, é possível que o foco de laser precise ser ajustado ou substituído conforme orientações do fabricante.
- l) Durante o levantamento, todos os tipos de ocorrências que possam causar interferência nos resultados devem ser registrados de forma que fique referenciada a posição. Alguns exemplos de ocorrências que devem ser registradas são: lombadas, praça de pedágio, obras de arte, mudança temporária de faixa, ultrapassagem, desvios, sujeira na pista, paradas na pista, mudança no tipo do revestimento, trechos com umidade, observações quanto ao funcionamento do equipamento e quanto ao estado do pavimento (grau de trincamento, painelas, remendos), etc.
- m) O operador do equipamento deve observar, durante a medição, a qualidade dos registros e, em caso de suspeita de mau funcionamento, registrar no sistema e interromper o levantamento. Assim que as condições de segurança forem favoráveis, deve-se repetir os testes de funcionamento, conforme a subseção 6.6.
- n) O levantamento deve ser encerrado se as condições forem tais que sejam encontradas dificuldades para manter a roda do veículo na trilha de roda externa ou na velocidade mínima de teste, resultando na coleta de dados inválidos.
- o) Nenhuma tentativa deve ser feita para desviar de defeitos no pavimento, a menos que possam danificar o veículo e/ou comprometer a segurança.
- p) Deve-se evitar longas paradas durante a realização do levantamento.
- q) O levantamento deve ser encerrado se houver riscos de danos ao equipamento, ou se o peso do veículo ou as limitações dimensionais forem excedidos.

6.7 Fatores que afetam o levantamento

Há uma série de fatores que podem afetar as medições de velocidade de deflexão e, quando encontrados durante o levantamento, os resultados referentes devem ser relatados. Os principais fatores incluem:

- a) desvios na faixa de teste;
- b) velocidades fora da faixa de operação do equipamento;
- c) curvas e inclinações;
- d) pontes incluindo juntas e transições;
- e) vias férreas e cruzamentos;
- f) dispositivos de drenagem;
- g) instalações locais de gerenciamento de tráfego, por exemplo lombadas, rotatórias;

- h) presença de água na superfície;
- i) áreas de contaminação da superfície, com lama, detritos, etc.;
- j) altos valores de deflexão calculados ($> 3000 \mu\text{m}$), em qualquer ponto de medição (não necessariamente inválido, apenas para informação);
- k) baixas taxas de leituras dos sensores;
- l) baixas deflexões;
- m) falta de ajuste do modelo de bacia de deflexão;
- n) trechos com pavimentos rígidos.

Pode haver alguns casos em que as dimensões e os aspectos de manuseio do veículo tornem a realização do levantamento desaconselhável para uma rede rodoviária específica.

Registrar quaisquer características e eventos incomuns que possam influenciar os resultados.

7 Processamento dos dados

O processamento de dados consiste na adequação das informações obtidas, em função da utilização pretendida. A depender do equipamento utilizado, o processamento dos dados, ou parte dele, pode ser feito simultaneamente com o levantamento de campo, ou posteriormente, com o auxílio de um software.

A grande quantidade de dados gerada em um levantamento requer que os dados puros sejam filtrados. Superfícies especiais podem requerer processos de filtragem especiais. São exemplos de superfícies especiais: revestimentos fresados e revestimentos com *grooving*.

O software utilizado para aquisição e processamento deve sincronizar totalmente todos os fluxos de dados, garantindo que as medições das condições estruturais e de superfície sejam marcadas com data e hora e medidas simultaneamente.

NOTA 3: Os valores dos parâmetros medidos pelo veículo ou modelados pelo processamento de dados não necessariamente concordam ou se correlacionam diretamente com aqueles obtidos por métodos de medição tradicionais.

O veículo apresentado nesta norma, mede apenas a velocidade de deflexão. Portanto, a bacia de deflexão e os demais parâmetros deflectométricos devem ser modelados a partir de modelos matemáticos e técnicas numéricas.

