

**Relatório de Pesquisa IPR RP – 019**

**USO DOS DADOS DO HDM-4 PARA  
APRIMORAMENTO DA FUNÇÃO DE  
TRANSFERÊNCIA DO MeDiNa**

BRASÍLIA/DF

MAIO/2026

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 – 019

# **USO DOS DADOS DO HDM-4 PARA APRIMORAMENTO DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA DO MeDiNa**

Elaboração: Laboratório de Infraestrutura – INFRALAB/UnB

Termo de Execução Descentralizada - 352/2020 TED /IPR/DPP/DNIT SEDE

Processo: 50600.039998/2025-16

DOI: 10.70859/IPR-RP-019/2026

Brasília/DF

Mai/2026

**EQUIPE TÉCNICA:**

Eng.<sup>a</sup> Liedi Légi Bariani Bernucci, Ph.D. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP  
Eng.<sup>o</sup> Lucas Rodrigues de Andrade, D.Sc. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP  
Eng.<sup>o</sup> Lucas André de Arede Pontes, M.Sc. – Instituto Brasileiro de Mercado de Capitais – IBMEC  
Eng.<sup>a</sup> Andrea Cardona Pérez, D.Sc. – Universidade de Brasília – UnB  
Eng.<sup>a</sup> Letícia Nunes Lopes, D.Sc. – Universidade de Brasília – UnB  
Eng.<sup>o</sup> Márcio Muniz de Farias, Ph.D. – Universidade de Brasília – UnB  
Eng.<sup>o</sup> Deividi da Silva Pereira, D.Sc. – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM  
Eng.<sup>o</sup> Lucas Dotto Bueno, D.Sc. – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM  
Eng.<sup>o</sup> Luciano Pivoto Specht, D.Sc. – Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

**REVISÃO DE EDITORAÇÃO:**

Eng.<sup>a</sup> Simoneli Fernandes Mendonça – IPR/DPP/DNIT  
Eng.<sup>a</sup> Victória Barbosa Costa Garcia Vieira – Consórcio Progen/HPT

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.  
Diretoria-geral. Diretoria de Planejamento e Pesquisa.  
Instituto de Pesquisas em Transportes.

Uso dos dados do HDM-4 para aprimoramento da função de  
transferência do MeDiNa – Brasília-DF, 2026.

111 p. (Relatório de Pesquisa – IPR RP 019)

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 relatório apresenta uma verificação da previsibilidade do MeDiNa quanto à evolução do trincamento em pavimentos asfálticos por meio de avaliação de dados da pesquisa de calibração do HDM-4 feita pelo DNIT. Foram empregados resultados de monitoramentos funcionais e estruturais de Unidades Amostrais de diferentes regiões do Brasil selecionadas segundo as premissas aplicadas no MeDiNa. Assim, os dados foram compatibilizados e empregados na análise comparativa entre os valores monitorados em campo e as previsões obtidas pelo programa, de modo a poder aumentar a provisão de área trincada segundo normativas vigentes no DNIT e empregadas em trabalhos de dimensionamento, manutenção e fiscalização, contribuindo para a avaliação do desempenho do método.

**Palavras-chave:** MeDiNa, Pavimento Asfáltico, Previsibilidade, Área Trincada do Revestimento, Frequência de Trincamento.

## ABSTRACT

This report presents a verification of the MeDiNa predictability regarding the evolution of cracking in asphalt pavements through the evaluation of data from the HDM-4 calibration research conducted by DNIT. Results from functional and structural monitoring of sample units from different regions of Brazil, selected according to the assumptions applied in MeDiNa, were used. Thus, the data were reconciled and used in a comparative analysis between the values monitored in the field and the predictions obtained by the program, in order to increase the provision of cracked area according to current DNIT regulations and those used in design, maintenance, and inspection work, contributing to the evaluation of the method's performance.

**Keywords:** MeDiNa. Asphalt pavements, Predictability, Cracking Area of the asphalt wearing course, Cracking Frequency.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Officials*

ANOVA – *Analysis of Variance*

AT DNIT 007 – Área trincada segundo a DNIT 007/2003-PRO

At total – Área trincada total

BGS – Brita Graduada Simples

CA – Concreto Asfáltico

CBR – *California Bearing Ratio*

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

$D_x$  – Deflexão na distância  $X_{cm}$

ESALF – *Equivalent Axel Load Factor*

$F$  – Distribuição  $F$

$F$  crítico - Estatística  $F$

$FT$  – Frequência de Trincamento

$FT$  DNIT 433 – Frequência de trincamento segundo a DNIT 433/2021 – PRO

FWD – *Falling Weight Deflectometer*

HDM-4 – *Highway Development and Management*

$H_0$  – Hipótese nula

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPR/DDP – Instituto de Pesquisas em Rodoviárias da Diretoria de Planejamento e Pesquisa

