

Relatório de Pesquisa IPR RP – 011

**ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO
DAS METODOLOGIAS ADOTADAS PARA
DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE
TRINCAMENTO (NORMAS DNIT 007/2003 –
PRO E DNIT 433/2021 – PRO)**

**BRASÍLIA/DF
DEZEMBRO/2025**

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES

Relatório de Pesquisa IPR RP – 011

ESTUDO COMPARATIVO DA APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS ADOTADAS PARA DETERMINAÇÃO DA PORCENTAGEM DE TRINCAMENTO (NORMAS DNIT 007/2003 – PRO E DNIT 433/2021 – PRO)

Elaboração: Laboratório de Infraestrutura - INFRALAB/UnB

Termo de Execução Descentralizada (TED) 352/2020 (DNIT - UnB)

Processo: 50600.039998/2025-16

DOI: 10.70859/IPR-RP-011/2025

Brasília - DF
Dezembro/2025

AUTORES:

Eng.º Lucas Dotto Bueno, DsC. – UFSM

Eng.º Luciano Pivoto Specht, DsC. – UFSM

Eng.º Deividi da Silva Pereira, DsC. – UFSM

Eng.^a Liedi Légi Bariani Bernucci, PhD. – USP

Eng.º Márcio Muniz de Farias, PhD. – UnB

Eng.º Magnos Baroni, DsC. – UFSM

Eng.º Lucas Rodrigues de Andrade, DsC. – USP

Eng.º Lucas André de Arede Pontes, BsC. – IBMEC

Eng.^a Andrea Cardona Pérez, DsC. – UnB

Eng.^a Letícia Nunes Lopes, DsC. – UnB

REVISÃO:

Eng.º Luiz Heleno Albuquerque Filho, DsC. – IPR

REVISÃO DE EDITORAÇÃO:

Eng.º Luiz Heleno Albuquerque Filho, DsC. – IPR

Eng.^a Victória Barbosa Costa Garcia Vieira – Consórcio Progen/HPT

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria-geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação-Geral do Instituto de Pesquisas em Transportes (IPR).

Estudo Comparativo da Aplicação das Metodologias Adotadas para Determinação da Porcentagem de Área Trincada (Normas DNIT 007/2003 – PRO e DNIT 433/2021 – PRO) – Brasília-DF, 2025.

41 p. (Relatório de Pesquisa – IPR RP 011)

O conteúdo apresentado neste documento é de inteira responsabilidade dos autores.

A reprodução completa ou parcial desta publicação é permitida, sem alterar seu conteúdo, desde que não tenha fim comercial e que seja citada a referência bibliográfica completa.

RESUMO

Este documento relata parte do conjunto de atividades de pesquisa no escopo do projeto “Aprimoramento e consolidação do método mecanístico-empírico de dimensionamento para pavimentos rodoviários flexíveis (MeDiNa) e estudos complementares com geossintéticos e drenagem para pavimentos ferroviários”, financiado pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) por meio do Termo de Execução Descentralizada 352/2020 TED/IPR/DPP/DNIT SEDE. A execução do projeto é liderada pela Universidade de Brasília (UnB), com início em maio de 2020. As atividades aqui apresentadas serão referentes a Frente Rodoviária, especificamente inseridas na Meta II “Calibração da função de transferência - Análise Elástica de Múltiplas Camadas - AEMC”, com ênfase na entrega do Produto “Estudo comparativo da aplicação das metodologias adotadas para determinação da porcentagem de trincamento (Normas DNIT 007/2003 – PRO e DNIT 433/2021 – PRO)”.

O presente relatório apresenta os resultados do estudo desenvolvido em parceria com o Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), juntamente com o Laboratório de Tecnologia de Pavimentação (LTP) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), com o propósito de fortalecer a interoperabilidade entre levantamentos de trincamento em campo e as previsões fornecidas pelo MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos).

Considerando que o MeDiNa disponibiliza atualmente a saída dos percentuais de trincamento exclusivamente no padrão da norma DNIT 433/2021 – PRO (frequência de trincamento), e não contempla a saída no formato consolidado da norma DNIT 007/2003 – PRO (área trincada), o estudo concentrou-se em estabelecer equações de correlação entre os dois métodos. Esta iniciativa tem como objetivo permitir que dados gerados ou inseridos no MeDiNa possam ser traduzidos para o padrão histórico da norma DNIT 007/2003 – PRO, amplamente empregado em bases de dados e levantamentos pregressos do DNIT.

A compatibilização proposta contribui diretamente para o aproveitamento do acervo histórico de avaliações superficiais da malha federal. Além disso, colabora para a otimização da tomada de decisão na gestão e em projetos de implantação e restauração de pavimentos. Adicionalmente, este documento oferece subsídio técnico para futuras implementações de rotina de saída do percentual de área trincada no padrão da norma DNIT 007/2003 – PRO, dentro do ambiente institucional do MeDiNa.

Com isso, amplia-se a aplicabilidade do método em sistemas de gerência de pavimentos e análises integradas de desempenho ao longo do tempo. As adequações propostas estão alinhadas à missão do IPR/DNIT, que visa promover inovação, integração do conhecimento e suporte técnico qualificado ao gerenciamento da malha rodoviária federal. Esses avanços reforçam o compromisso com a evolução tecnológica do MeDiNa e o aprimoramento contínuo da infraestrutura rodoviária nacional.

Palavras-chave: MeDiNa, métodos de medição de trincas.

ABSTRACT

This document reports the set of research activities within the scope of the project “Improvement and consolidation of the mechanistic-empirical design method for flexible road pavements (MeDiNa) and complementary studies with geosynthetics and drainage for railway pavements”, funded by DNIT through the Term of Decentralized Execution - 352/2020 TED /IPR/DPP/DNIT SEDE. The execution of the project is led by the UnB, starting in May 2020. The activities presented here will refer to the Road Front, specifically inserted in Goal II - "Calibration of the transfer function Elastic Analysis of Multiple Layers - AEMC", with emphasis on delivering the Product “Comparative study on the application of methodologies adopted for determining the percentage of fatigue cracking (DNIT 007/2003 – PRO and DNIT 433/2021 – PRO)”.

This report presents the outcomes of a study developed in partnership with the Grupo GEPPASV/UFSM and the LTP/EPUSP. The study aims to strengthen the interoperability between field crack surveys and the cracking predictions produced by the MeDiNa system (Brazilian National Pavement Design Method).

Given that MeDiNa provides cracking results according to the DNIT 433/2021 – PRO standard (cracking frequency) and does not yet output results in the consolidated format of DNIT 007/2003 – PRO (cracked area percentage), this study focused on developing correlation equations to convert results between the two methodologies. The initiative seeks to enable cracking data generated or processed in MeDiNa to be translated into the legacy DNIT 007/2003 – PRO format, which remains widely used in historical DNIT surface-condition databases and past pavement surveys.

The proposed correlation directly supports the use of the federal highway network’s historical pavement performance records, improving decision-making in pavement management, new construction planning, and pavement rehabilitation and restoration design projects. Additionally, this document provides technical basis for future implementation of cracked-area percentage output routines in the DNIT 007/2003 – PRO format within MeDiNa's institutional environment.

By expanding result compatibility, MeDiNa applicability is extended to pavement management systems and to long-term performance trend analyses, enabling more comprehensive pavement performance monitoring and time-series functional and structural condition assessments.

The proposed improvements align with the mission of the IPR/DNIT to advance innovation, integrate knowledge domains, and provide qualified technical support for the management of the Brazilian Federal Highway System. The study reinforces DNIT's institutional commitment to MeDiNa technological evolution and to the continuous improvement of national road infrastructure performance and durability.

Keywords: MeDiNa, fatigue cracking measurement methods.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEMC – Análise Elástica de Múltiplas Camadas
ASTM – American Society for Testing and Materials
CA – Concreto Asfáltico
CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CV – Coeficiente de Variação
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DP.A – Desvio Padrão da Amostra
DPP – Diretoria de Planejamento e Pesquisa
EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FHWA – Federal Highway Administration
GEPPASV – Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária
HDM-4 – Highway Development and Management
IGG – Índice de Gravidade Global
INFRALAB – Laboratório de Infraestrutura Rodoviária
IPR – Coordenação-Geral do Instituto de Pesquisas em Transportes
LA – Lama Asfáltica
LTP – Laboratório de Tecnologia de Pavimentação
LVD – Levantamento Visual Detalhado
MAF – Microrrevestimento Asfáltico a Frio
MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos
 R^2 – Coeficiente de Determinação
RTA – Rede Temática de Asfaltos
TSD – Tratamento Superficial Duplo
UA's – Unidades Amostras
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
UnB – Universidade de Brasília

