



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 Lote A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel./fax: (61) 3315-4831

ABRIL 2023

NORMA DNIT 442/2023 – PRO

Pavimentação – Levantamento do perfil longitudinal de pavimentos com perfilômetro inercial – Procedimento

Autor: Instituto de Pesquisa em Transportes – IPR

Processo: 50600.030786/2019-17

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 18/04/23.

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:

Perfil longitudinal, perfilômetro inercial, irregularidade longitudinal, afundamento de trilha de roda, macrotextura, avaliação funcional do pavimento.

Nº total de páginas

19

Resumo

Este documento estabelece o procedimento para a medição e o registro contínuo de perfis longitudinais da superfície do pavimento, utilizando o perfilômetro inercial, para a determinação da irregularidade longitudinal, do afundamento de trilha de roda e da macrotextura do pavimento. Adicionalmente, estabelece as características do perfilômetro inercial, a verificação do seu funcionamento e os aspectos de operação.

Abstract

This document establishes the procedure for measuring and continuously recording longitudinal profiles of pavement surface using an inertial laser profiler, aiming to determine longitudinal roughness, wheel track sinking and pavement macrotexture. Additionally, establishes the characteristics of inertial laser profilers, verification and operational aspects.

Sumário

Prefácio.....	1
1 Objetivo.....	1
2 Referências normativas	2
3 Definições.....	2
4 Equipamentos.....	3
5 Equipe de campo e segurança de tráfego	4

6 Calibração.....	5
7 Procedimentos para as medições.....	5
8 Processamento dos dados	6
9 Cálculo do QI, IRI, ATR e Macrotextura.....	7
10 Apresentação dos resultados	8
Anexo A (Informativo) – Exemplos de posicionamento dos sensores.....	9
Anexo B (Informativo) – Exemplos de gráficos.....	12
Anexo C (Informativo) – Tabela de resultados	15
Anexo D (Informativo) – Bibliografia.....	17
Índice geral.....	19

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 das medições de irregularidade longitudinal de pavimentos utilizando o perfilômetro inercial. O levantamento do perfil longitudinal do pavimento permite determinar o Índice Internacional de Irregularidade (*International Roughness Index* – IRI) ou o Quociente de

Irregularidade (QI) e a profundidade média do perfil de macrotextura. Também permite obter o afundamento plástico nas trilhas de roda.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis 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 ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – ES 173/86: Método de Nível e Mira para Calibração de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta.
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 965 – 15(2019): Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique.
- c) _____. ASTM E 1845 – 15: Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth.
- d) _____. ASTM E 1926 – 08(2021): Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements.

3 Definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

3.1 Perfilômetro inercial

Nomenclatura utilizada para designar o equipamento composto por dois ou mais sensores de deslocamento vertical sem contato, odômetro e acelerômetros, devidamente montados e conectados a um sistema de processamento computacional que, instalado em um veículo, seja capaz de medir e calcular continuamente o perfil longitudinal da superfície do pavimento por onde o veículo trafegar. Os nomes “perfilômetro laser” ou “barra laser” são utilizados para designar o tipo mais comum de perfilômetro inercial, aquele no qual os sensores que medem a distância entre o veículo e o pavimento fazem uso de um feixe de laser.

3.2 Módulos de medição do perfilômetro inercial

Caixas fechadas e protegidas onde são instalados os sensores a laser de deslocamento vertical e os sensores de aceleração de um perfilômetro inercial, responsáveis pela medição do perfil longitudinal. Geralmente são fixados em um suporte ou barra colocada junto ao para-choque dianteiro ou traseiro do veículo.

3.3 Sensor de deslocamento vertical (sensor a laser)

Dispositivo que mede, em alta frequência, a distância entre a carroceria do veículo e o pavimento subjacente.

3.4 Sensor de aceleração (acelerômetro)

Dispositivo que mede a aceleração vertical do veículo, na unidade de aceleração “g” (9,80665 m/s²), como meio de prover um referencial inercial de sua posição vertical.

3.5 Sensor de deslocamento longitudinal (odômetro)

Dispositivo que mede a distância percorrida pelo veículo.

3.6 Perfil longitudinal puro

Perfil contendo as medidas originais realizadas pelo perfilômetro, sem qualquer tipo de filtragem, obtidas no menor espaçamento longitudinal possível.

3.7 Perfil longitudinal filtrado

Perfil longitudinal puro que passou por filtragem visando retirar o efeito da textura da superfície.

3.8 Perfil longitudinal decimado

Perfil longitudinal filtrado cujo espaçamento longitudinal entre pontos pode variar de acordo com o interesse do usuário ou parâmetros normativos.

3.9 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. A irregularidade longitudinal

pode ser aferida pelo Quociente de Irregularidade (QI) ou pelo Índice Internacional de Irregularidade (IRI).

3.10 Quociente de irregularidade (QI)

Índice calculado a partir da medição do perfil longitudinal do pavimento e que representa o somatório dos deslocamentos verticais relativos do eixo traseiro de um veículo medidor de irregularidade, dividido pela distância percorrida. É expresso em contagens/km.

3.11 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.

3.12 Afundamento de trilha de roda (ATR)

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.

3.13 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.

4 Equipamentos

4.1 Perfilômetro Inercial

4.1.1 Quantidades de módulos de medição

a) Para a medição do perfil longitudinal em uma das trilhas de roda, o equipamento deve possuir, pelo menos, um módulo de medição contendo um sensor a laser e um acelerômetro.

b) Para a determinação simultânea dos perfis longitudinais correspondentes às duas trilhas de roda da faixa de rolamento, o equipamento deve conter dois módulos de medição.

NOTA 1: Se o equipamento utilizar dois conjuntos de módulos de medição, eles devem ser instalados com uma distância entre 1,5 m e 1,8 m um do outro, a depender das características da via, possibilitando a medição simultânea do perfil longitudinal em ambas as trilhas de roda.

c) Para avaliar o afundamento de uma trilha de roda, são necessários, no mínimo, três conjuntos de sensores a laser. Estes devem ser posicionados de modo que simulem uma treliça.

d) Para o levantamento das duas trilhas de rodas (interna e externa), devem ser utilizados, no mínimo, cinco sensores a laser e dois acelerômetros, sendo um em cada extremidade da barra, um em cada trilha de roda e um no meio da barra. Para evitar o uso de barra maior que a largura do veículo, dois dos cinco módulos devem fazer sua leitura na diagonal, visando obter referências de alturas externas às trilhas de roda. As Figuras A1 e A2 do Anexo A mostram a barra com cinco sensores a laser e o medidor de macrotextura.