LVD - Levantamento Visual Detalhado

MeDiNa – Método de Dimensionamento Nacional

MPa – Mega Pascal

$N$  – Número  $N$

psi – Pounds per square inch

$p$ -valor – Valor de  $p$

$R^2$  - Coeficiente de determinação

RMSE – Raiz do Erro Quadrático Médio

RTA – Rede Temática de Asfaltos

SHRP – *Strategic Highway Research Program*

SNV – Sistema Nacional de Viação

TED – Termo de Execução Descentralizada

TSD – Tratamento Superficial Duplo

UA's – Unidades Amostras

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

USACE – *United States Army Corps of Engineers*

$\alpha$  – Nível de significância

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma de compatibilização de informações da pesquisa do HDM-4 para utilização no banco de dados do MeDiNa .....	18
Figura 2 – Imagens dos poços de sondagens (DNIT, 2017) .....	19
Figura 3 – Contagens e pesagens realizadas (DNIT, 2017) .....	21
Figura 4 – Exemplo de cálculo do número $N$ no primeiro ano do pavimento para a UA48 .....	21
Figura 5 – Legenda de tipo de defeitos adotada no LVD (DNIT, 2017).....	23
Figura 6 – Marcação dos defeitos existente nos pavimentos (DNIT, 2017) .....	23
Figura 7 – Sistema de gravação do LVD (DNIT, 2017) .....	24
Figura 8 – Exemplo de planta de defeitos dos pavimentos (DNIT, 2017) .....	24
Figura 9 – Procedimento de cálculo de frequência de trincamento segundo a norma DNIT 433/2021 – PRO .....	26
Figura 10 – Evolução dos parâmetros de trincamento com o número $N$ acumulado	27
Figura 11 – Exemplo de gráfico Q-Q de verificação de normalidade de distribuição	29
Figura 12 – Exemplo de bacia identificada como <i>outlier</i> .....	29
Figura 13 – Exemplo de bacias utilizadas para retroanálise .....	30
Figura 14 – Exemplo de gradiente térmico calculado de um dos casos analisados..	33
Figura 15 – Módulos de resiliência retroanalizados do revestimento asfáltico na temperatura ambiente e corrigidos a 25 °C .....	33
Figura 16 – Exemplo de resultado da simulação no programa MeDiNa comparado com as metodologias de área trincada para uma das UA's .....	35
Figura 17 – Exemplo de resultado de simulação no programa MeDiNa comparando com o módulo retroanalizado na temperatura ambiente e na temperatura corrigida para uma das UA's.....	35
Figura 18 – Resultado comparativo de levantamentos de frequência de trincamento para extensões de 200 m e 1,0 km .....	38
Figura 19 – Comparação entre área trincada e frequência de trincamento .....	39

Figura 20 – Comparação entre área trincada total e frequência de trincamento.....	41
Figura 21 – Comparação entre área trincada total (métodos internacionais) e área trincada amostral pela norma DNIT 007/2003 – PRO .....	42
Figura AP 1 – Trecho experimental BR101/BA/304,600/PS/UA01/Flex/Imp .....	51
Figura AP 2 – Módulos retroanalizados para UA01 .....	53
Figura AP 3 – Previsão de frequência de trincamento para UA01 .....	54
Figura AP 4 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA01 .....	55
Figura AP 5 – Previsão de Área Trincada Total para UA01 .....	56
Figura AP 6 – Trecho experimental 1.2 BR116/CE/422,100/PS/UA10/FLEX/IMP ....	57
Figura AP 7 – Módulos retroanalizados para UA10 .....	59
Figura AP 8 – Previsão de frequência de trincamento para UA10 .....	60
Figura AP 9 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA10.....	61
Figura AP 10 – Previsão de Área Trincada Total para UA10 .....	62
Figura AP 11 – Trecho experimental BR020/CE/86,000/PS/UA13/Flex/IMP .....	63
Figura AP 12 – Módulos retroanalizados para UA13 .....	65
Figura AP 13 – Previsão de frequência de trincamento para UA13 .....	66
Figura AP 14 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA13.....	67
Figura AP 15 – Previsão de Área Trincada Total para UA13 .....	68
Figura AP 16 – Trecho experimental BR364/MT/766,000/PS/UA18/Flex/IMP .....	69
Figura AP 17 – Módulos retroanalizados para UA18 .....	71
Figura AP 18 – Previsão de frequência de trincamento para UA18 .....	72
Figura AP 19 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA18.....	73
Figura AP 20 – Previsão de Área Trincada Total para UA18 .....	74
Figura AP 21 – Trecho experimental BR364/MT/700,000/PS/UA19/Flex/IMP .....	75
Figura AP 22 – Módulos retroanalizados para UA19 .....	77
Figura AP 23 – Previsão de frequência de trincamento para UA19 .....	78
Figura AP 24 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA19.....	79
Figura AP 25 – Previsão de Área Trincada Total para UA19 .....	80