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma de execução do levantamento: DNIT 007/2003 – PRO.....	16
Figura 2 – Fluxograma de execução do levantamento: DNIT 433/2021 – PRO.....	19
Figura 3 – Emenda construtiva no trecho ID 4.2	223
Figura 4 – Localidades e segmentos utilizados para montar a correção entre os métodos de medição de trincas.....	25
Figura 5 – Correlação entre os métodos de medição de trincas (Segmentos monitorados pelo GEPPASV/UFSM)	28
Figura 6 – Correlação entre os métodos de medição de trincas (Segmentos avaliados pelo LTP/EPUSP IPR/DNIT-HDM-4).....	32
Figura 7 – Correlação entre os métodos de medição de trincas (Segmentos UFSM e IPR/DNIT-HDM-4)	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Bases conceituais utilizadas nos procedimentos de quantificação de trincamento.....	15
Tabela 2 – Processo operacional de avaliação das trincas: DNIT 007/2003 – PRO.	15
Tabela 3 – Processo operacional de avaliação das trincas: DNIT 433/2021 – PRO.	18
Tabela 4 – Diferenças estatísticas nos resultados de frequência de trincamento determinados por três diferentes equipes.	21
Tabela 5 – Segmentos experimentais monitorados pelo GEPPASV/UFSM, utilizados na correlação entre os métodos de medição de trincamento	26
Tabela 6 – Segmentos experimentais monitorados pela iniciativa IPR/DNIT – HDM-4, utilizados pelo LTP/EPUSP na correlação entre os métodos de medição de trincamento.....	302
Tabela 7 – Síntese das correlações e dos resultados estatísticos obtidos	35

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1	DISCUSSÕES RELATIVAS AO LEVANTAMENTO DE TRINCAS CONFORME DIRETRIZES DA NORMA DNIT 007/2003 – PRO	15
2.2	DISCUSSÕES RELATIVAS AO LEVANTAMENTO DE TRINCAS CONFORME DIRETRIZES DA NORMA DNIT 433/2021 – PRO	18
2.3	CORRELAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS DAS NORMAS DNIT 007/2003-PRO E DNIT 433/2021 – PRO	234
2.3.1	SEGMENTOS AVALIADOS E MONITORADOS PELO GEPPASV/UFSM	256
2.3.2	SEGMENTOS AVALIADOS PELO LTP/EPUSP E MONITORADOS PELA INICIATIVA IPR/DNIT – HDM-4	29
2.3.3	CORRELAÇÃO COM O BANCO DE DADOS INTEGRADO (GEPPASV/UFSM E LTP/EPUSM IPR/DNIT-HDM-4)	324
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
3.1	CONCLUSÕES EXECUTIVAS	37
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

Durante o protocolo de dimensionamento de pavimentos novos e de restaurações, com uso do sistema MeDiNa, a previsão de evolução do trincamento por fadiga nas estruturas ao longo do tempo é realizada mediante utilização de três elementos: fundamentos empíricos, oriundos do monitoramento em campo em segmentos experimentais; resultados laboratoriais, obtidos a partir dos testes em amostras dos materiais; e cálculos mecânicos efetuados computacionalmente na estrutura. A conexão destes elementos, que possibilita a previsão do trincamento, é efetuada com uso de uma função de transferência.

As bases matemáticas que nortearam o processo de calibração da função de transferência foram desenvolvidas na tese de Nascimento (2015), adaptadas ao cenário de avaliação laboratorial brasileira por Fritzen (2016). Desde então, a metodologia passou por alterações em relação ao trabalho do referido autor, resultando na versão exposta por Franco e Motta (2020). A rotina mecanístico-empírica do sistema MeDiNa, atrelada a função de transferência responsável por prever a evolução do trincamento no pavimento ao longo do tempo, contempla:

- Ensaios de laboratório: a curva de fadiga do material asfáltico, determinada em termos das deformações iniciais medidas laboratorialmente nos corpos de prova, submetidos a diferentes níveis de tensões/deformações (DNIT 183/2018 – ME), fornece uma regressão que simula o comportamento do material frente ao dano por fadiga. Ainda, a rigidez do conjunto estrutural é necessária para possibilitar o cálculo dos esforços gerados na estrutura. Essa rigidez é determinada mediante ensaios triaxiais (DNIT 134/2018 – ME) para solos e materiais granulares e pelo teste de compressão diametral (DNIT 135/2018 – ME) para misturas asfálticas;
- Simulação da estrutura do pavimento na plataforma AEMC (Análise Elástica de Múltiplas Camadas): os esforços gerados na estrutura, a partir da passagem do eixo padrão rodoviário, são calculados mediante rotina matemática interna do AEMC. Para que esta ação ocorra na sua total capacidade, o projetista deve

informar ao programa às espessuras e os parâmetros de rigidez (módulos de resiliência e coeficiente de Poisson) de todas as camadas que constituem a estrutura do pavimento;

- Calibração: parte da premissa de que a evolução do trincamento ao longo do tempo em pavimentos revestidos por concreto asfáltico ocorre de acordo com o comportamento de uma curva sigmoideal, aferida pelo desempenho observado em campo nos segmentos experimentais que constituem o banco de dados que deu origem ao desenvolvimento do programa.

Sendo assim, a calibração da função de transferência do sistema MeDiNa está atrelada aos trincamentos por fadiga quantificados em campo em segmentos experimentais ao longo dos anos.

No cenário prático e acadêmico, ocorrem discussões referentes à metodologia ideal para quantificar os trincamentos em pista. O sistema MeDiNa foi calibrado considerando dados de campo que determinaram uma frequência de ocorrência de trincas por fadiga em células homogêneas (frequência de trincamento), sem distinção de tipo ou severidade, conforme método descrito por Nascimento (2015). Este procedimento foi formalizado pelo IPR/DNIT na norma DNIT 433/2021 – PRO.

Entretanto, no cenário prático brasileiro, encontra-se consolidada a norma DNIT 007/2003 – PRO, que classifica e quantifica de maneira amostral o trincamento no revestimento asfáltico, considerando o tipo e a sua severidade. A esta norma, credita-se que os percentuais quantificados são de fatos percentuais de áreas trincadas.

De forma complementar, observa-se ainda que são aplicadas nas concessões rodoviárias, corriqueiramente, levantamentos de forma contínua, a partir do vídeo registro da rodovia, por meio da metodologia de Levantamento Visual Detalhado (LVD), que quantifica em totalidade as trincas de toda a extensão avaliada, e, dependendo do caso, classifica e delimita as mesmas por severidade.

Com base no contexto apresentado, observa-se que o procedimento de levantamento dos defeitos associados ao trincamento pode ser realizado por duas metodologias normatizadas pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

No presente relatório, entende-se que a norma DNIT 433/2021 – PRO fornece uma frequência de trincamento, enquanto a DNIT 007/2003 – PRO resulta em uma área trincada levantada de forma amostral. Estes serão os termos utilizados ao longo deste documento para abordar os indicadores de trincamento obtidos pelas referidas normas.

Assim, o objetivo principal deste documento é identificar uma correlação entre os métodos de medição de trincas (normas DNIT 433/2021 – PRO e DNIT 007/2003 – PRO).

2 DESENVOLVIMENTO

A calibração da função de transferência utilizada no sistema MeDiNa está fundamentada em dados empíricos provenientes de monitoramento de trincamentos por fadiga em campo. Esses dados foram coletados ao longo de diversos anos em segmentos experimentais de pavimentos. Todavia, observa-se, no meio técnico, que persistem discussões quanto à metodologia mais adequada para quantificar o percentual de trincamento em revestimentos asfálticos.

A calibração original do MeDiNa considerou:

- Percentual da faixa de rolamento afetada por trincas;
- Procedimento descrito por Nascimento (2015);
- Metodologia formalizada pelo DNIT na norma DNIT 433/2021 – PRO.

Essa metodologia está baseada na análise da frequência de trincamento dentro de células de avaliação pré determinadas.

Com base nas conclusões e análises de Bueno (2019), observou-se que o procedimento, realizado segundo a norma DNIT 433/2021 – PRO, superestima os trincamentos, especialmente em localidades com a presença significativa de trincas isoladas, porém sem o fenômeno de interligação destacado. Estes resultados, quando numericamente comparados com as áreas trincadas quantificadas pela norma DNIT 007/2003 – PRO, mostraram-se significativamente elevados.

Neste sentido, o presente relatório busca expandir o trabalho desenvolvido por Bueno (2019), com o objetivo de correlacionar metodologicamente os dois procedimentos de quantificação de trincamento, conforme resumidamente exposto na Tabela 1.

Os itens posteriores deste relatório de pesquisa detalham os dois procedimentos utilizados para avaliação do trincamento em campo (normas DNIT 007/2003 – PRO e DNIT 433/2021 – PRO) e apresentam uma correlação entre as metodologias, baseada em levantamentos realizados em segmentos experimentais.

Tabela 1 – Bases conceituais utilizadas nos procedimentos de quantificação de trincamento

Procedimento	Parâmetro Obtido	Formato de Análise
DNIT 433/2021 – PRO	Frequência de trincamento	Células retangulares com 2 m de comprimento e 1/3 da largura da faixa avaliada
DNIT 007/2003 – PRO	Percentual de área trincada	Estações com 6 m de comprimento e largura da faixa avaliada

2.1 DISCUSSÕES RELATIVAS AO LEVANTAMENTO DE TRINCAS CONFORME DIRETRIZES DA NORMA DNIT 007/2003 – PRO

O procedimento DNIT 007/2003 – PRO mensura o percentual de área trincada de forma amostral, adotando o procedimento descrito em etapas conforme a Tabela 2. Este procedimento também está visualmente exposto no fluxograma ilustrado na Figura 1.