O software de análise deve ser capaz de, no mínimo, relatar o tipo de trinca predominante em cada imagem e a largura média das trincas (severidade). Uma avaliação da extensão das trincas deve ser feita diretamente de cada imagem. O software também deve incluir verificações para minimizar falsos positivos.

Para reduzir a quantidade de dados inválidos, o software de pós-processamento deve ser capaz de gerar uma bacia de deflexão se pelo menos três dos sensores Doppler produzirem uma leitura válida (excluindo o sensor de referência). As medições relatadas devem ser sinalizadas, se a bacia de deflexão for calculada usando menos que o número total de sensores Doppler (excluindo o sensor de referência).

8 Resultados

Os resultados do levantamento descritos nesta Norma, devem ser apresentados de forma contínua, em segmentos com espaçamentos pré-definidos, em uma planilha eletrônica. Para cada trecho analisado deverão ser apresentadas as seguintes informações:

- a) descrição do levantamento e identificação do equipamento e dos operadores;
- b) data e hora;
- c) rodovia, trecho, segmento, km inicial, km final, faixa levantada, sentido do tráfego;
- d) localização da seção de teste em relação ao sistema de referência de localização especificado pelo cliente, seja linear ou espacial;

- e) temperaturas da superfície do pavimento e do ar ambiente (°C);
 - f) cargas dos eixos esquerdo e direito do medidor de tensão (kg);
 - g) descrição da superfície analisada;
 - h) descrição de qualquer ponto de interferência ou pontos da superfície contaminados (úmidos ou com presença de algum obstáculo que não pôde ser removido ou limpo);
 - i) geometria (inclinação, queda transversal, gradientes);
 - j) condição da superfície do pavimento;
 - k) medições de inclinação do gradiente (em $\mu m/m$) em pontos distantes 100 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm e 900 mm do ponto de aplicação da carga;
 - l) curvatura (μm);
 - m) Cálculo das deflexões (em μm) em pontos distantes 0 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 600 mm, 900 mm, 1200 mm e 1500 mm do ponto de aplicação da carga;
 - n) perfis longitudinal e transversal;
 - o) IRI;
 - p) presença de trincas;
 - q) tipos, extensões e severidade das trincas;
 - r) somatório das áreas das trincas;
 - s) afundamentos;
 - t) macrotextura;
 - u) defeitos identificados;
 - v) datas e dados de calibração;
 - w) localização georreferenciada;
 - x) velocidade do veículo, sinalizadores de erro ou evento e comentários do operador, quando aplicáveis.
- Devem ser também, apresentadas as filmagens e imagens dos pavimentos, em sincronia com os dados levantados, através de um sistema de visualização, denominado de vídeo registro. Esse servirá tanto para validação do levantamento, quanto para auxiliar estudos e ou diagnósticos.