Figura AP 26 – Trecho experimental BR364/MT/626,000/PS/UA21/Flex/IMP .....	81
Figura AP 27 – Módulos retroanalizados para UA21 .....	83
Figura AP 28 – Previsão de frequência de trincamento para UA21 .....	84
Figura AP 29 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA21 .....	85
Figura AP 30 – Previsão de Área Trincada Total para UA21 .....	86
Figura AP 31 - Trecho experimental BR364/MT/588,000/PS/UA22/Flex/IMP .....	87
Figura AP 32 – Módulos retroanalizados para UA22 .....	89
Figura AP 33 – Previsão de frequência de trincamento para UA22 .....	90
Figura AP 34 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA22 .....	91
Figura AP 35 – Previsão de Área Trincada Total para UA22 .....	92
Figura AP 36 – Trecho experimental BR020/DF/030,000/PD2/UA41/Flex/IMP .....	93
Figura AP 37 – Módulos retroanalizados para UA41 .....	95
Figura AP 38 – Previsão de frequência de trincamento para UA41 .....	96
Figura AP 39 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA41 .....	97
Figura AP 40 – Previsão de Área Trincada Total para UA41 .....	98
Figura AP 41 – Trecho experimental BR282/SC/343,000/PS/UA48/Flex/IMP .....	99
Figura AP 42 – Módulos retroanalizados para UA48 .....	101
Figura AP 43 – Previsão de frequência de trincamento para UA48 .....	102
Figura AP 44 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA48 .....	103
Figura AP 45 – Previsão de Área Trincada Total para UA48 .....	104
Figura AP 46 – Trecho experimental BR282/SC/203,000/PS/UA49/Flex/IMP .....	105
Figura AP 47 – Módulos retroanalizados para UA49 .....	107
Figura AP 48 – Previsão de frequência de trincamento para UA49 .....	108
Figura AP 49 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA49 .....	109
Figura AP 50 – Previsão de Área Trincada Total para UA4 .....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Trechos selecionados com localização e clima .....	16
Tabela 2 – Exemplo de resultados de número <i>N</i> acumulado .....	22
Tabela 3 – Parâmetros adotados na retronálise.....	31
Tabela 4 – Verificação da variância considerando as duas etapas de avaliação .....	46
Tabela AP 1 – <i>N</i> acumulado do trecho BR101/BA/304,600/CR/PS/UA01/Flex/Imp .	52
Tabela AP 2 – <i>N</i> acumulado do trecho BR101/BA/304,600/DE/PS/UA01/Flex/Imp..	52
Tabela AP 3 – <i>N</i> acumulado do trecho BR116/CE/422,100/CR/PS/UA10/Flex/Imp .	58
Tabela AP 4 – <i>N</i> acumulado do trecho BR116/CE/422,100/DE/PS/UA10/Flex/Imp .	58
Tabela AP 5 – <i>N</i> acumulado do trecho BR020/CE/086,000/CR/PS/UA13/Flex/Imp .	64
Tabela AP 6 – <i>N</i> acumulado do trecho BR020/CE/086,000/DE/PS/UA13/Flex/Imp .	64
Tabela AP 7 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/766,000/CR/PS/UA18/Flex/Imp .	70
Tabela AP 8 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/766,000/DE/PS/UA18/Flex/Imp .	70
Tabela AP 9 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/700,000/CR/PS/UA19/Flex/Imp .	76
Tabela AP 10 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/700,000/DE/PS/UA19/Flex/Imp	76
Tabela AP 11 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/626,000/CR/PS/UA21/Flex/Imp .....	82
Tabela AP 12 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/626,000/DE/PS/UA21/Flex/Imp	82
Tabela AP 13 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/588,000/CR/PS/UA22/Flex/Imp .....	88
Tabela AP 14 – <i>N</i> acumulado do trecho BR364/MT/588,000/DE/PS/UA22/Flex/Imp	88
Tabela AP 15 – <i>N</i> acumulado do trecho BR020/DF/030,00/CR/PS/UA41/Flex/Imp .	94
Tabela AP 16 – <i>N</i> acumulado do trecho BR020/DF/030,00/DE/PS/UA41/Flex/Imp..	94
Tabela AP 17 – <i>N</i> acumulado do trecho BR382/CS/343,000/CR/PS/UA48/Flex/Imp .....	100
Tabela AP 18 – <i>N</i> acumulado do trecho BR382/CS/343,000/DE/PS/UA48/Flex/Imp .....	100
Tabela AP 19 – <i>N</i> acumulado do trecho BR282/SC/203,000/CR/PS/UA49/Flex/Imp .....	106
Tabela AP 20 – <i>N</i> acumulado do trecho BR282/SC/203,000/DE/PS/UA49/Flex/Imp .....	106