Tabela 2 – Processo operacional de avaliação das trincas: norma DNIT 007/2003-PRO

Etapas	Descrição do Procedimento	Crítérios e Observações Técnicas
1. Inventário dos defeitos	Registrar todos os defeitos descritos e codificados nos itens 3.1 e 3.2 da norma, na Ficha de Levantamento de Campo MT-DNIT-CPGP-01/02	Cada defeito deve ser numerado e representado graficamente conforme codificação normativa
2. Medição dos defeitos	Efetuar as medições em campo conforme o tipo de trinca ou ocorrência	Trincas isoladas: comprimento x 0,15 m. Trincas interligadas: área de retângulos circunscritos. Outros defeitos: também em retângulos circunscritos. Representar graficamente na ficha as áreas delimitadas
3. Registro das informações	Preencher as colunas da ficha conforme instruções da norma	1ª coluna - número da área levantada. 2ª coluna - código do defeito. 3ª coluna - classe da trinca (FC-1, FC-2 ou FC-3). 4ª coluna - dimensões do retângulo (a x b). 5ª coluna - Área calculada (a x b)
4. Cálculo final	Determinar o percentual de área trincada comparando a soma das áreas dos defeitos com a área total avaliada	Resultado expresso em percentual de área comprometida por trincamento no subtrecho homogêneo

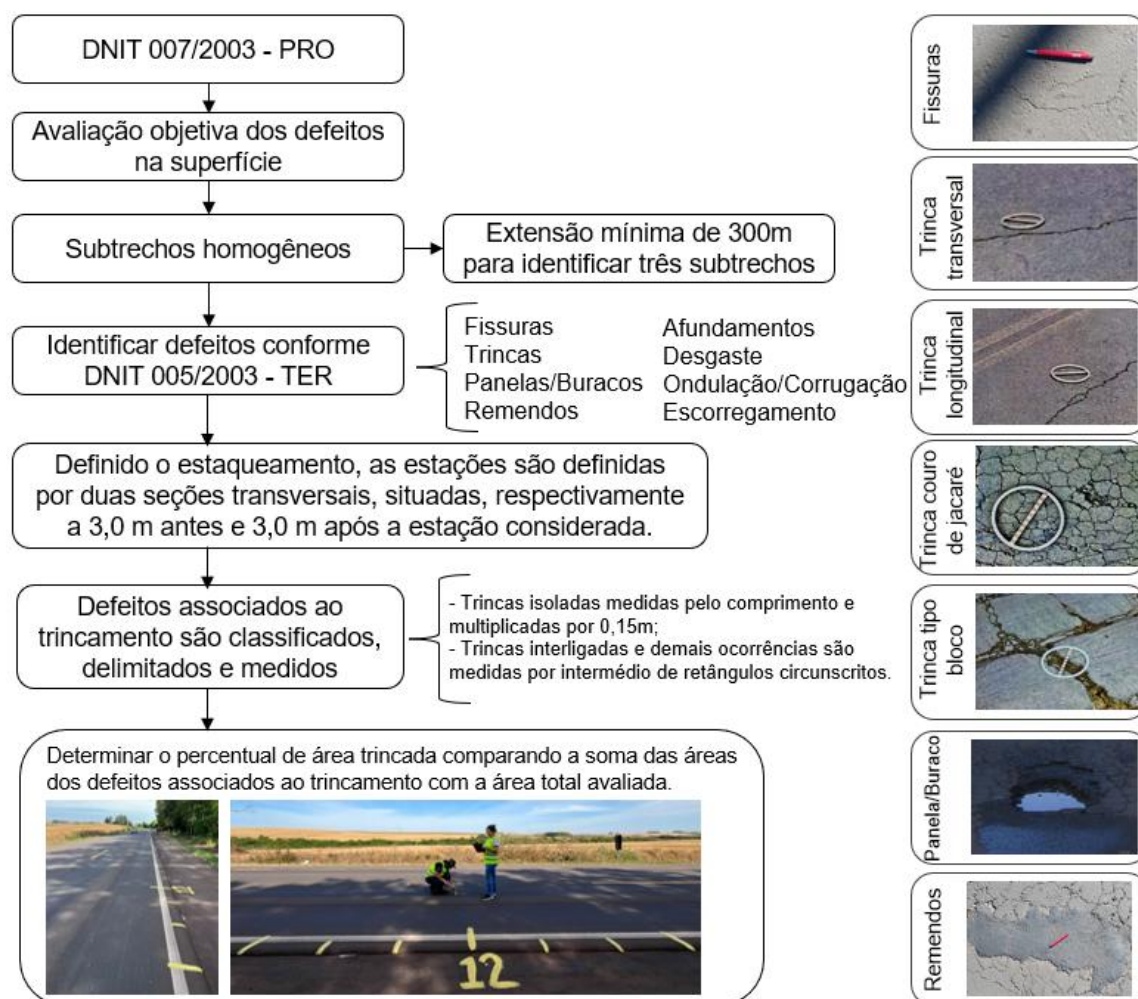


Figura 1 – Fluxograma de execução do levantamento: norma DNIT 007/2003-PRO

Tecnicamente, a norma DNIT 007/2003 – PRO estabelece procedimentos detalhados para quantificar a condição da superfície dos pavimentos, com ênfase na identificação, classificação e mensuração de defeitos, entre os quais as trincas representam o conjunto mais relevante. A metodologia adotada, fundamentada na medição de áreas afetadas por trincamentos em superfícies de avaliação demarcadas, busca assegurar a objetividade no cálculo dos percentuais de área trincada, que são posteriormente utilizados para formulação de diagnósticos e definição de estratégias de manutenção.

A mensuração das trincas é realizada de forma sistemática a partir do uso de retângulos circunscritos que representam, graficamente, a área efetivamente trincada dentro de cada superfície de avaliação. As trincas isoladas são quantificadas pelo comprimento multiplicado por uma largura padrão de 0,15 m, enquanto as trincas interligadas, sejam classificadas como “jacaré” ou “bloco”, têm sua área delimitada por retângulos cujas dimensões são registradas na ficha de campo. Essa padronização permite que os percentuais sejam calculados diretamente pela soma das áreas trincadas dividida pela área total da superfície avaliada.

Como a unidade básica de avaliação compreende superfícies de 6 m de comprimento ao longo da faixa de tráfego, delimitadas por linhas transversais espaçadas de 3 m à frente e 3 m atrás da estação, torna-se possível estabelecer uma relação direta entre a área total da superfície (largura da faixa multiplicado por 6 m de comprimento longitudinal) e a soma das áreas afetadas por trincamentos de qualquer natureza. Esse procedimento contribui para que o resultado final seja um indicador sensível tanto à extensão quanto à severidade dos defeitos.

Outro aspecto relevante é que a norma exige a classificação das trincas por severidade (FC-1, FC-2 ou FC-3). Embora o cálculo da área trincada, em si, não dependa dessa classificação, a distinção é importante porque, em análises posteriores de degradação, percentuais iguais podem corresponder a condições distintas de severidade. Assim, a combinação entre área trincada e classe da trinca proporciona uma visão integrada da condição da superfície.

Em síntese, o método descrito pela norma DNIT 007/2003 – PRO para quantificação dos percentuais de área trincada constitui uma abordagem objetiva e tecnicamente consistente para avaliação da condição dos pavimentos. A padronização da mensuração por meio de retângulos circunscritos, aliada à classificação normativa dos tipos e severidades das trincas, reduz a subjetividade do diagnóstico e fortalece a comparabilidade entre levantamentos distintos.

Como pontos negativos da referida norma, destaca-se a dependência da mensuração geométrica manual das trincas e o seu caráter eminentemente amostral, uma vez que regiões localizadas fora da estação de avaliação tem suas trincas desconsideradas no cálculo do percentual de trincamento.

2.2 DISCUSSÕES RELATIVAS AO LEVANTAMENTO DE TRINCAS CONFORME DIRETRIZES DA NORMA DNIT 433/2021 – PRO

Conforme já destacado, o MeDiNa foi calibrado com dados de campo que mediram o percentual da faixa de rolamento afetada por trincas de fadiga, seguindo o método de Nascimento (2015), posteriormente institucionalizado pela norma DNIT 433/2021 – PRO. Neste documento, os percentuais de trincamento quantificados pela referida normativa serão abordados como frequência de trincamento.

Segundo os critérios definidos na normativa mencionada, a frequência de trincamento é determinada considerando, sem diferenciação tipológica, todas as ocorrências de trincas e fissuras, sejam elas longitudinais, transversais e/ou interligadas.

A execução deste tipo de levantamento envolve processo operacional exemplificado na Tabela 3. Este procedimento representa, na prática, uma frequência percentual de ocorrência de células afetadas por trincamento, independentemente da intensidade ou severidade do dano observado. Este procedimento também está visualmente exposto no fluxograma da Figura 2.