NOTA 2: Tendo em vista o número limitado de sensores, considera-se que o valor de ATR é estimativo, inferindo-se que a leitura realizada seja, pelo menos, o valor mínimo de ATR na faixa avaliada, podendo haver valores maiores. Portanto, admite-se que as leituras realizadas com este equipamento possam ser utilizadas, mas apenas a nível de rede, não devendo ser empregadas a nível de projeto, cujo valor do ATR máximo é imprescindível.

NOTA 3: Perfilômetros com quantidade superior a 5 sensores a laser ou com tecnologias capazes de determinar o perfil transversal da faixa de rolamento com mais pontos, são recomendados e podem ser utilizados se produzirem medidas mais acuradas do perfil

transversal, e conseqüentemente, de ATR.

- e) Para avaliar a macrotextura, deve-se utilizar um sensor com frequência, resolução e curso compatíveis com a necessidade desta medição, conforme a norma ASTM E 1845 – 15.

NOTA 4: A critério do fabricante, é permitida a utilização do mesmo sensor laser para obtenção da irregularidade longitudinal e da macrotextura, desde que possua características técnicas para atender ambos os índices.

4.1.2 Requisitos mínimos para os sensores do perfilômetro

- a) Sensor de aceleração: deve ser montado com seu eixo de medição alinhado ao do medidor do sensor a laser, na direção perpendicular à superfície do pavimento. A faixa de medição do sensor deve acomodar os níveis de aceleração vertical sofridos pelo veículo (geralmente ± 2 g).

NOTA 5: A critério do fabricante, o equipamento pode contar ainda com sistema inercial auxiliar composto de giroscópio e/ou de sensores de inclinação.

- b) Sensor de deslocamento vertical: deve estar acoplado ao veículo com o eixo de medição perpendicular à superfície do pavimento e alinhado com o eixo do sensor do acelerômetro. Sua fixação deve permitir acomodar a medição dos deslocamentos da carroceria nos dois sentidos (para baixo e para cima). Sua frequência de medição deve permitir a execução de medidas espaçadas em, no máximo, 25 mm, levando em conta sua velocidade máxima de operação, compatível com a da via. Sua resolução deve ser igual ou melhor que 0,1 mm.
- c) Sensor de deslocamento longitudinal: pode ser qualquer sensor que produza uma série de pulsos em intervalos que representem a distância trafegada sobre a superfície. A exatidão da medição deste sensor pode ser estabelecida por calibração com trena. O erro máximo permitido é de 0,1 %, equivalente a uma diferença de 1 m/km.

4.1.3 Equipamentos complementares

- a) O equipamento deve dispor de um bloco paralelepípedo com dimensões padronizadas (ver Figura A3 do Anexo A), que possibilite a verificação estática dos sensores a laser.
- b) Também é necessária uma barra metálica plana de referência para nivelar as medidas dos módulos, visando o cálculo do ATR (ver Figura A4 do Anexo A).

4.2 Sistema computacional de coleta e gravação de dados

- a) O sistema de coleta de dados deve permitir ao operador a visualização do estado de funcionamento de todos os componentes do perfilômetro em tempo real, para averiguação do perfeito funcionamento do equipamento.
- b) Durante a operação de coleta de dados com o perfilômetro, o sistema deve possibilitar ao operador do equipamento o registro de observações vinculadas ao trecho nas quais elas foram inseridas, com a finalidade de marcar a localização de eventos que possam interferir nos resultados do levantamento.

4.3 Veículo de transporte do equipamento

- a) O veículo deve acomodar, adequadamente, todos os componentes do perfilômetro e duas pessoas: o motorista e o técnico da operação.
- b) O estado de conservação do veículo deve possibilitar um rolamento suave com facilidade de manutenção de uma trajetória que acompanhe as trilhas de roda da faixa de rolamento por onde ele trafegar.
- c) A calibração dos pneus deve ser verificada conforme as indicações do fabricante do perfilômetro.
- d) A Figura A5 do Anexo A mostra o posicionamento dos sensores em relação ao eixo do veículo.

5 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 em relação à condução do veículo, a verificação do funcionamento do equipamento, a rota a ser seguida e o registro de observações pertinentes.

- b) Devem ser tomadas todas as medidas para garantir a segurança do levantamento, incluindo atendimento às normas de trânsito da via.
- c) Caso seja necessário, o veículo pode estar identificado com giroflex e adesivos reflexivos, para maior segurança na operação.

6 Calibração

- a) A calibração do perfilômetro, refere-se à calibração de cada um de seus sensores e deve ocorrer periodicamente conforme as instruções do fabricante.
- b) O sistema eletrônico, constituído por rotinas lógicas e cálculos matemáticos, não necessita de calibração regular, devendo, no entanto, serem seguidas as orientações do fabricante.
- c) O equipamento deve ser calibrado ao ser instalado e sempre que sofrer danos, impactos, reparos, substituições de peças, quando os resultados das verificações sugeridas pelo fabricante estiverem fora das especificações e quando houver dúvida ou incompatibilidade de resultados com a realidade observada no pavimento.

7 Procedimentos para as medições

7.1 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.

7.2 Verificação de calibração e funcionamento

- a) Realizar a verificação do funcionamento do

equipamento conforme as instruções do fabricante 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.

- b) Caso recomendado pelo fabricante, realizar também uma verificação do equipamento ao final dos trabalhos.

7.3 Recomendações gerais para o levantamento

- a) Os levantamentos realizados com perfilômetro inercial, cujos sensores de distância sejam baseados em laser ou outro tipo de radiação eletromagnética, dependem normalmente de superfícies secas para que possam medir corretamente. Portanto, não se deve executar este tipo de medição em dias chuvosos ou com as superfícies úmidas ou molhadas, salvo se o fabricante do equipamento afirmar o contrário.
- b) Caso o trecho em análise não possua marcações claras, recomenda-se realizar previamente o reconhecimento deste trecho e, caso necessário, fixar marcos que possam ser facilmente identificados com o veículo em velocidade normal de tráfego.
- c) Para avaliações de faixas de rolamento mais lentas ou de tráfego intenso de veículo, sugere-se fazer o levantamento em dias e horários com menor fluxo de tráfego.
- d) Iniciar as gravações dos dados um pouco antes do início do trecho. Alguns equipamentos recomendam começar a registrar os dados 150 metros antes do marco inicial do percurso em análise.
- e) Evitar a realização de registros de dados em velocidades inferiores ou superiores às velocidades de operação informadas pelo fabricante, pois pode haver perda de acurácia dos resultados.
- f) Evitar mudanças bruscas de velocidades durante o levantamento, pois podem alterar os registros dos sensores de aceleração devido a possível inclinação do veículo.
- g) Para a medição do perfil longitudinal de um

pavimento, o perfilômetro deve ser posicionado sobre as trilhas de roda da faixa de rolamento. Caso o equipamento esteja utilizando apenas um módulo de medição, este deverá estar posicionado no centro de uma das trilhas de roda. Se estiver utilizando dois módulos de medição, eles devem estar posicionados um sobre cada trilha de roda.