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	DESENVOLVIMENTO.....	15
2.1	ANÁLISE DA PERTINÊNCIA DE INCLUSÃO DOS TRECHOS DO HDM-4 NO BANCO DE DADOS DO MEDINA.....	16
2.2	METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA SELEÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS - COLETA DE INFORMAÇÕES NO FORMATO QUE ATENDA O BANCO DE DADOS DO MEDINA.....	18
2.2.1	ESTUDO DE COMPATIBILIDADE DOS MATERIAIS CADASTRADOS NOS ARQUIVOS DNIT/HDM-4 COM AS CLASSES DE MATERIAIS DO PROGRAMA MEDINA .....	19
2.2.2	VERIFICAÇÃO DOS DADOS DE TRÁFEGO LEVANTADOS PARA O HDM-4 E CÁLCULO DO NÚMERO $N$ PARA USO NO MEDINA .....	20
2.2.3	ESTUDO DE DADOS DE AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO HDM-4 E COMPATIBILIZAÇÃO DOS DADOS DE ÁREA TRINCADA .....	22
2.2.4	ESTUDO DOS DADOS DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL DO HDM-427	
2.2.5	REALIZAÇÃO DE RETROANÁLISES DAS BACIAS DOS TRECHOS ESCOLHIDOS COM BASE NOS DADOS COLETADOS NOS RELATÓRIOS DO HDM-4 .....	31
2.2.6	CORREÇÃO DO MÓDULO RETROANALISADO DAS CAMADAS ASFÁLTICAS PARA A TEMPERATURA DE 25 °C .....	32
2.2.7	ESTUDO DOS DADOS DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL DO HDM-434	
2.2.8	ESTUDO DOS DADOS DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL DO HDM-435	
2.3	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	36
3	ESTUDO DE COMPATIBILIDADE DE METODOLOGIAS DE LEVANTAMENTO DE ÁREA TRINCADA TOTAL, ÁREA TRINCADA E FREQUÊNCIA DE TRINCAMENTO.....	37
3.1	AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO SEGMENTO NA DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO ÁREA TRINCADA .....	38
3.2	COMPARAÇÃO ENTRE O PROCEDIMENTO DNIT 007/2003 – PRO E DNIT 433/2021 – PRO.....	39

3.3	COMPARAÇÃO ENTRE O PROCEDIMENTO ÁREA TRINCADA TOTAL E FREQUÊNCIA DE ÁREA TRINCADA PELA DNIT 433/2021 – PRO.....	40
3.4	COMPARAÇÃO ENTRE O PROCEDIMENTO ÁREA TRINCADA TOTAL E DNIT 007/2003 – PRO.....	42
3.5	APLICAÇÃO DOS SHIT MODELS.....	43
4	VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE PREDITIVA DO MEDINA.....	44
4.1	MODELO ANOVA .....	44
4.2	AVALIAÇÃO DE PREVISIBILIDADE.....	45
4.3	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	48
	APÊNDICE A .....	50
1	RESULTADOS DOS TRECHOS ANALISADOS .....	50
1.1	BR101/BA/304,600/PS/UA01/FLEX/IMP .....	50
1.2	BR116/CE/422,100/PS/UA10/FLEX/IMP .....	57
1.3	BR020/CE/086,000/PS/UA13/FLEX/IMP.....	63
1.4	BR364/MT/766,000/PS/UA18/FLEX/IMP .....	69
1.5	BR364/MT/700,000/PS/UA19/FLEX/IMP .....	75
1.6	BR364/MT/626,000/PS/UA21/FLEX/IMP .....	81
1.7	BR364/MT/588,000/PS/UA22/FLEX/IMP .....	87
1.8	BR020/DF/030,000/PD2/UA41/FLEX/IMP.....	93
1.9	BR282/SC/343,000/PS/UA48/FLEX/IMP.....	99
1.10	BR282/SC/203,000/PS/UA49/FLEX/IMP .....	105
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111

## 1 INTRODUÇÃO

A pesquisa de calibração do HDM-4 contemplou o monitoramento de 50 Unidades Amostrais (UA's) de rodovias brasileiras ao longo de 5 anos (2013 - 2017), com o objetivo de calibrar os modelos do HDM-4 para a realidade da rede brasileira de rodovias construídas e mantidas pelo DNIT. O monitoramento se deu por meio de levantamento do histórico da estrutura do pavimento, contagens e pesagens de veículos, execução de ensaios diversos, monitoramento funcional e estrutural das UA's, entre outras atividades.