Tabela 3 – Processo operacional de avaliação das trincas: norma DNIT 433/2021 – PRO

Etapas	Descrição do Procedimento	Critérios e Observações Técnicas
1. Divisão do pavimento	A faixa de rolamento é particionada em retângulos de 2 m de comprimento por 1/3 da largura da faixa	Toda a extensão da pista experimental é avaliada, englobando sua área integral em termos de comprimento e largura
2. Inspeção visual	Cada retângulo é inspecionado individualmente	Os avaliadores são responsáveis por identificar a presença de defeitos associados ao trincamento em cada uma das células

3. Registro de dano	Qualquer trinca/fissura presente no retângulo implica sua classificação como 100 % comprometido	Os defeitos associados ao trincamento não são medidos e nem classificados. O avaliador deve apenas identificar a presença das trincas/fissuras nas células
4. Cálculo final	Obtenção da frequência de trincamento	Frequência de trincamento = (# de retângulos trincados / Total de retângulos) x 100

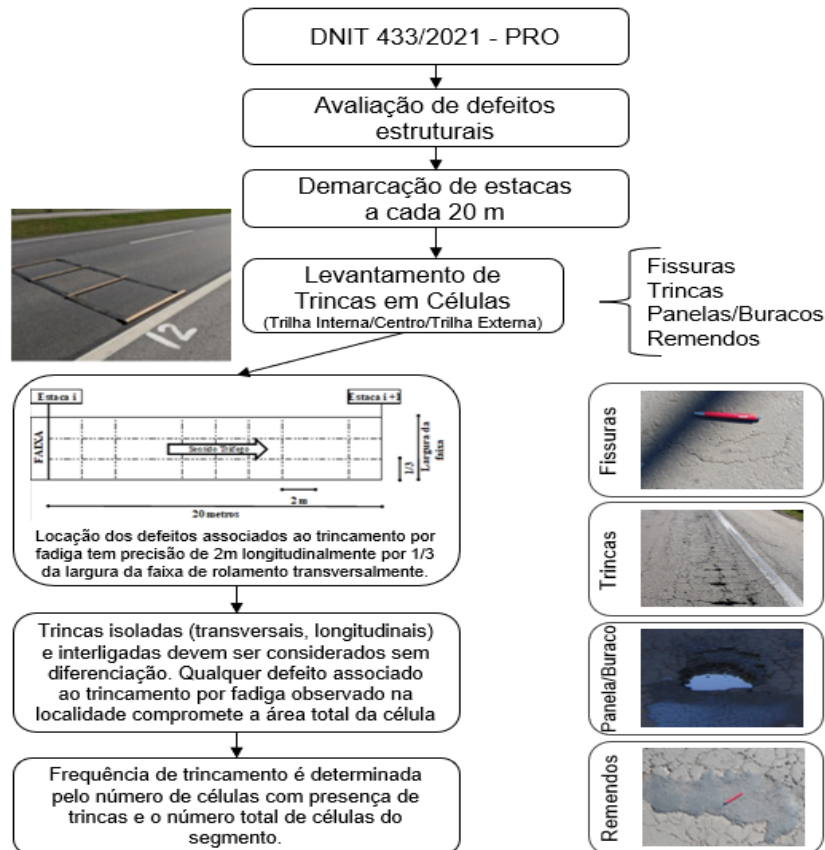


Figura 2 – Fluxograma de execução do levantamento: norma DNIT 433/2021-PRO

Diferentemente de norma abordada no item anterior (DNIT 007/2003 – PRO), voltada à gerência de pavimentos, a norma DNIT 433/2021 – PRO foi desenvolvido no contexto da calibração e validação do método mecanístico-empírico MeDiNa, priorizando abordagens compatíveis com a modelagem numérica e com os requisitos de desempenho estrutural. Assim, a quantificação de trincamento assume papel central na caracterização do dano por fadiga e na comparação direta entre o comportamento real do pavimento e as previsões do método.

A definição da frequência de trincamento na norma é ampliada para englobar não apenas fissuras e trincas, mas também painéis, buracos e remendos, todas consideradas manifestações de deterioração associadas ao processo de trincamento ou ao agravamento de condições prévias. Essa abrangência evita subestimativas do dano, sobretudo em trechos experimentais, onde pequenas manifestações podem evoluir rapidamente e comprometer análises de desempenho.

A norma também retira a necessidade de distinguir severidades ou tipologias de trinca para fins de cálculo, qualquer ocorrência associada ao trincamento registrada dentro da célula de avaliação é contabilizada integralmente como uma frequência de trincamento. Essa decisão metodológica reforça a objetividade e reduz ambiguidades que poderiam surgir na interpretação de classes de trinca.

O procedimento baseia-se na divisão transversal de cada faixa de rolamento em três segmentos, trilha interna, centro e trilha externa e na segmentação longitudinal em elementos regulares denominados “células”, com dimensão padronizada de 2 m ao longo do eixo e 1/3 da faixa transversalmente. Essa estrutura matricial fortalece a precisão espacial do levantamento, permitindo a associação direta entre cada célula e a presença ou ausência de defeitos. A norma exige que o caminhamento seja feito sobre toda a área pavimentada, garantindo identificação contínua dos defeitos e minimizando a possibilidade de omissão de danos iniciais.

A determinação da frequência de trincamento por faixa de rolamento é realizada mediante a relação entre o número de células com presença de trincas e o número total de células investigadas. Trata-se de um cálculo simples, que transforma o levantamento visual em um indicador quantitativo diretamente proporcional ao avanço da deterioração. Esse método elimina a necessidade de mensuração geométrica individual das trincas, substituindo-a pela contagem de células comprometidas.

A padronização da divisão da faixa em células, a consideração integral de defeitos na célula e a simplicidade de cálculo tornam o procedimento relativamente simples.

Com o objetivo de verificar possíveis interferências nos resultados decorrentes da subjetividade de inspeção em campo, Bueno (2019) avaliou a influência do fator equipe de levantamento na determinação da frequência de trincamento medida pela norma DNIT 433/2021 – PRO. Para atingir o seu objetivo, três equipes independentes realizaram o levantamento. Cada equipe era composta por um estudante de engenharia civil e um engenheiro civil profissional. O estudo foi conduzido pelo GEPPASV/UFSM em oito segmentos experimentais.

Os resultados referentes aos desvios-padrões amostrais ($DP.A$) e coeficientes de variação (CV) entre equipes, utilizando malhas de análise com retângulos de 1 e 2 m, encontram-se apresentados na Tabela 4. Procurou-se trabalhar com trechos em condições de superfície distintas entre si, mediante determinação do Índice de Gravidade Global (IGG), também apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Diferenças estatísticas nos resultados de frequência de trincamento determinados por três diferentes equipes

Trecho	IGG	Conceito IGG	Malha de 1 m		Malha de 2 m	
			$DP.A$	CV	$DP.A$	CV
ID 1.1	22,64	Bom	0,40	4,00 %	0,31	2,50 %
ID 1.2	83,80	Ruim	2,10	3,80 %	0,91	1,40 %
ID 2.1	10,98	Ótimo	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %
ID 2.2	18,47	Ótimo	0,07	5,60 %	0,14	6,00 %
ID 3.1	24,06	Bom	1,90	12,50 %	3,32	15,50 %
ID 3.2	222,36	Péssimo	0,36	0,40 %	0,36	0,40 %
ID 4.1	9,07	Bom	0,00	0,00 %	0,00	0,00 %
ID 4.2	42,00	Regular	6,15	14,80 %	4,45	8,50 %

Em relação aos comprimentos dos retângulos ao longo do eixo longitudinal, a opção por trabalhar com variações de 1 e 2 m foi definida previamente à publicação da norma DNIT 433/2021 – PRO. À época do desenvolvimento do trabalho do Bueno (2019), algumas incertezas eram discutidas no meio técnico sobre os tamanhos dos retângulos utilizados neste tipo de levantamento de frequência de trincamento.

Esta variação na técnica de levantamento permitiu as seguintes conclusões:

- Conforme esperado, a malha de 2 m apresenta uma pequena majoração da frequência de trincamento em relação a malha de 1 m, pois tende a incluir mais áreas parciais de dano;
- Essa majoração foi considerada pouco expressiva e aceitável tecnicamente;
- A utilização da malha de 2 m aumenta a produtividade do levantamento sem comprometer a confiabilidade dos resultados.

De forma complementar, a análise dos dados estatísticos obtidos e expostos na Tabela 4 permitiu as seguintes observações:

- Os maiores coeficientes de variação ocorreram nos trechos ID 3.1 e ID 4.2;
- Para o trecho ID 3.1, a variação está associada à presença de trincas isoladas extensas, cujas dimensões são interpretadas de forma distinta pelas equipes;
- No trecho ID 4.2, a presença de uma emenda construtiva posicionada sobre a trilha de roda externa dificultou a distinção dos defeitos de origem construtiva e trincamento por fadiga. Esta situação é ilustrada na Figura 3.



Figura 3 – Emenda construtiva no trecho ID 4.2

Fonte: Bueno (2019)

Apesar das variações pontuais identificadas, verificou-se que, nos demais trechos analisados, os valores de coeficiente de variação (CV) permaneceram abaixo de 6 %, o que é considerado estatisticamente aceitável. Conclui-se, dessa forma, que a influência da subjetividade entre equipes não representa fator crítico nos resultados de frequência de trincamento quando aplicada a metodologia da norma DNIT 433/2021 – PRO. Esse desempenho reforça a confiabilidade do método, especialmente quando aplicadas com apoio de vídeo registro.