Anexo A (Informativo) – Veículo de levantamento contínuo

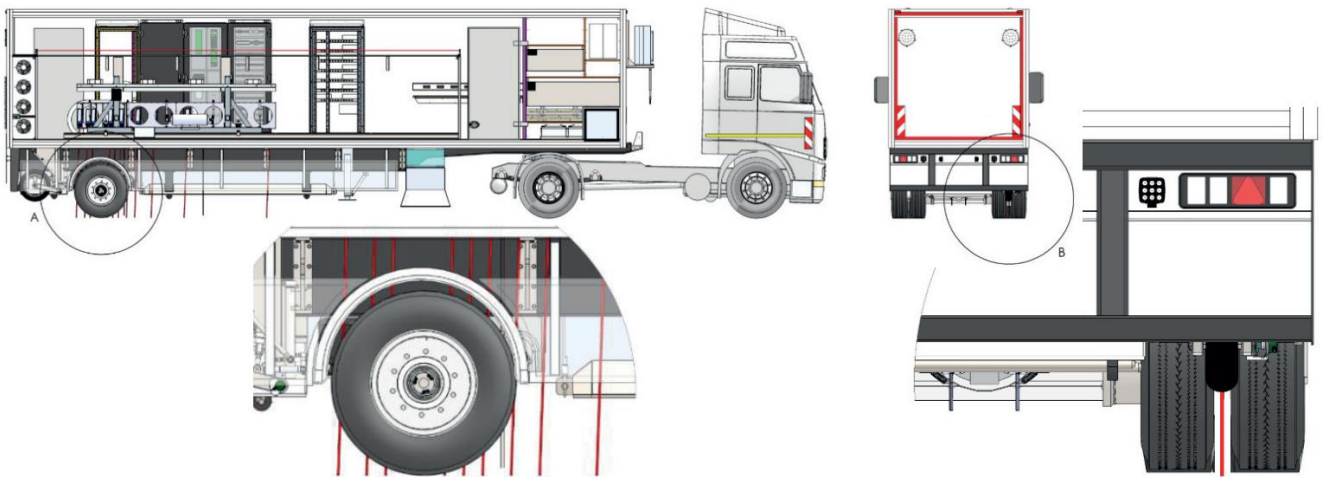


Figura A1 – Exemplo de veículo para levantamento contínuo

Fonte: Greenwood Engineering

_____/Anexo B

Anexo B (Informativo) – Segurança no uso do laser

Lasers usados em sistemas de medição de condições de pavimentos podem apresentar risco de ferimentos se forem operados incorretamente. Este Anexo descreve, apenas em termos gerais, alguns dos perigos e precauções relevantes para o uso de lasers na medição da condição de rodovias. Estas informações foram incluídas a fim de aumentar a conscientização sobre os problemas. Isto não anula os avisos/procedimentos de segurança especificados pelos fornecedores de equipamentos ou normas de segurança.

Os lasers Doppler usados são classificados como lasers de Classe 3B e são visíveis (com um comprimento de onda inferior a 700 nm). O veículo é equipado com obturadores de laser que bloqueiam fisicamente as aberturas do laser quando fechadas. Somente pessoal treinado deve operar o equipamento a laser. Pessoas não familiarizadas com os procedimentos de segurança do laser devem ser mantidas longe da operação de lasers por instrução verbal ou pelo uso de sinais de alerta, telas ou outros dispositivos de alerta de perigo.

A extensão dos danos que os lasers podem causar aos olhos ou à pele depende da duração da exposição. Devido à sua natureza concentrada, a luz do laser, visível ou invisível, pode causar danos aos olhos antes que o olho possa evitar a exposição piscando ou desviando o olhar.

A principal diferença entre a exposição ao olho ou à pele é que o olho focaliza a luz do laser no atrás do olho. Existem dois tipos de lesões oculares que podem resultar da exposição à luz do laser:

- a) Lesão térmica – o calor da luz do laser causa uma alteração nas proteínas do olho, semelhante à alteração na clara de ovo que ocorre quando um ovo é cozido; este dano pode ou não ser permanente;
- b) Lesão termomecânica – o calor da luz do laser provoca a ruptura dos vasos sanguíneos do olho; este tipo de dano não pode ser reparado.

Os lasers são identificados por várias etiquetas de advertência, incluindo símbolos de advertência, identificadores de classe, comprimento de onda rótulos e marcadores de abertura.

O marcador de abertura do laser indica a abertura através da qual o laser é emitido. Antes de testar, calibrando ou usando um sistema de laser, é importante estar ciente da localização de todas as aberturas de laser.

Os rótulos de comprimento de onda indicam o comprimento de onda (nm) da luz laser emitida. Os óculos de segurança e os cartões indicadores dos lasers devem ser selecionados para corresponder ao comprimento de onda do laser com o qual serão usados.

É importante que objetos reflexivos não sejam colocados no caminho de um feixe de laser em operação. Ao verificar, testando ou calibrando um laser, todas as joias (relógios, anéis, etc.) devem ser removidas das mãos e pulsos.