7.4 Execução da medição em campo

- a) Antes de iniciar o registro dos dados, o operador deve identificar corretamente no sistema 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.
- b) Durante o levantamento, todos os tipos de ocorrências que possam causar interferência nos resultados do perfil ou dos índices de irregularidade longitudinal devem ser registrados de forma que fique referenciada a posição do odômetro do perfilômetro. 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.
- c) O operador do equipamento deve observar, durante a medição, a qualidade dos registros feitos pelos sensores do perfilômetro 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 7.2.

8 Processamento dos dados

- a) O processamento de dados consiste na adequação das informações obtidas pelo perfilômetro inercial, de acordo com a utilização pretendida. A depender do perfilômetro utilizado, o processamento dos

dados, ou de parte deles, pode ser feito simultaneamente com o levantamento de campo, ou posteriormente, com o auxílio de um software.

- b) A maioria das aplicações dos perfis longitudinais requer que o perfil puro seja filtrado para a eliminação da influência da macrotextura da superfície. Superfícies especiais podem requerer processos de filtragem especiais. São exemplos de superfícies especiais: revestimentos fresados e revestimentos com *grooving*.
- c) O perfil longitudinal necessário para a determinação dos índices de irregularidade longitudinal (IRI e QI) é chamado de perfil longitudinal decimado e pode ser obtido de duas formas, expostas nas subseções 8.1 e 8.2, dependendo da saída de dados do perfilômetro inercial utilizado.

NOTA 6: Sempre que possível, é preferível a utilização do método descrito na subseção 8.1, visto que a sua aplicação torna possível a eliminação de pontos indesejáveis presentes no perfil longitudinal puro.

8.1 Obtenção do perfil longitudinal decimado a partir do perfil longitudinal puro

- a) Nos casos em que o perfilômetro inercial permita o acesso ou o processamento a partir do perfil longitudinal puro, este último deve ser obtido no menor espaçamento possível e, a partir dele, deve ser determinado o perfil longitudinal decimado.
- b) O perfil longitudinal decimado apresenta apenas um ponto a cada 250 mm para o cálculo do IRI e um ponto a cada 500 mm para o cálculo do QI. Para obter cada um desses pontos, deve-se calcular a média das elevações dos pontos do perfil longitudinal puro, 75 mm antes e 75 mm depois dele; ou seja, será utilizada a altura média de todos os pontos situados em um raio de 75 mm. Este procedimento é similar à aplicação de uma média móvel com 150 mm de comprimento.
- c) Adicionalmente, pode ser utilizado procedimento para a eliminação de até 25 % dos pontos mais dispersos de cada média, visando retirar a influência indevida de trincas, juntas de dilatação e sujeiras,

cuja elevação possa ter sido medida pelo equipamento, mas que não fazem parte da superfície avaliada ou não afetam a dinâmica dos veículos.

- d) A aplicação deste procedimento é simples. Suponha-se que dentro dos 150 mm lineares do perfil longitudinal puro, cujas elevações serão usadas para o cálculo de um ponto do perfil, existam 12 medições. Calcula-se inicialmente a média das elevações dos 12 pontos e então se verificam quais os pontos mais dispersos em relação à média e retiram-se tais pontos conforme o percentual definido. Por exemplo, se foi escolhido 20 % devem ser retirados 2 pontos. Retirados tais pontos, recalcula-se a média com os 10 pontos que restaram e este é o novo valor médio que deve compor o perfil decimado.
- e) O percentual recomendado para a eliminação de pontos varia entre 10 % e 25 %. A escolha do valor a ser usado deve ser feita em função das características das juntas, trincas, sujeiras ou de outras razões que possam ter causado medidas indesejadas na superfície avaliada, levando-se em conta as características do perfilômetro utilizado. Como regra geral, o percentual a ser escolhido deve ser o menor valor que garanta que os pontos medidos indevidamente sejam retirados do perfil.

8.2 Obtenção do perfil longitudinal decimado a partir do perfil longitudinal filtrado

- a) Em alguns perfilômetros, só é possível obter como saída o perfil longitudinal filtrado, ou seja, o usuário não tem acesso ao perfil longitudinal puro. Nestes casos, portanto, não se pode aplicar o método de médias ou o procedimento de eliminação de pontos descritos em 8.1.
- b) Para a obtenção do perfil longitudinal decimado a partir do perfil longitudinal filtrado, deve-se adequar o espaçamento entre os pontos do perfil: se o perfil filtrado obtido já estiver com espaçamento que seja divisor de 250 mm, basta eliminar os pontos intermediários a 250 mm para a criação do perfil decimado; caso contrário, é necessário fazer a interpolação dos pontos disponíveis no perfil filtrado para a obtenção do perfil decimado.

NOTA 7: Caso o perfilômetro empregado possua uma maneira distinta para obtenção do perfil longitudinal, o procedimento deverá ser adequadamente esclarecido e aprovado pela Fiscalização.

9 Cálculo do QI, IRI, ATR e Macrot textura

- a) O cálculo do Quociente de Irregularidade (QI) pode ser obtido de acordo com a norma DNER – ES 173/86.
- b) Para o cálculo do Índice Internacional de Irregularidade (IRI), deve-se utilizar como referência a norma ASTM E 1926 – 08(2021). O cálculo do valor do IRI deve estar incorporado nos softwares do perfilômetro inercial. Verificar com o fabricante o método de cálculo estabelecido.

NOTA 8: Não se deve converter os índices de irregularidade IRI e QI usando modelos de correlações, visto que cada um atribui pesos diferentes para determinados comprimentos de onda presentes em perfil longitudinal, o que impacta a conversão.

- c) Os índices de irregularidade devem ser calculados em intervalos constantes, preferencialmente entre 20 m e 1000 m. Sugere-se calcular os índices de irregularidade apenas a partir de módulos de medição verticais, deixando os diagonais apenas para o cálculo estimativo de ATR.
- d) Quando se utiliza um perfilômetro com pelo menos 3 sensores pontuais para medir o ATR em uma trilha de roda, o cálculo do Afundamento de Trilha de Roda – ATR pode ser feito considerando a média das medidas realizadas nas extremidades de cada trilha (L_a e L_b) de roda (interna ou externa), menos a medida realizada com o sensor central da trilha (L_c), conforme a Equação 1, válida somente quando os módulos laser estiverem equidistantes. Essa diferença é o valor do ATR em mm. Caso os espaçamentos entre os módulos sejam diferentes, é necessário traçar uma linha imaginária entre as medidas dos módulos L_a e L_b . O ATR é a distância do L_c até a linha traçada, levando em consideração

o posicionamento transversal do L_c nessa linha, sendo:

$$ATR = L_c - \left(\frac{L_a + L_b}{2}\right) \quad (1)$$

Onde:

ATR é o afundamento de trilha de roda, expresso em milímetros (mm);

L_a é o módulo de medição de uma das extremidades do ATR, expresso em milímetros (mm);

L_b é o módulo de medição da outra extremidade do ATR, expresso em milímetros (mm);

L_c é o módulo de medição sobre o centro do ATR, expresso em milímetros (mm).