Como pontos negativos, destaca-se que, embora a contagem seja mais simples do que a medição geométrica individual, tal como realizada na norma DNIT 007/2003 – PRO, a norma DNIT 433/2021 – PRO exige o caminhar contínuo ao longo de todo o trecho e o preenchimento manual da matriz de células.

Além disso, a metodologia não converte diretamente para percentuais contínuos de área trincada real. Por tratar o trincamento de forma discreta (por células) e por comprometimento integral, o método não produz um percentual de área efetiva trincada, mas sim um percentual de células com presença de trincas, o qual é tomado como frequência de trincamento. Este fato, conforme será exposto nos itens posteriores deste relatório de pesquisa, superestima os defeitos associados ao trincamento em relação aos valores obtidos pela norma DNIT 007/2003 – PRO.

2.3 CORRELAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS DAS NORMAS DNIT 007/2003 – PRO E DNIT 433/2021 – PRO

Fundamentalmente, as diferenças observadas entre os dois processos de medição de trincas mencionados nos itens anteriores são relevantes. A norma DNIT 433/2021 – PRO adota o conceito de frequência de trincamento, classificando como totalmente comprometida qualquer célula de análise que contenha uma fissura, ainda que de pequena extensão. Já a norma DNIT 007/2003 – PRO mensura área trincada de forma amostral, considerando a extensão real dos danos identificados em campo, o que resulta em valores proporcionalmente menores.

A correlação entre as metodologias de quantificação de trincamento segundo as normas DNIT 007/2003-PRO e DNIT 433/2021-PRO é necessária para possibilitar a comparação coerente entre estudos de desempenho de pavimentos que utilizam abordagens distintas de avaliação superficial, permitindo:

- A compatibilização de levantamentos realizados com critérios distintos;
- A integração de bancos de dados técnicos;
- A aplicação coerente de dados históricos em processos de calibração mecanístico-empírica, como no sistema MeDiNa.

Em vista disso, para correlacionar os dois diferentes métodos de avaliação foi necessário obter dados das condições de trincamento em distintas rodovias. Para o desenvolvimento do estudo, foram analisados dois bancos de dados experimentais:

- GEPPASV/UFSM: acervo de segmentos experimentais avaliados e monitorados pelo Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com segmentos localizados no estado do Rio Grande do Sul.
- LTP/EPUSP - IPR/DNIT (HDM-4): avaliação realizada pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo (LTP/EPUSP) no banco de dados oriundo da iniciativa IPR/DNIT-HDM-4, com segmentos experimentais selecionados nos estados da Bahia, do Ceará, do Mato Grosso, de Santa Catarina e no Distrito Federal.

Essa amostra diversificada permite avaliar o comportamento das duas metodologias sob diferentes condições de tráfego e envelhecimento dos pavimentos, conferindo representatividade nacional aos resultados apresentados. No total, o presente relatório abrange localidades experimentais em 6 diferentes estados, com 52 distintos segmentos avaliados. A Figura 4 exibe o mapa do Brasil, com destaque para os municípios mais próximos às localidades onde estão situados os segmentos experimentais. Estes segmentos serão apresentados nos itens que seguem.

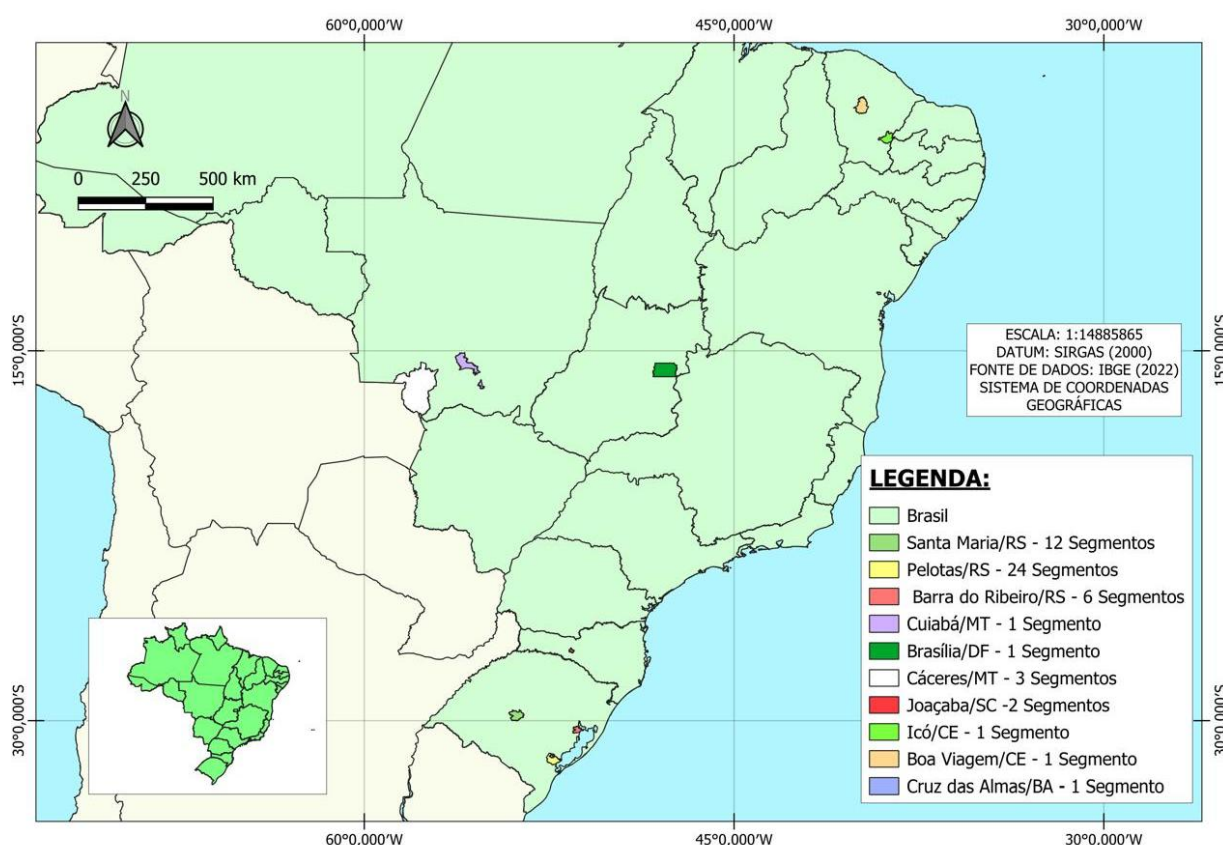


Figura 4 – Localidades e segmentos experimentais utilizados para montar a correlação entre os métodos de medição de trincas

2.3.1 SEGMENTOS AVALIADOS E MONITORADOS PELO GEPPASV/UFSM

O Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) possui histórico consolidado no monitoramento de trechos experimentais. Desde 2012, o grupo mantém acompanhamento sistemático de pistas experimentais implantadas no município de Santa Maria/RS (Avenida Roraima, Avenida Hélio Basso, BR-158/RS e ERS-509). A partir de 2014, o grupo expandiu suas atividades para a duplicação da BR-116/RS, próximo ao município de Pelotas/RS, e, mais recentemente, para a região de Barra do Ribeiro/RS (2022), também na rodovia BR-116/RS.

Esses trechos possuem documentação técnica registrada em estudos anteriores, com detalhamento das etapas construtivas e de monitoramento pós-implantação. Estas

ações anteriores estão relatadas nos trabalhos de Santos (2015), Rossato (2015), Bueno (2016, 2019), Pavi (2019), Bordin (2020), Vestena (2021) e Santos (2023). Na Tabela 5, apresenta-se a identificação dos trechos selecionados, bem como a localização das rodovias/avenidas avaliadas.

Tabela 5 – Segmentos experimentais monitorados pelo GEPPASV/UFSM, utilizados na correlação entre os métodos de medição de trincamento

Identificação	Rodovia / Avenida	Cidade	Estado
ID 1.1	Av. Roraima	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 1.2	Av. Roraima	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 2.1	Av. Hólvio Basso	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 2.2	Av. Hólvio Basso	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 3.1	BR-158	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 3.2	BR-158	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 4.1	ERS-509	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 4.2	ERS-509	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 5.1	ERS-509	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 5.2	ERS-509	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 5.3	ERS-509	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 5.4	ERS-509	Santa Maria	Rio Grande do Sul
ID 6.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 6.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 7.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 7.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 8.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 8.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 9.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul

Identificação	Rodovia / Avenida	Cidade	Estado
ID 9.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 10.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 10.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 11.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 11.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 12.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 12.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 13.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 13.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 14.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 14.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 15.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 15.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 16.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 16.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 17.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 17.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
ID 18.1	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
ID 18.2	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
ID 19.1	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
ID 19.2	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
ID 20.1	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
ID 20.2	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul

A identificação adotada neste estudo segue o padrão estabelecido por Bueno (2019), discriminando cada pista avaliada da seguinte forma:

- Pista 1 – Faixa da esquerda;
- Pista 2 – Faixa da direita (faixa de maior carregamento).