Anexo C (Informativo) – Bibliografia

- a) AUSTRROADS. AG:AM-S006-16 – Specification for Pavement Deflection Measurement with a Traffic Speed Deflectometer (TSD) Device. Austrália, 2016.
- b) _____. AG AM-T017-16 – Pavement Data Collection with a Traffic Speed Deflectometer (TSD) Device. Austrália, 2016.
- c) _____. AG:AM-T018-16 – Pavement Crack Measurement with an Automated Crack Detection System.
- d) _____. AP-T246-13 – State-of-the-art - Traffic Speed Deflectometer Practice. Austroads Technical Report. Austrália, 2013. ISBN: 978-1-925037-16-6.
- e) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – PRO 159/85: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semirrígidos.
- f) _____. DNER – PRO 273/96: Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer” (FWD).
- g) _____. DNER – PRO 182/94: Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter – Procedimento.
- h) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 162/2012 – PRO: Pavimentos - Determinação de deflexões utilizando o Deflectógrafo Lacroix - Procedimento.
- i) _____. DNIT 163/2012 – PRO: Calibração do Deflectógrafo Lacroix – Procedimento.
- j) _____. DNIT 170/2016 – PRO: Pavimentos – Determinação de deflexões utilizando o Curviâmetro – Procedimento.
- k) _____. DNIT 171/2016 – PRO: Calibração dos sensores do deflectógrafo Curviâmetro - Procedimento.
- l) _____. DNIT 433/2021 – PRO: Pavimentação – Levantamento do percentual de área trincada e de afundamento de trilha de roda de pavimento asfáltico em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão – Procedimento.
- m) XIAO, F.; XIANG, Q.; HOU, X.; AMIRKHANIAN, S. N. Utilization of traffic speed deflectometer for pavement structural evaluations. Measurement, Volume 178, 109326. Elsevier, 2021.
- n) ZOFKA, A.; SUDYKA, J. Traffic Speed Deflectometer (TSD) Measurements for Pavement Evaluation. International Symposium of Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE). Berlin, Alemanha, 2015.

Índice Geral

Abstract.....	1	Índice Internacional de Irregularidade (International Roughness Index – IRI).....	3.12.....3
Afundamento.....	3.1.....2	Irregularidade longitudinal.....	3.13.....3
Afundamento de trilha de roda (ATR).....	3.2.....2	Levantamentos Integrados.....	5.1.....4
Anexo A (Informativo) – Veículo de levantamento contínuo.....	11	Localização das estações de ensaio.....	5.2.....5
Anexo B (Informativo) – Segurança no uso do Laser.....	12	Macrotextura.....	3.14.....3
Anexo C (informativo) – Bibliografia.....	13	Objetivo.....	1.....1
Ângulos dos Lasers.....	6.1.3.....6	Prefácio.....	1
Área trincada.....	3.3.....2	Preparação do equipamento.....	6.4.....7
Bacia de deflexões.....	3.4.....2	Procedimentos.....	6.....5
Calibração.....	6.1.....5	Processamento dos dados.....	7.....9
Condições específicas.....	5	Programa de ensaio.....	5.....4
Deflectômetro de velocidade de tráfego (TSD).....	3.5.....2	Raio de curvatura.....	3.15.....3
Deflexão.....	3.6.....2	Referências normativas.....	2.....2
Deflexão máxima (D0).....	3.7.....2	Resultados.....	8.....9
Detector automático de trincas (ACD).....	3.8.....2	Resumo.....	1
Equipamento para avaliação contínua de pavimentos.....	3.9.....2	Sistema de coleta de imagens.....	6.1.4.....6
Equipamentos.....	4.....3	Termos e definições.....	3.....2
Equipe de campo e segurança de tráfego.....	6.3.....6	Transdutor de Distância.....	6.1.1.....5
Execução do levantamento.....	6.6.....7	Trilha externa.....	3.16.....3
Extensômetros.....	6.1.2.....5	Trilha interna.....	3.17.....3
Fatores que afetam o levantamento.....	6.7.....8	Validação.....	6.2.....6
Flecha na trilha de roda.....	3.10.....3	Velocidade de deflexão.....	3.18.....3
Índice de curvatura (IC).....	3.11.....3	Verificação de calibração e funcionamento.....	6.5.....7