O banco de dados estruturado pela pesquisa de calibração do HDM-4 é de imensa riqueza de detalhes e informações, o que possibilitou a sua utilização para avaliação da previsibilidade do programa Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) no que tange ao estudo de evolução do trincamento em pavimentos asfálticos. A avaliação das informações presentes no banco de dados resultou em um esforço para que se usasse a totalidade destes dados de modo a obter a validação da previsibilidade do programa MeDiNa.

Deve-se ressaltar que não é possível a inclusão destes dados do trabalho do HDM-4 para a expansão ou ajuste ou mesmo a calibração da função transferência atual do MeDiNa pois, para tanto, seria necessário ter informações de ensaios laboratoriais anteriores às obras de implantação da pavimentação ou de restauração da mesma, o que não havia sido realizado à época.

Ressalta-se que a metodologia de ensaios previstos para a inclusão de novos dados no MeDiNa para poder aperfeiçoar as funções de transferência são posteriores à realização deste grande projeto HDM-4: Adaptação do Modelo à Realidade do Brasil.

Ou seja, toda a normatização e metodologia sólida para criar a função de transferência do MeDiNa depende de ensaios que não haviam sido feitos, e não havia mais a possibilidade de fazê-los por não haver à disposição os materiais empregados originalmente na obra: agregados, filer, ligante virgem, entre outros. Assim, as informações disponíveis no projeto HDM-4: Adaptação do Modelo à Realidade do Brasil, apesar de riquíssimas, impossibilitam sua inclusão para nova calibração. Os dados podem ser empregados para outros fins, que foi o realizado nesta etapa do trabalho.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Para a pesquisa de calibração do HDM-4, selecionaram-se, com base em critérios estatísticos, 50 Unidades Amostrais (UA's) com um quilômetro de extensão cada, para monitoramento funcional e estrutural das mesmas ao longo dos 5 anos em que essa pesquisa do HDM-4 foi realizada.

Para a seleção, diversos dados foram coletados, dentre os quais se destacam: o histórico do pavimento e de suas camadas, datas de construção, manutenções realizadas, clima regional e níveis de tráfego. Esta seleção do projeto HDM-4 contemplou pavimentos compostos por revestimento em: Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) – também denominado atualmente por Concreto Asfáltico (CA); Tratamento Superficial Duplo (TSD); microrrevestimento asfáltico a frio, lama asfáltica e reciclagens dos mais diversos tipos.

Os trechos em questão estão localizados nas 5 condições climáticas brasileiras: Equatorial; Temperado; Tropical Brasil Central; Tropical Equatorial; e Tropical Nordeste.

Como as condições de concepção e calibração originais do MeDiNa contemplam somente revestimento asfálticos do tipo CBUQ, para o estudo que se procurou fazer para a compatibilidade dos dados disponibilizados pela pesquisa do HDM-4 e o MeDiNa, realizou-se a seleção dos trechos em que continham somente revestimentos em CBUQ.

Esta seleção resultou em uma redução do banco de dados de 50 para 10 UA's, que são analisadas separadamente para a pista “crescente”, sentido com quilometragem crescente, e pista “decrecente”, sentido com quilometragem decrescente. Na Tabela 1 são enumerados os trechos selecionados, bem como a localização e o clima.

**Tabela 1 – Trechos selecionados com localização e clima**

<b>Unidade de Amostragem</b>	<b>Estado</b>	<b>Município</b>	<b>Clima</b>
UA01-BR101	Bahia	Cruz das Almas	Tropical Nordeste
UA10-BR116	Ceará	Icó	Tropical Equatorial
UA13-BR020	Ceará	Boa Viagem	Tropical Equatorial
UA18-BR364	Mato Grosso	Cuiabá	Tropical Brasil Central
UA19-BR364	Mato Grosso	Cáceres	Tropical Brasil Central
UA21-BR364	Mato Grosso	Cáceres	Tropical Brasil Central
UA22-BR364	Mato Grosso	Cáceres	Tropical Brasil Central
UA41-BR020	Distrito Federal	Distrito Federal	Tropical Brasil Central
UA48-BR282	Santa Catarina	Joaçaba	Temperado
UA49-BR282	Santa Catarina	Joaçaba	Temperado

## **2.1 ANÁLISE DA PERTINÊNCIA DE INCLUSÃO DOS TRECHOS DO HDM-4 NO BANCO DE DADOS DO MEDINA**

Visando o atendimento dos preceitos adotados na concepção do MeDiNa, foi realizado estudo de materiais técnicos e teóricos para compatibilização dos dados disponíveis da pesquisa de calibração do HDM-4 e os dados necessários para aperfeiçoamento da calibração do programa MeDiNa, seguindo as premissas apresentadas no PRO-MeDiNa (DNIT, 2023).