Assim, por exemplo:

- Trecho 1.1 corresponde à pista da esquerda da Avenida Roraima;
- Trecho 1.2 corresponde à pista da direita da mesma via.

Todos as localidades experimentais mencionadas na Tabela 5 contemplam pistas duplas com revestimento em concreto asfáltico (CA).

A Figura 4 apresenta os resultados da correlação entre as frequências de trincamento e os percentuais de área trincada obtidos pelas normas DNIT 433/2021 – PRO e DNIT 007/2003 – PRO respectivamente para os trechos monitorados pelo GEPPASV/UFSM.

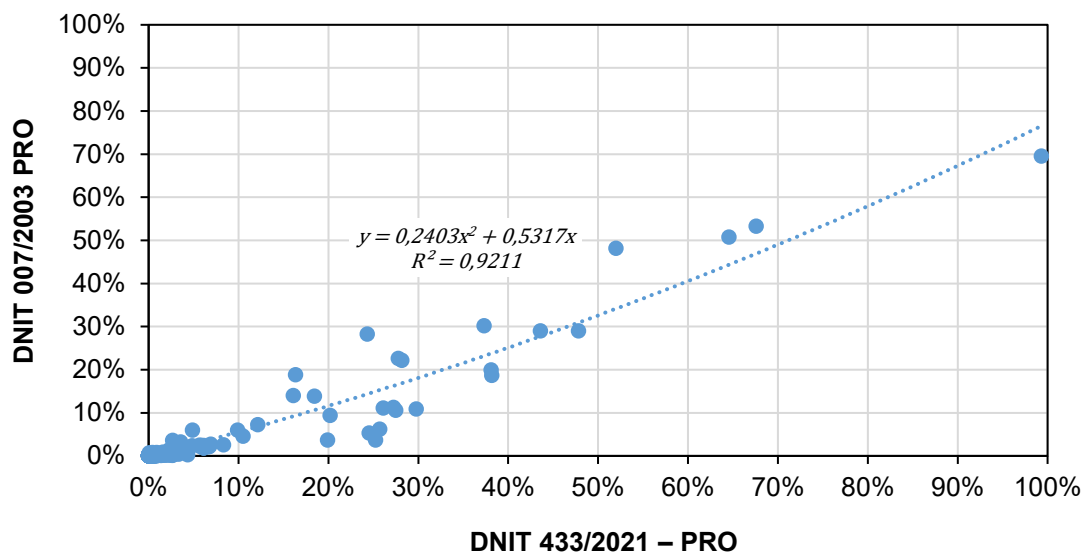


Figura 5 – Correlação entre os métodos de medição de trincas (Segmentos monitorados pelo GEPPASV/UFSM)

Observou-se que os dados experimentais, medidos em campo, apresentaram ajuste matemático de melhor qualidade com funções polinomiais de segunda ordem, exibindo relevante coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9206$).

O resultado exposto no gráfico da Figura 5 confirma a existência de diferença significativa entre os percentuais de trincamento obtidos pelas duas metodologias. Ainda, fica clara a tendência de obtenção de percentuais de trincamento significativamente superiores pelo procedimento DNIT 433/2021 – PRO (frequência de trincas), quando comparados ao procedimento DNIT 007/2003 – PRO (área trincada).

Quanto ao ajuste estatístico alcançado, percebe-se a possibilidade de correlação confiável entre os métodos, permitindo converter valores com boa precisão.

2.3.2 SEGMENTOS AVALIADOS PELO LTP/EPUSP E MONITORADOS PELA INICIATIVA IPR/DNIT – HDM-4

Para ampliar a abrangência da análise de correlação entre os métodos de avaliação de trincamento em campo (normas DNIT 007/2003 – PRO e DNIT 433/2021 – PRO), neste estudo, também foi utilizado o banco de dados oriundo do projeto nacional IPR/DNIT-HDM-4, avaliado tecnicamente pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Universidade de São Paulo (LTP/EPUSP).

O HDM-4 consiste em um sistema de software para gestão rodoviária, usado para planejar, analisar e avaliar a manutenção e melhoria de estradas de forma tecnicamente e economicamente eficiente. Este sistema, de uso obrigatório para obtenção de investimentos do Banco Mundial, auxilia na tomada de decisões para a conservação de pavimentos, permitindo a simulação de cenários de longo prazo, como previsões de manutenção e a avaliação do impacto de diferentes intervenções.

A iniciativa IPR/DNIT-HDM-4 foi idealizada para a viabilizar a análise econômica da rede rodoviária, tendo em vista a necessidade de realização de investimentos da malha rodoviária em paralelo com a restrição orçamentária existente. A iniciativa buscou atingir a maior extensão rodoviária possível, visando o maior retorno por meio do Valor Presente Líquido dos diversos cenários estudados, dentro de um horizonte de projeto. Este fato permitiu analisar diversas alternativas de intervenção para cada

localidade, indicando a época para a realização dos investimentos, tendo como objetivo final a melhor condição da rede no final do horizonte de projeto.

O banco de dados da iniciativa IPR/DNIT-HDM-4 reúne informações de desempenho de 50 unidades amostrais (UAs) monitoradas em rodovias federais brasileiras, cada uma com 1 km de extensão. As UAs foram selecionadas por critérios estatísticos que garantem representatividade quanto a clima, tipologia estrutural e tráfego. Esses segmentos estão localizados nas 5 condições climáticas brasileiras: Equatorial; Temperado; Tropical Brasil Central; Tropical Equatorial; e Tropical Nordeste.

Além disso, as UAs contemplam pavimentos compostos por revestimento em: CA (Concreto Asfáltico); TSD (Tratamento Superficial Duplo); MAF (Microrevestimento Asfáltico a Frio); LA (Lama Asfáltica) e reciclagem dos mais diversos tipos.

O acompanhamento das UAs foi realizado ao longo de cinco anos, contemplando registros de histórico construtivo, defeitos na superfície, intervenções de manutenção, datas de construção, clima regional e volumes de tráfego.

Como o foco do Termo de Execução Descentralizada celebrado entre o DNIT e a Universidade de Brasília envolve, em termos gerais, a calibração do MeDiNa para pavimentos com revestimento em concreto asfáltico, foram selecionadas apenas as UAs com essa tipologia de revestimento, resultando em um subconjunto de 10 segmentos experimentais (Tabela 6) e que foram efetivamente utilizados no estabelecimento de correlação entre os métodos de avaliação de trincamento.

Tabela 6 – Segmentos experimentais monitorados pela iniciativa IPR/DNIT-HDM4, utilizados pelo LTP/EPUSP na correlação entre os métodos de medição de trincamento

Identificação	Rodovia	Cidade	Estado
UA01	BR101	Cruz das Almas	Bahia
UA10	BR116	Icó	Ceará
UA13	BR020	Boa Viagem	Ceará

UA18	BR364	Cuiabá	Mato Grosso
UA19	BR364	Cáceres	Mato Grosso
UA21	BR364	Cáceres	Mato Grosso
UA22	BR364	Cáceres	Mato Grosso
UA41	BR020	Distrito Federal	Distrito Federal
UA48	BR282	Joaçaba	Santa Catarina
UA49	BR282	Joaçaba	Santa Catarina

Os defeitos presentes na superfície das UAs monitoradas pela iniciativa IPR/DNIT-HDM-4 foram obtidos por meio de Levantamento Visual Detalhado (LVD), onde os defeitos foram contabilizados por meio de vídeos registros e cadastrados em plantas baixas dos pavimentos em escala. Isso possibilitou a quantificação da área trincada (AT %) conforme os princípios adotados na norma DNIT 007/2003 – PRO.

Para viabilizar a comparação entre os métodos, foi necessário aplicar a metodologia da norma DNIT 433/2021 – PRO (frequência de trincamento) ao mesmo conjunto de informações. Isso foi realizado pela equipe do LTP/EPUSP a partir das plantas de defeitos disponibilizadas nos dados originais da iniciativa IPR/DNIT-HDM-4, contando-se o número de células com ocorrência de trincamento segundo o critério de frequência adotado na norma DNIT 433/2021 – PRO. Como essa norma é voltada a segmentos homogêneos de curta extensão, cada UA (1 km) foi subdividida em cinco segmentos de 200 m, aumentando (cinco vezes) o número de observações e a robustez estatística do estudo comparativo.

A Figura 6 apresenta a relação entre os percentuais de trincamento obtidos pelos dois métodos nos dados originais da iniciativa IPR/DNIT-HDM-4. Os formatos de correlação que apresentaram melhor ajuste, por meio do coeficiente de determinação (R^2), foram funções polinomiais de segunda e quarta ordem. Para estas análises, serão apresentados apenas os resultados referentes à função polinomial de segunda

ordem, objetivando manter a uniformidade com as regressões realizadas com o banco de dados avaliado e monitorado pela equipe do GEPPASV/UFSM.