NOTA 9: A representatividade dos valores obtidos de ATR através de perfilômetros laser pode variar conforme o posicionamento dos módulos na barra e o posicionamento do veículo na faixa de rolamento. Desta maneira, sempre que possível recomenda-se a obtenção de perfis transversais com mais pontos.

e) Caso o perfilômetro possua um ou mais módulos laser que atendam os requisitos da norma ASTM E 1845 – 15, esta norma poderá ser utilizada para se calcular o valor da profundidade média do perfil de macrotextura (MPD), que representa uma estimativa do resultado do ensaio de mancha de areia conforme a ASTM E 965 – 15(2019).

f) No Anexo B são apresentados exemplos gráficos de resultados de Índice Internacional de Irregularidade (IRI), de afundamento de trilha de roda (ATR) e de macrotextura.

g) O Anexo C mostra exemplos de planilhas de resultados.

10 Apresentação dos resultados

Para cada trecho analisado deverão ser apresentadas as seguintes informações:

- a) Descrição da avaliação.
- b) Data e local.
- c) Descrição da superfície analisada.
- d) Identificação do equipamento e operadores.
- e) Datas de calibração.
- f) Distância percorrida.
- g) Resultados da avaliação em um ou mais dos seguintes espaçamentos constantes: 20 m, 100 m, 200 m ou 1000 m contendo o valor do IRI e/ou QI para cada trilha de roda, a média dos IRI e/ou QI, a velocidade média, as observações do operador e as coordenadas geográficas relativas àquele segmento.
- h) Os resultados de ATR podem ser expressos na mesma planilha, em coluna adicional ou em outra planilha separada.

Anexo A (Informativo) – Exemplos de posicionamento dos sensores

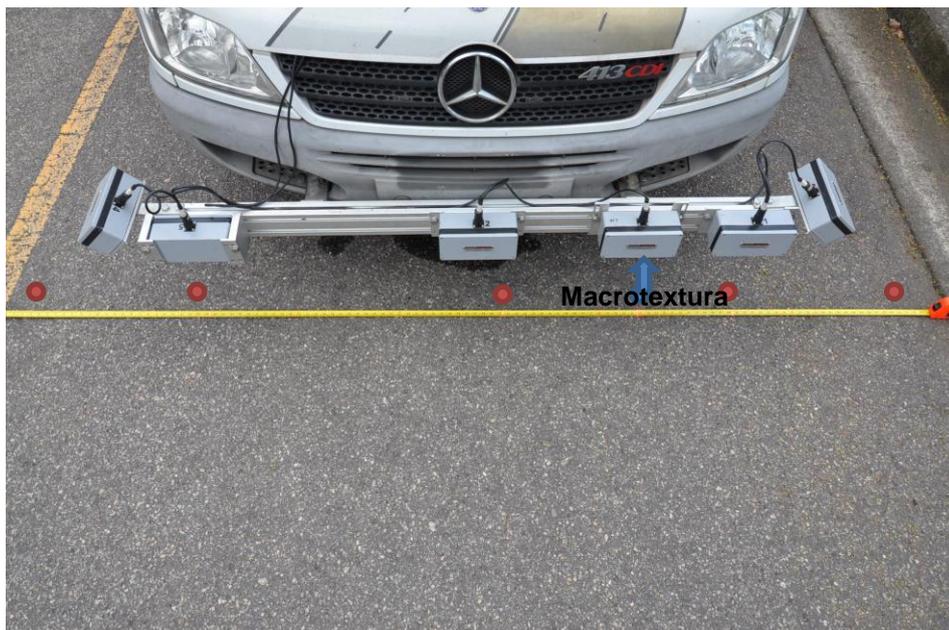


Figura A1 – Barra com cinco sensores e o medidor de macrotextura



Figura A2 – Barra com sensores para medida de irregularidade (1, 2, 5), sensores para medida de afundamento de trilha de roda (1, 2, 3, 4 e 5) e sensor para medida de macrotextura (MT)