Tendo em vista que os dados disponíveis não contemplam na plenitude as informações necessárias para realização da calibração da função de transferência do MeDiNa (como os dados de ensaios preliminares de caracterização de materiais), os dados deste relatório foram usados, em comum acordo com as equipes técnicas, para verificação da previsibilidade de comportamento e de desempenho pelo MeDiNa.

Isto quer dizer que foi uma grande oportunidade empregar os dados da pesquisa do projeto do HDM-4 que possuía o registro do desempenho de diferentes trechos experimentais ao longo de anos, para testar se o MeDiNa poderia prever o que aconteceria em termos de área trincada ao longo dos anos, ou seja, previsão de desempenho destes trechos experimentais, reais e expostos ao tráfego.

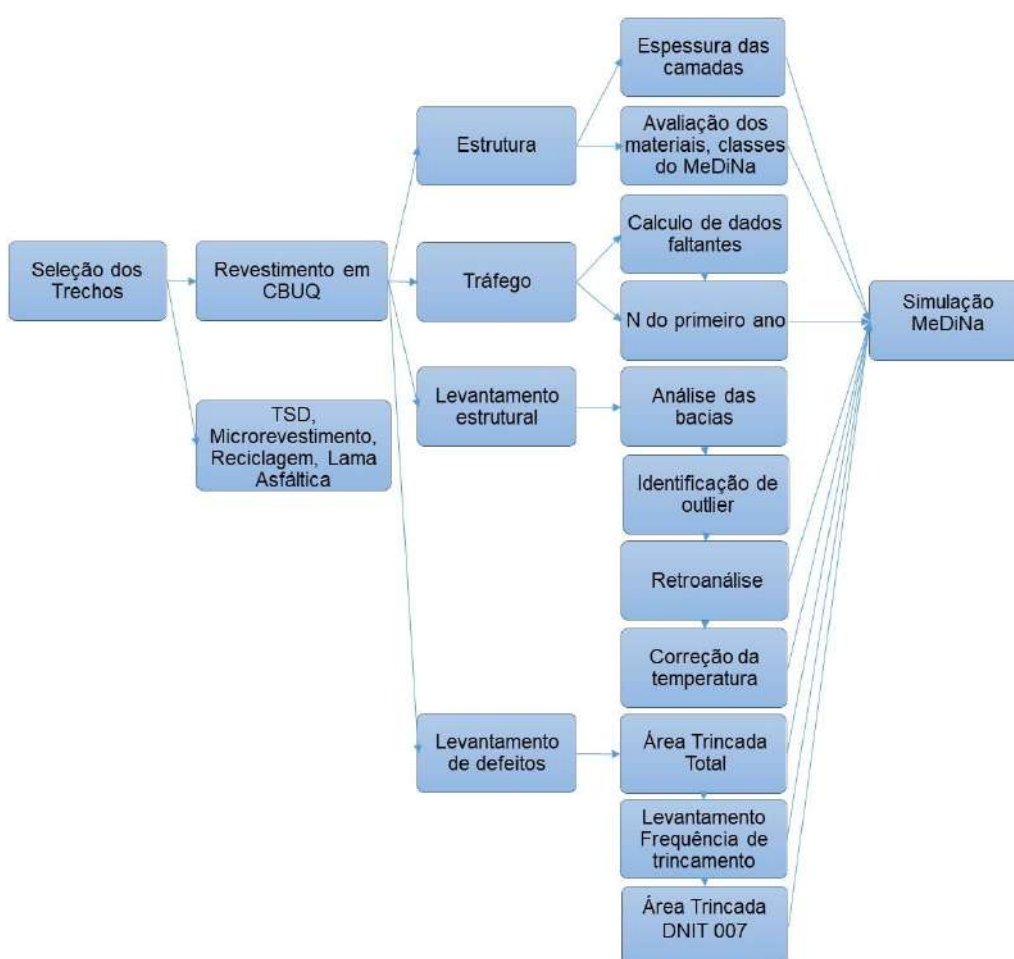
Ou seja, neste trabalho, são dois bancos de dados: (i) para calibração ou recalibração do MeDiNa, e (ii) para verificação do MeDiNa. Neste último caso, caso (ii), enquadram-se os trechos de calibração do HDM-4 disponibilizados pelo DNIT.