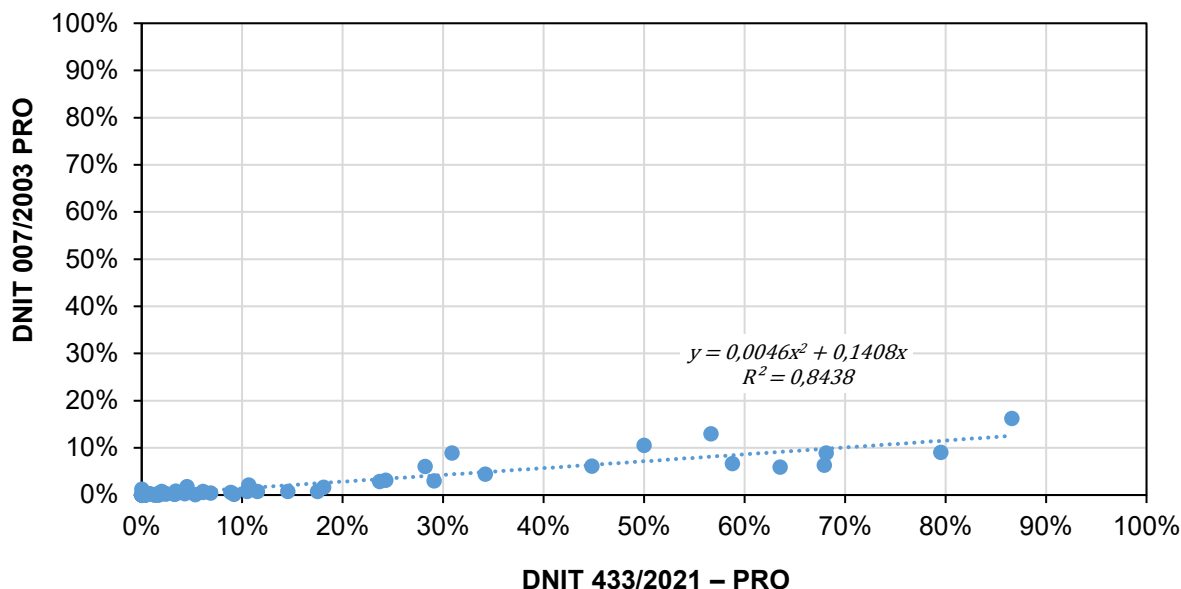


Figura 6 – Correlação entre os métodos de medição de trincas (Segmentos avaliados pelo LTP/EPUSP IPR/DNIT-HDM4)

Pelos resultados expostos na Figura 6, verificou-se que, assim como observado para o banco de dados monitorado pela equipe do GEPPASV/UFSM, a norma DNIT 433/2021 – PRO tende a superestimar os níveis de trincamento quando comparada à norma DNIT 007/2003 – PRO, chegando a apresentar valores até dez vezes maiores.

O ajuste entre os resultados de campo, obtido mediante função polinomial de segunda ordem, apresentou coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,8437, indicando correlação estatisticamente significativa entre os resultados de trincamento oriundos dos diferentes procedimentos apresentados nas normas técnicas referenciadas.

2.3.3 CORRELAÇÃO COM O BANCO DE DADOS INTEGRADO (GEPPASV/UFSM E LTP/EPUSP IPR/DNIT-HDM-4)

No intuito de agrupar todo o conjunto de informações, considerando dados de segmentos experimentais monitorados pelo GEPPASV/UFSM e os avaliados pelo

LTP/EPUSP (iniciativa IPR/DNIT-HDM-4), a Figura 7 apresenta a correlação entre os processos de medição de trincamento para todos os resultados do estudo.

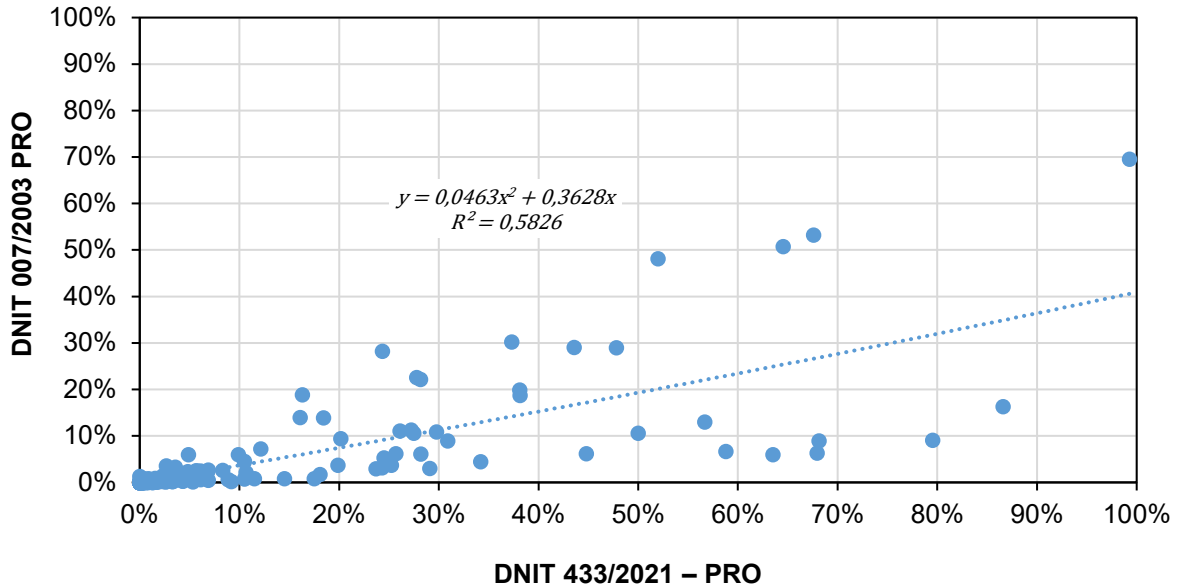


Figura 7 – Correlação entre os métodos de medição de trincas (Segmentos monitorados pelo GEPPASV/UFSM e segmentos avaliados pelo LTP/EPUSP IPR/DNIT-HDM4)

Observa-se que a correlação exposta na Figura 7 (agrupamento de todos os dados) conta com um montante significativo de informações. Um total de 234 levantamentos em segmentos experimentais foram considerados na correlação integrada, resultando em um coeficiente de determinação (R^2) entre os métodos de medição de trincas igual 0,5826. O ajuste, assim como ocorrido para o banco de dados fragmentado entre as duas forças tarefas desenvolvidas ao longo deste TED, teve melhor desempenho estatístico quando avaliado com uma função polinomial de segunda ordem.

Em comparação com as correlações obtidas com os bancos de dados avaliados de forma separada, a correlação integrada apresentou uma redução importante no coeficiente de determinação (R^2). As correlações satisfatórias obtidas nos bancos de dados analisados de forma independente indicam que, dentro de cada conjunto, as duas normas capturam a evolução das trincas de maneira relativamente coerente – ou seja, há homogeneidade interna nas condições dos pavimentos, nos níveis de dano predominantes e na relevância do fenômeno de trincamento.

Entretanto, quando os bancos de dados são integrados, o coeficiente de determinação (R^2) reduz para 0,5826 devido a um efeito combinado de aumento significativo da variabilidade dos dados e da perda de linearidade global do modelo. Acredita-se que este fato ocorre principalmente devido ao efeito de dominância e escala.

O banco de dados monitorado pela equipe do GEPPASV/UFSM, em que as trincas são visualmente mais relevantes, apresenta valores mais altos e distribuição mais ampla da área trincada, quando avaliados pela norma DNIT 007/2003 – PRO. O banco de dados monitorado pela iniciativa IPR/DNIT-HDM-4 e avaliado pela equipe do LTP/EPUSP possui segmentos com fissuração visual pouco significativa, exibindo valores baixos de área trincada e menor dispersão. Este fato ocorre em virtude da maior presença de trincas isoladas, fato que superestima as frequências de trincamento pela norma DNIT 433/2021 – PRO, porém não é considerado de maneira significativa na área trincada real calculada pela norma DNIT 007/2003 – PRO.

A norma DNIT 007/2003 – PRO adota um procedimento de contagem e classificação das trincas com maior dependência da observação humana e categorização por classes de severidade. Já a norma DNIT 433/2021 – PRO incorpora critérios com métricas simplificadas de trincamento e maior capacidade de quantificação contínua. Assim, em pavimentos onde as trincas são mais evidentes e dominantes (primeiro banco de dados, monitorado pela equipe do GEPPASV/UFSM), ambas as normas tendem a gerar medições proporcionais e correlacionáveis. Já em pavimentos onde as trincas são menos representativas (banco de dados monitorado pela iniciativa IPR/DNIT-HDM-4 e avaliado pela equipe do LTP/EPUSP), o método da norma DNIT 433/2021 – PRO identifica microfissuras e pequenas áreas danificadas que a metodologia da norma DNIT 007/2003 – PRO não consegue incorporar em sua avaliação amostral, que quantifica apenas a área trincada real, gerando escalas de medida diferentes entre os métodos.

Ao combinar ambos os bancos de dados, o modelo integrado tende a se ajustar melhor à escala dominante, mas não representa, em sua totalidade, o comportamento

dos pavimentos pouco trincados, onde pequenas variações relativas causam relevante impacto no R^2 , contribuindo para a queda do indicador.