Bloco paralelepípedo

Figura A3 – Verificação do sensor com bloco



Barra metálica plana

Figura A4 – Verificação dos sensores com uma barra plana

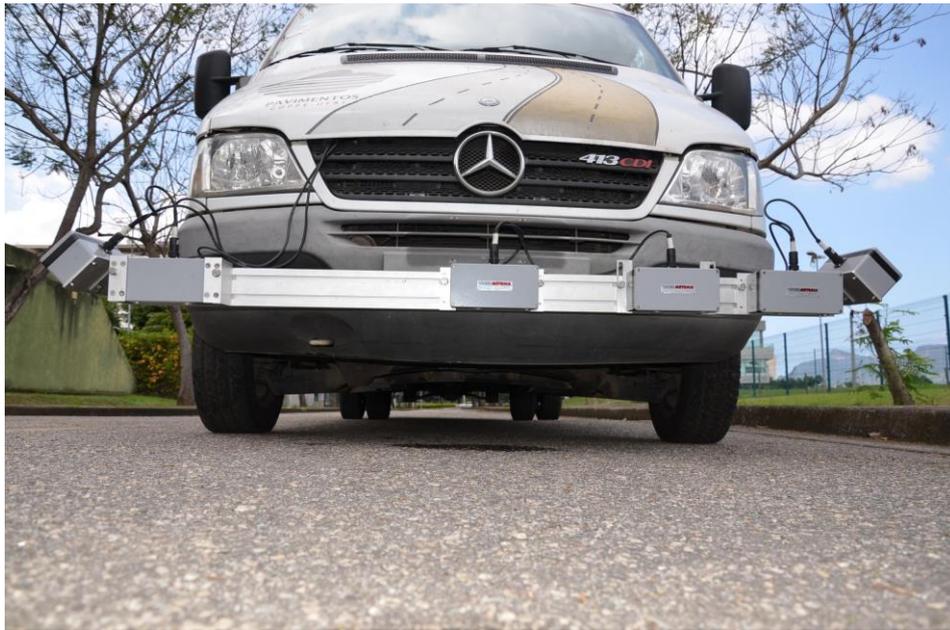


Figura A5 – Posicionamento dos sensores em relação ao eixo do veículo

_____/Anexo B

Anexo B (Informativo) – Exemplos de gráficos

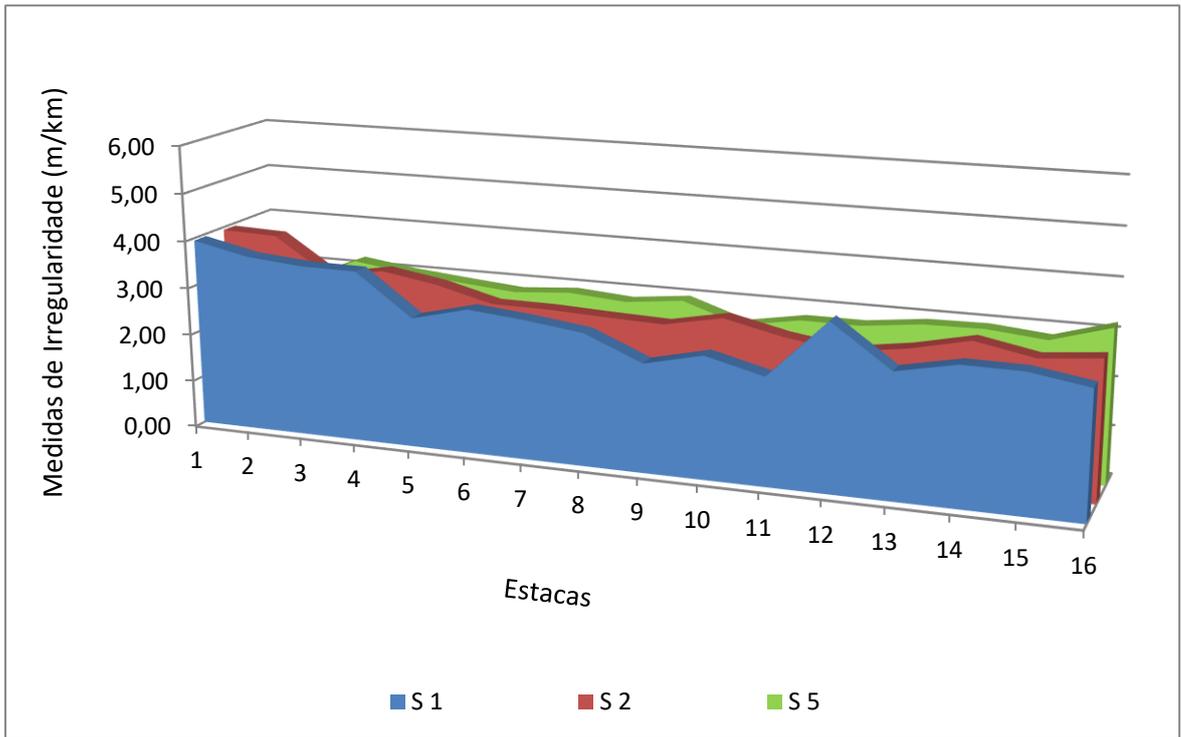


Figura B1 – Exemplo gráfico de medidas de irregularidade – IRI (m/km)

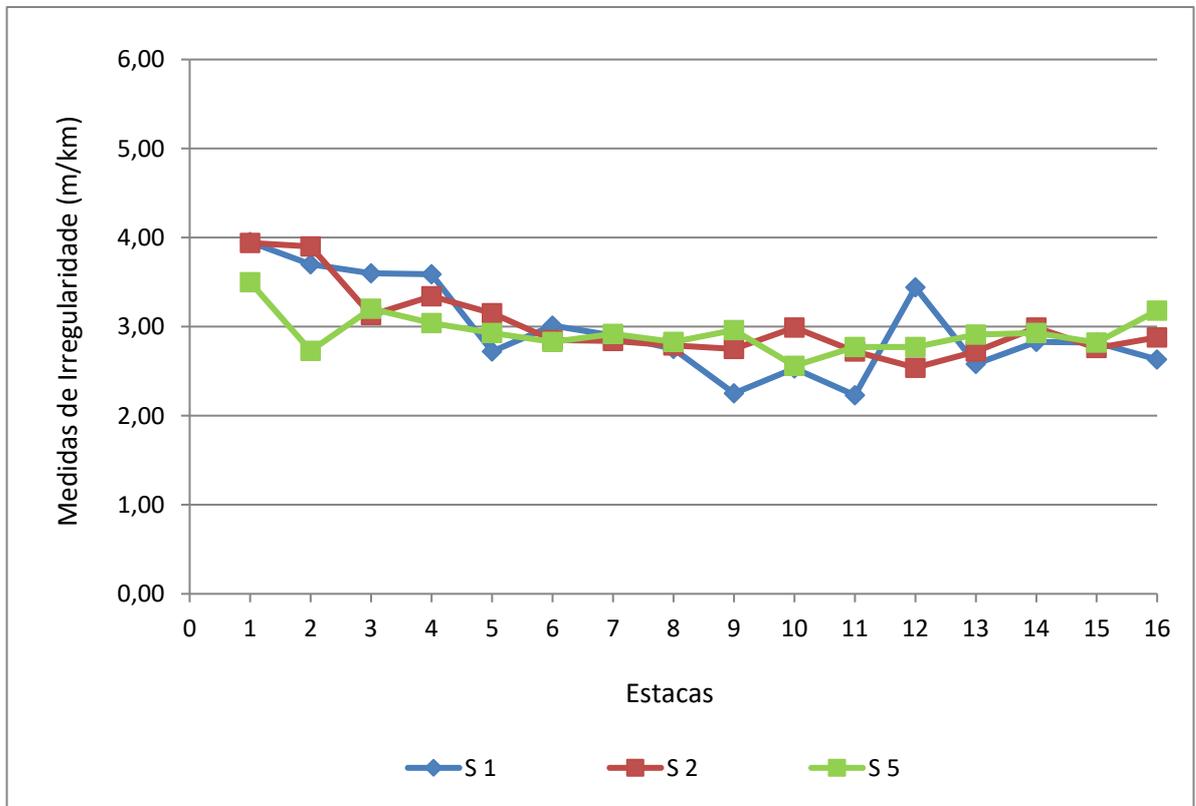


Figura B2 – Exemplo gráfico de medidas de irregularidade – IRI (m/km)