Para que os trechos do banco de dados de calibração do HDM-4 fossem usados para calibração da função de transferência do MeDiNa seria necessário que os materiais que compõem as estruturas dos pavimentos tivessem sido coletados e caracterizados com relação às suas características físicas e de respostas mecânicas. Teria sido necessária a realização de ensaios para os materiais das camadas granulares (DNIT 134/2018 – ME) e deformação permanente (DNIT 183/2018 – ME), e para os materiais asfálticos, os ensaios de módulo de resiliência (DNIT 135/2018 – ME) e de fadiga diametral (DNIT 184/2018 – ME). Em adição, os monitoramentos do desempenho dos trechos deveriam ter sido realizados seguindo a norma DNIT 433/2021 – PRO.

Para viabilizar a utilização dos dados disponibilizados, buscou-se estudar as metodologias dos levantamentos realizados para elaboração do banco de dados que foi utilizado para a calibração original do programa MeDiNa. Dessa forma encontrou-se em Nascimento (2015) a descrição de algumas informações do banco de dados do “Projeto Fundão”, e em Fritzen (2016), encontraram-se maiores informações do referido projeto que é localizado na Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e conta com 45 segmentos monitorados. Neste último estudo, desenvolveu-se a calibração da função de transferência que originou o MeDiNa.

## 2.2 METODOLOGIA DESENVOLVIDA PARA SELEÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS - COLETA DE INFORMAÇÕES NO FORMATO QUE ATENDA O BANCO DE DADOS DO MEDINA

O PRO-MeDiNa adota a forma de organização de dados seguindo uma planilha elaborada por pesquisadores da Rede de Tecnologia em Asfaltos (RTA) (DNIT, 2023). Com isto, buscou-se dentro dos arquivos da pesquisa de calibração do HDM-4 as informações que eram solicitadas pela planilha do PRO-MeDiNa. O fluxograma apresentado na Figura 1 ilustra a metodologia para compatibilização dos dados.



**Figura 1 – Fluxograma de compatibilização de informações da pesquisa do HDM-4 para utilização no banco de dados do MeDiNa**

Os detalhamentos da metodologia realizada para a avaliação dos dados do HDM-4 no programa MeDiNa serão apresentados em seguida, nos próximos subitens.

## 2.2.1 ESTUDO DE COMPATIBILIDADE DOS MATERIAIS CADASTRADOS NOS ARQUIVOS DNIT/HDM-4 COM AS CLASSES DE MATERIAIS DO PROGRAMA MEDINA

O MeDiNa é um programa baseado no método mecanístico-empírico onde é necessária uma caracterização do comportamento mecânico dos materiais como entrada de dados. Contudo a pesquisa de calibração do HDM-4 não contemplou a realização de tais ensaios, o que impossibilita a utilização do banco de dados para realização da validação e expansão da função transferência atual do MeDiNa. O HDM-4 leva em consideração a contribuição de resistência do subleito, portanto, somente esta etapa foi realizada, com a estimativa do *California Bearing Ratio* (CBR), dada por um ensaio penetrométrico realizado *in situ*.

Desta forma buscaram-se informações dos materiais constituintes das camadas do pavimento no referido relatório<sup>1</sup>. A Figura 2 ilustra alguns desses poços de sondagem realizado na UA22 e UA48.



(a) Poço de sondagem UA22



(b) Poço de sondagem da UA48

Figura 2 – Imagens dos poços de sondagens (DNIT, 2017)

<sup>1</sup> Informação encontrada no “PRODUTO 3: LEVANTAMENTO DE CAMPO E MONITORAÇÃO - P03SP3-8R1 – Anexo 3 – Sondagem - Unidades Amostrais 1 a 50 – 2º ciclo”

Este relatório contém informações de poços de sondagens realizados nas UA's no ano de 2014, apresentando a espessura das camadas e uma breve informação de análise visual dos materiais constituintes de cada uma das camadas do pavimento e características do subleito. Com esta descrição e juntamente com o conhecimento dos materiais normalmente encontrados na região de localização da UA, procedeu-se com a compatibilização dos materiais com a categoria dos materiais existentes no banco de dados do programa MeDiNa.