Mesmo com estas ressalvas, acredita-se que a correlação integrada possui aplicação no cenário de avaliação de pavimentos, permitindo comparar os resultados obtidos entre os dois instrumentos normativos. A aplicação dessa equação permite a visualização dos resultados simulados pelo programa MeDiNa em termos de Área Trincada (AT %), de acordo com a metodologia da norma DNIT 007/2003 – PRO, uma carência das versões atuais do referido sistema de dimensionamento.

Com o objetivo de sintetizar os resultados obtidos ao longo do relatório de pesquisa, a Tabela 7 exibe um resumo, com destaque para os coeficientes de correlação (R^2), equações de correlação obtidas pelos bancos de dados separados e utilizados de maneira integrada. Na Tabela 7, y representa o percentual de área trincada (DNIT 007/2003 – PRO) e x representa a frequência de trincamento (DNIT 433/2021 – PRO).

Tabela 7 – Síntese das correlações e dos resultados estatísticos obtidos

Banco de Dados	Equação de Correlação	R^2
GEPPASV/UFSM	$y = 0,2403x^2 + 0,5317x$	0,9211
LTP/EPUSP IPR/DNIT-HDM-4	$y = 0,0046x^2 + 0,1408x$	0,8438
Integrado	$y = 0,0463x^2 + 0,3628x$	0,5826

A ampliação futura do banco de dados, juntamente com a incorporação de pontos oriundos de outros segmentos experimentais e regiões do país, podem aumentar as condições de contorno da correlação e melhorar o seu ajuste estatístico.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este documento entregou formalmente ao IPR/DNIT o produto intitulado “Estudo comparativo da aplicação das metodologias adotadas para determinação da porcentagem de trincamento (Normas DNIT 007/2003 – PRO e DNIT 433/2021 – PRO)”. Para desenvolvimento da atividade, foram considerados dados oriundos de segmentos experimentais avaliados e monitorados pelo GEPPASV/UFSM, além de segmentos avaliados pelo LTP/EPUSP e monitorados pela iniciativa IPR/DNIT-HDM-4.

Os resultados permitiram concluir que, enquanto a norma DNIT 007/2003 – PRO quantifica a área trincada por meio amostral, a norma DNIT 433/2021 – PRO quantifica a frequência de trincamento. Ambas as normas geram percentuais de trincamento, porém com ordem de grandeza e metodologia de avaliação distintas.

Por essa razão, recomenda-se que a norma DNIT 433/2021 – PRO seja atualizada, com a substituição do termo “área trincada” pelo termo “frequência de trincamento” para que seja evitada a utilização incorreta de termos.

Como o programa MeDiNa foi calibrado com dados obtidos pela norma DNIT 433/2021 – PRO, recomenda-se a sua atualização com a indicação da adoção da referida norma para previsão do trincamento ao longo do tempo. Sugere-se também a alteração da nomenclatura utilizada nos relatórios de saída, com a substituição do termo “área trincada” pelo termo “frequência de trincamento”.

Dos resultados obtidos, observa-se a existência da correlação entre os valores de área trincada determinada em campo, com uso da metodologia DNIT 007/2003 – PRO, e frequência de trincamento levantada por meio da metodologia DNIT 433/2021 – PRO. Sistemáticamente, os dados de trincamento obtidos pela norma DNIT 433/2021 – PRO são maiores do que aqueles determinados pela norma DNIT 007/2003 – PRO.

Observou-se uma boa correlação entre os percentuais de trincamento obtidos para os dados analisados de forma independente (bancos de dados considerados de maneira separada na análise). Todavia, conforme pode ser verificado na Figura 7, a correlação entre as normas foi menos significativa quando os dados são dispostos de forma integrada (ambos os bancos de dados considerados na análise). Neste sentido, sugere-se novas pesquisas e obtenção de um maior volume de dados de trincamento, a fim de avaliar a existência de uma correlação por regiões brasileiras, por exemplo.

A partir disso, o programa MeDiNa poderá ser atualizado, possibilitando distintos formatos de saídas de defeitos associados ao trincamento, apresentando os resultados de frequência de trincamento (conforme norma DNIT 433/2021 – PRO) e área trincada (conforme norma DNIT 007/2003 – PRO).

3.1 CONCLUSÕES EXECUTIVAS

Ainda, com base no delinear técnico desenvolvido ao longo das atividades deste estudo, foi possível desenvolver as seguintes conclusões executivas:

- O MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos) do DNIT disponibiliza como saída as frequências de trincamento (ainda chamadas pelo programa de áreas trincadas) calculadas segundo a abordagem matricial por células da norma DNIT 433/2021 – PRO, não contemplando o formato de contabilização contínua da norma DNIT 007/2003 – PRO, que é amplamente empregada em levantamentos históricos da malha federal;
- A ausência da saída das previsões de trincamento no padrão da norma DNIT 007/2003 – PRO, no MeDiNa, representa uma lacuna de interoperabilidade com bases de dados anteriores a 2021, dificultando comparações diretas, modelagens temporais de deterioração e aproveitamento pleno do acervo de levantamentos do próprio DNIT e de instituições parceiras;
- O IPR/DNIT manifestou interesse institucional em dispor de uma rotina, equação ou procedimento confiável que permita prever trincamentos no padrão da norma DNIT 007/2003 – PRO a partir dos dados de saída do MeDiNa, justificando

tecnicamente a realização do estudo de correlação e conversão entre os métodos das normas DNIT 007/2003 – PRO e DNIT 433/2021 – PRO;

- As análises desenvolvidas demonstram que ambas as normas produzem indicadores correlacionáveis quando analisadas por base de dados independentes, confirmando que a conversão matemática é viável, desde que respeitadas naturezas de contabilização de trincamento de cada procedimento;
- A norma DNIT 007/2003 – PRO calcula a área trincada real, a partir do somatório da projeção longitudinal das trincas multiplicada pela largura representativa da faixa afetada. Já a norma DNIT 433/2021 adota a contabilização discreta por células, onde a presença de trincamento implica apropriação integral da área da célula para o cálculo do trincamento, podendo gerar superestimação conservadora do dano físico real em pavimentos com trincas incipientes;
- Acredita-se que o presente relatório de pesquisa cumpre seu objetivo principal ao fornecer subsídio técnico para que o IPR/DNIT implemente, futuramente, uma rotina de saída de área trincada segundo a norma DNIT 007/2003 – PRO, ampliando a utilidade do MeDiNa em aplicações de gestão e restauração;
- Entende-se, por fim, que esta ação irá fortalecer a calibração da Função de Transferência do MeDiNa, pois a conversão de frequência de trincamento em área trincada, no padrão histórico da norma DNIT 007/2003 – PRO, pode melhorar a aderência do modelo às condições de campo em diferentes cenários de relevância do trincamento, aumentando a possibilidade de utilização de pistas existentes, com histórico de monitoramento, nas fases de validação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a) BORDIN, D. T. Implantação e análise de desempenho de trechos monitorados em Santa Maria/RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2020.
- b) BUENO, L. D. Avaliação deflectométrica e de rigidez: Estudo de caso em três trechos monitorados em Santa Maria/RS. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2016.
- c) BUENO, L. D. Contribuição para a previsão empírico-mecanicista da irregularidade longitudinal e seus desdobramentos econômicos em pavimentos asfálticos. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2019.
- d) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 007/2003 - PRO. Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semirrígidos para gerência de pavimentos, estudos e projetos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- e) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 005/2003 – TER. Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- f) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 134/2018 - ME. Pavimentação - Solos - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- g) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 135/2018 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

- h) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 136/2018 - ME: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral - Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2018.
- i) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. 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. Brasília, DF, 2021.
- j) FRITZEN, M. A. Desenvolvimento e validação de função de transferência para previsão do dano por fadiga em pavimentos asfálticos. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.
- k) FRANCO, F. A. C. P.; MOTTA, L. M. G. Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos. Manual de utilização do programa MeDiNa. Termo de Execução Descentralizada nº 682/2014 (DNIT e UFRJ). Processo nº 50607.002043/2013-00. Rio de Janeiro, RJ, 2020.
- l) NASCIMENTO, L. A. H. Implementation and validation of the viscoelastic continuum damage theory for asphalt mixture and pavement analysis in Brazil. Tese de Doutorado, North Carolina State University. North Carolina, EUA, 2015.
- m) PAVI, D. R. Identificação de fatores construtivos que contribuem para o aumento da irregularidade longitudinal a partir do monitoramento de implantação e restauração de trechos rodoviários. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2019.

-
- n) ROSSATO, F. P. Avaliação do fenômeno de fadiga e propriedades elásticas de misturas asfálticas com diferentes ligantes em variadas temperaturas. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2015.
 - o) SANTOS, M. S. dos. Desenvolvimento de modelos de previsão de desempenho a partir da implantação de trechos monitorados na região de Santa Maria/RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2015.
 - p) SANTOS, M. S. dos. Análise do desempenho à fadiga de pavimentos asfálticos com ligante convencional e modificado em trechos monitorados no Rio Grande do Sul. Projeto de Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2023.
 - q) VESTENA, P. M. Segmentos experimentais na BR 116/RS empregando Tlaflex, Hima e 55/75-E (SBS): Caracterização avançada e monitoramento. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2021.