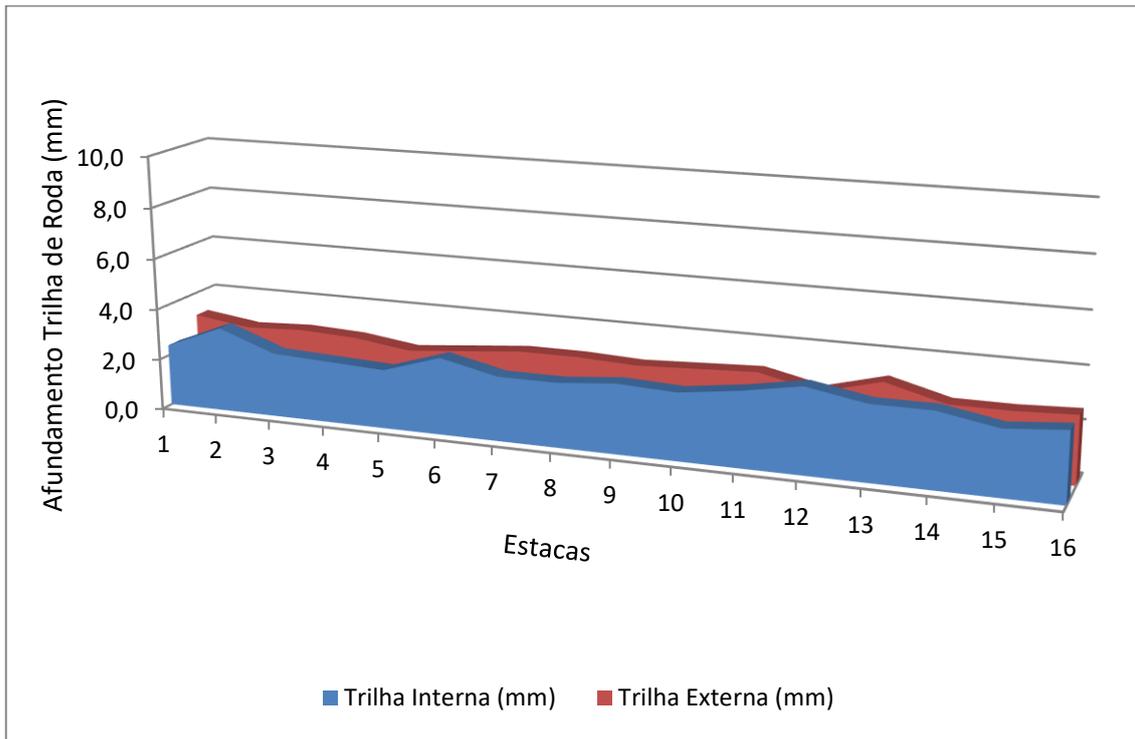


Figura B3 – Exemplo gráfico de afundamento de trilha de roda – ATR (mm)

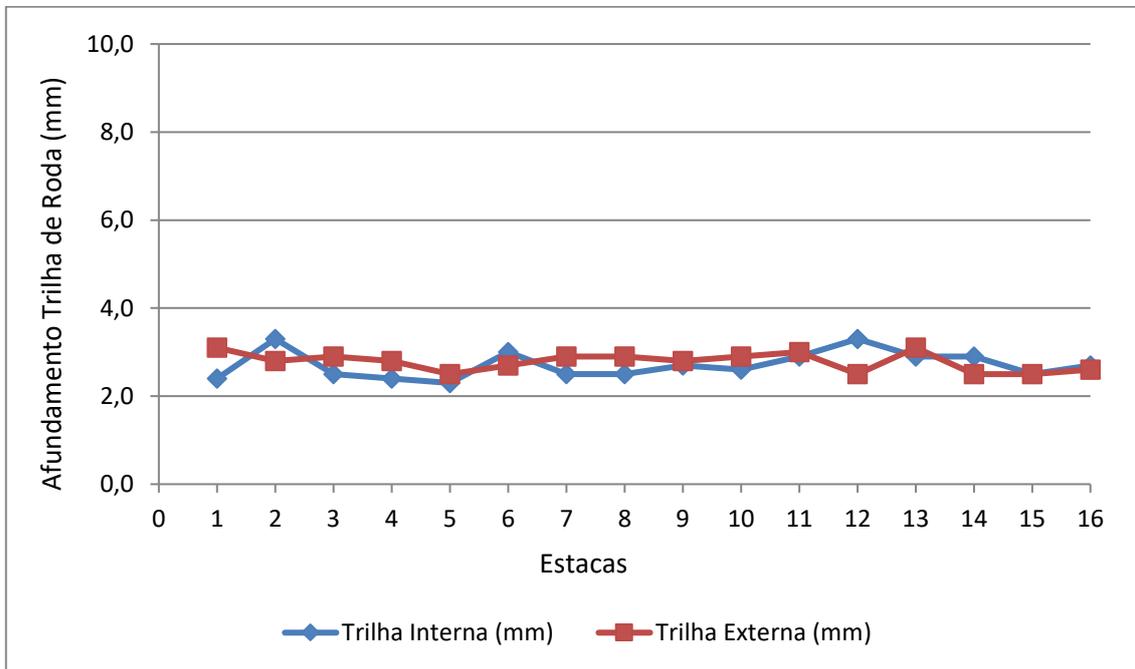


Figura B4 – Exemplo gráfico de afundamento de trilha de roda – ATR (mm)

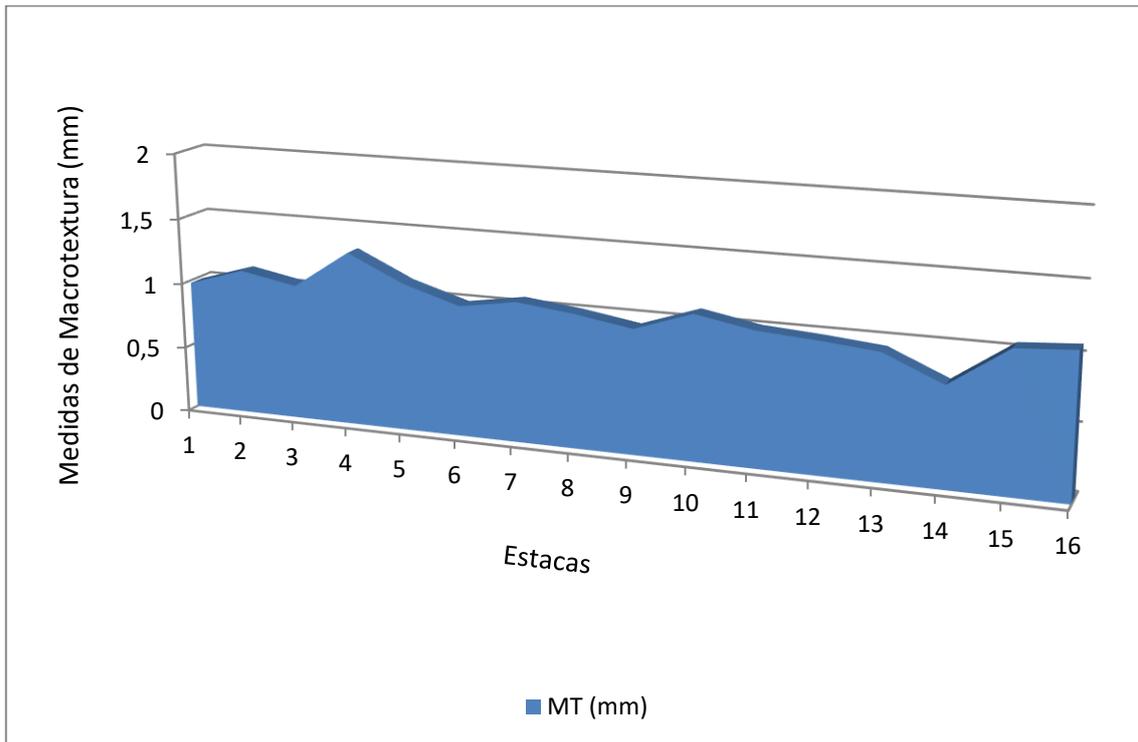


Figura B5 – Exemplo gráfico de medidas de macrotextura (mm)

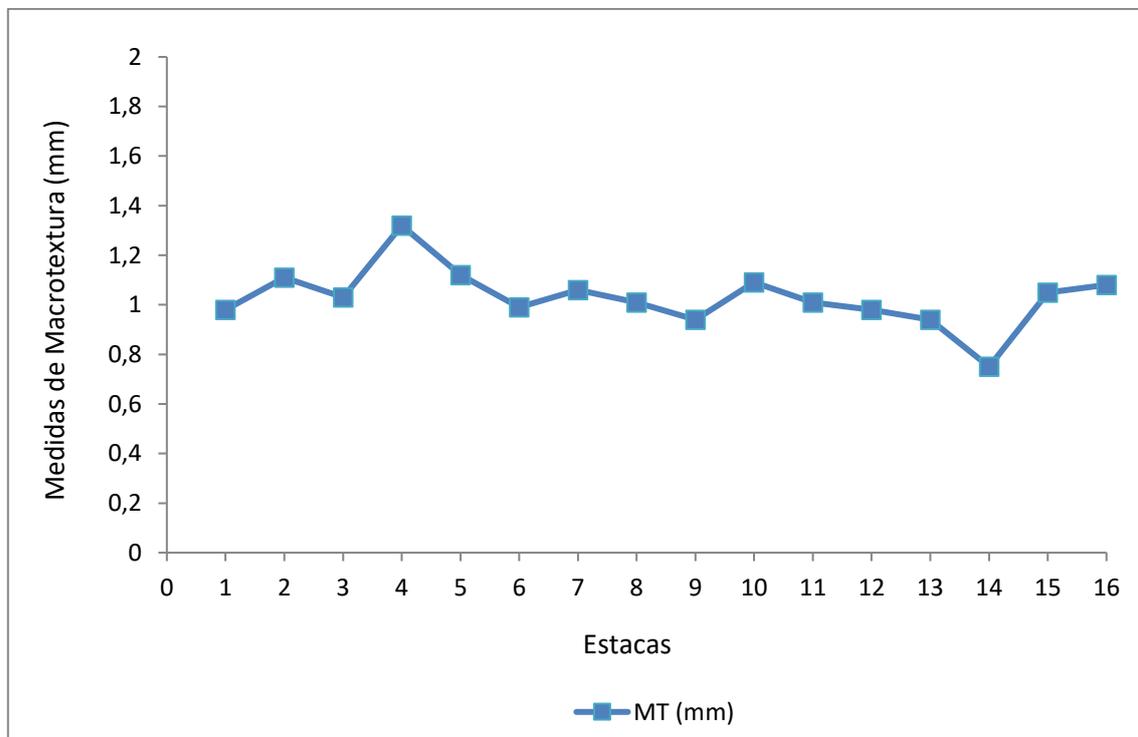


Figura B6 – Exemplo gráfico de medidas de macrotextura (mm)

Anexo C (Informativo) – Tabela de resultados

Tabela C1 – Exemplo de Tabela preenchida com resultados de IRI, QI, ATR e MT

Logo Empresa		<u>Levantamento com Perfilômetro Inercial</u>										
Nome do Arquivo:												
Data:												
Contratante:												
Equipamento:												
Operador:												
Localização:												
Sentido:												
Faixa:												
Trecho:												
Distância entre Sensores (cm): Exemplo												
ESTACA	ATR		IRI (m/km)				QI (contagem/km)				MT (mm)	Velocidade (km/h)
	Trilha Interna (mm)	Trilha Externa (mm)	SENSOR			Médio	SENSOR			Médio	SENSOR	
			1	2	5		1	2	5			
1	2,4	3,1	3,95	3,94	3,50	3,80	51,4	51,2	45,5	49,4	0,98	62
2	3,3	2,8	3,70	3,90	2,73	3,44	48,1	50,7	35,5	44,8	1,11	61
3	2,5	2,9	3,60	3,13	3,20	3,31	46,8	40,7	41,6	43,0	1,03	60
4	2,4	2,8	3,59	3,34	3,04	3,32	46,7	43,4	39,5	43,2	1,32	69
5	2,3	2,5	2,72	3,15	2,93	2,93	35,4	41,0	38,1	38,2	1,12	69
6	3,0	2,7	3,01	2,85	2,83	2,90	39,1	37,1	36,8	37,7	0,99	69
7	2,5	2,9	2,90	2,84	2,92	2,89	37,7	36,9	38,0	37,5	1,06	60
8	2,5	2,9	2,75	2,79	2,83	2,79	35,8	36,3	36,8	36,3	1,01	61
9	2,7	2,8	2,25	2,75	2,96	2,65	29,3	35,8	38,5	34,5	0,94	61
10	2,6	2,9	2,53	2,99	2,56	2,69	32,9	38,9	33,3	35,0	1,09	61
11	2,9	3,0	2,23	2,72	2,77	2,57	29,0	35,4	36,0	33,5	1,01	62
12	3,3	2,5	3,44	2,54	2,77	2,92	44,7	33,0	36,0	37,9	0,98	63
13	2,9	3,1	2,58	2,72	2,91	2,74	33,5	35,4	37,8	35,6	0,94	62
14	2,9	2,5	2,83	2,99	2,93	2,92	36,8	38,9	38,1	37,9	0,75	63
15	2,5	2,5	2,82	2,76	2,82	2,80	36,7	35,9	36,7	36,4	1,05	63
16	2,7	2,6	2,63	2,88	3,18	2,90	34,2	37,4	41,3	37,6	1,08	63

Tabela C2 – Modelo de Tabela de IRI, QI, ATR e MT

Logo Empresa	<u>Levantamento com Perfilômetro Inercial</u>											
Nome do Arquivo:												
Data:												
Contratante:												
Equipamento:												
Operador:												
Localização:												
Sentido:												
Faixa:												
Trecho:												
Distância entre Sensores (cm): Exemplo												
ESTACA	ATR		IRI (m/km)				QI (contagem/km)				MT (mm)	Velocidade (km/h)
	Trilha Interna (mm)	Trilha Externa (mm)	SENSOR			Médio	SENSOR			Médio	SENSOR	
			1	2	5		1	2	5			

Anexo D (Informativo) – Bibliografia

- a) AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. ANTT. Recurso de desenvolvimento tecnológico RDT: Irregularidade longitudinal de pavimentos: Correlação entre QI e IRI e comparação de equipamentos. 2017.
- b) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO R 43 – 13: Standard Practice for Quantifying Roughness of Pavements.
- c) _____. AASHTO R 56 – 14: Standard Practice for Certification of Inertial Profiling Systems.
- d) _____. AASHTO R 57 – 14: Standard Practice for Operating Inertial Profiling Systems.
- e) _____. AASTHO M 328 – 14: Standard Equipment Specification for Inertial Profiler.
- f) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 950 / E 950M – 09(2018): Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer- Establishes Inertial Profiling Reference.
- g) _____. ASTM E 1274 – 18: Standard Test Method for Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph.
- h) _____. ASTM E 1364 – 95(2017): Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method.
- i) _____. ASTM E 1448 – 09: Standard Practice for Calibration of Systems Used for Measuring Vehicular Response to Pavement Roughness.
- j) _____. ASTM E 2560 – 17: Standard Specification for Data Format for Pavement Profile.
- k) BARELLA, R. M. Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- l) BARELLA, R. M. et al. A Avaliação de Irregularidade com Perfilômetros Inerciais de Sensores Laser: Resultados Comparativos e Vantagens Técnicas. In: 35ª RAPV, ABPv. Rio de Janeiro, 2004.
- m) BENEVIDES, S. A. S. e MOTTA, L. M. G. Comparação dos valores de irregularidade longitudinal medidos com o perfilômetro a laser com variação do arranjo das posições dos sensores. TRANSPORTES. 18 (2). 2010.
- n) CAMPOS, A. C. R. de. Métodos de previsão de desempenho de irregularidade longitudinal para pavimentos asfálticos: aplicação e proposição de critérios de ajuste. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 2004.
- o) CIBERMÉTRICA. Compatibilização dos valores de IRI e QI para correspondência de nível de irregularidade em rodovias tipo freeway. Relatório Final – TRIUNFO | CONCEPA. 2011.
- p) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – PRO 164/94 – Calibração e controle de sistemas de medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter).
- q) _____. DNER – PRO 182/94: Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e maysmeter.
- r) KARAMIHAS, S. M. Development of Cross Correlation for Objective Comparison of Profiles. Final Report. Report 2002-36. UMTRI, 2002.
- s) KARAMIHAS, S. M. Critical Profiler Accuracy Requirements. UMTRI, August, 2005.
- t) PERERA, R. W. et al. Factors Contributing to Differences between Profiler and the International Roughness Index. Transportation Research Board, 85 Annual Meeting. Washington, 2006.
- u) SAYERS, M. W.; GILLESPIE, T. D.; PATERSON, W. D. O. Guidelines for Conducting and Calibrating Road

- Roughness Measurements. 96 p. World Bank Technical Paper Number 46. Washington, EUA, 1986.
- v) SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. The Little Book of Profiling. University of Michigan. 1998.
- w) SEVERO, L. E. P. et al. Utilização de perfilômetro laser para a medida de irregularidade longitudinal e do afundamento em trilhas de roda. 9ª ENACOR – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária, Natal, Rio Grande do Norte, 2004.

_____ /Índice geral

Índice geral

Abstract.....	1	longitudinal puro.....	8.1.....	6	
Afundamento de trilha de roda (ATR).....	3.12.....	3	Perfil longitudinal decimado.....	3.8.....	2
Anexo A (Informativo) - Exemplos de posicionamento dos sensores	9	Perfil longitudinal filtrado	3.7.....	2	
Anexo B (Informativo) - Exemplos de gráficos.....	12	Perfil longitudinal puro	3.6.....	2	
Anexo C (Informativo) - Tabela de resultados.....	15	Perfilômetro inercial.....	3.1.....	2	
Anexo D (Informativo) - Bibliografia.....	17	Perfilômetro inercial.....	4.1.....	3	
Apresentação dos resultados.....	10.....	8	Prefácio.....	1	
Calculo do IRI, QI, ATR e Macrotextura.....	9.....	7	Preparação do equipamento.....	7.1.....	5
Calibração.....	6.....	5	Procedimentos para as medições.....	7.....	5
Calibração dos sensores.....	6.1.....	5	Processamento dos dados.....	8.....	6
Definições.....	3.....	2	Quantidades de módulos de medição.....	4.1.1.....	3
Equipamentos.....	4.....	3	Quociente de irregularidade (QI).....	3.10.....	3
Equipamentos complementares.....	4.1.3....	4	Recomendações gerais para o levantamento.....	7.3.....	5
Equipe de campo e segurança de tráfego.....	5.....	4	Referências normativas.....	2.....	2
Execução da medição em campo.....	7.4.....	6	Requisitos para os sensores do perfilômetro.....	4.1.2....	4
Índice geral.....	19	Resumo.....	1		
Índice internacional de irregularidade (International Roughness Index - IRI)	3.11....	3	Sensor de aceleração (acelerômetro).....	3.4.....	2
Irregularidade longitudinal.....	3.9.....	2	Sensor de deslocamento longitudinal (odômetro)	3.5.....	2
Macrotextura.....	3.13....	3	Sensor de deslocamento vertical (sensor a laser)	3.3.....	2
Módulos de medição do perfilômetro inercial.....	3.2.....	2	Sistema computacional de coleta e gravação de dados	4.2.....	4
Objetivo.....	1.....	1	Sumário.....	1	
Obtenção do perfil longitudinal decimado a partir do perfil longitudinal filtrado.....	8.2.....	7	Veículo de transporte do equipamento.....	4.3.....	4
Obtenção do perfil longitudinal decimado a partir do perfil			Verificação de calibração e funcionamento.....	7.2.....	5