## 2.2.2 VERIFICAÇÃO DOS DADOS DE TRÁFEGO LEVANTADOS PARA O HDM-4 E CÁLCULO DO NÚMERO $N$ PARA USO NO MEDINA

Para determinação do número  $N$  (número de repetições equivalentes do eixo padrão de 80 kN ou 8,2 tf) foi necessário buscar uma série de informações: (i) a informação da idade dos pavimentos constituintes de cada uma das UA's<sup>2</sup>; (ii) o número  $N$  acumulado, desde a última intervenção na UA até o primeiro ano do projeto do HDM-4<sup>3</sup>; e (iii) os valores de  $N$  ocorrentes durante o monitoramento das UA's, determinado pelas 3 campanhas de contagem e pesagem dos veículos comerciais<sup>4</sup>, tal como é mostrado na Figura 3.

---

<sup>2</sup> Informação encontrada no “RELATÓRIO FINAL” página 195 na “Tabela 127 – Idade do Pavimento das UA's, que continham as informações de idade por ano dos pavimentos, separadas por UA's e faixa da direita e esquerda.

<sup>3</sup> Informação encontrada no “RELATÓRIO FINAL” página 198 na “Tabela 130 – Número “ $N$ ” Acumulado no Primeiro Ano de Monitoramento” com as informações descritas por UA, separados por faixa da direita e da esquerda. Com o cálculo do número “ $N$ ” referente a metodologia de cálculo *Equivalent Single Axle Load Factor* (ESALF).

<sup>4</sup> Informações encontradas nas planilhas “Anexo 3 - Número N\_2014.xlsx”, “Anexo 3 - Número N\_2016.xlsx” e “Anexo 3 - Número N\_2017.xlsx”, estes arquivos apresentam as informações de número “ $N$ ” calculados para a faixa de maior tráfego pelas metodologias ESALF, segundo *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e *United States Army Corps of Engineers* (USACE) para os anos de 2014, 2016 e 2017.



Figura 3 – Contagens e pesagens realizadas (DNIT, 2017)

O número  $N$  para o ano de 2015, que faltava nos registros, foi calculado considerando a média entre os  $N$ s levantados nas campanhas de contagem e pesagem realizadas nos anos de 2014 e 2016. Desta forma foi possível calcular o  $N$  acumulado ao longo do período de monitoramento do projeto que foi entre o ano zero, determinado pela idade do pavimento, e o estipulado pelo monitoramento entre 2013 e 2017.

Como o dado de entrada no programa MeDiNa é o número  $N$  acumulado no primeiro ano do projeto, e as informações da pesquisa do HDM-4 não contemplavam esta informação, foi realizada uma regressão linear para encontrar o  $N$  no primeiro ano do pavimento. Na Figura 4 tem-se o exemplo do cálculo do número  $N$  para a UA48, sendo em vermelho o número  $N$  acumulado no período de monitoramento e em azul o resultado da regressão para determinação do “ $N$ ” no primeiro ano.

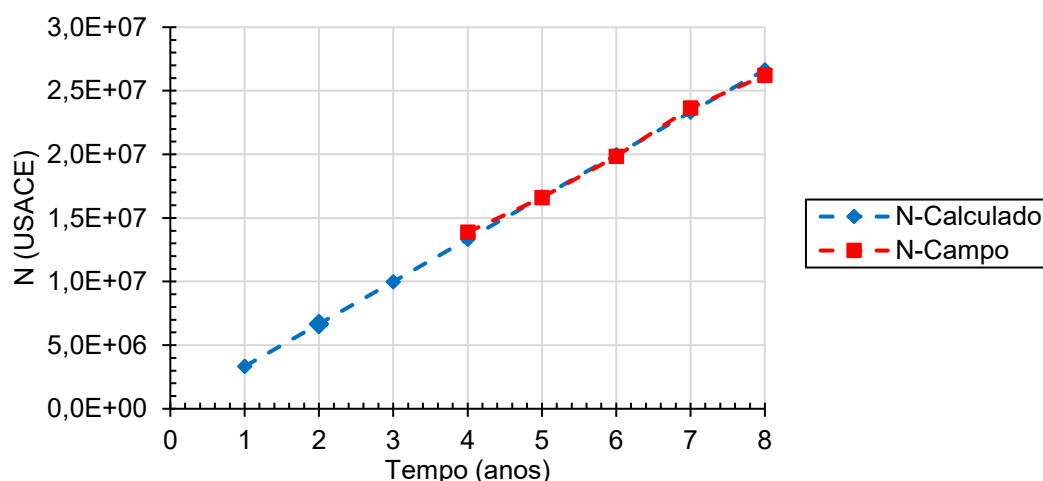


Figura 4 – Exemplo de cálculo do número  $N$  no primeiro ano do pavimento para a UA48

A Tabela 2 traz os dados de tráfego fornecidos pela pesquisa do HDM-4 e os cálculos realizados na compatibilização para utilização no programa MeDiNa. Como os dados da pesquisa forneciam os dados de N ESALF, AASHTO e USACE, nesta presente pesquisa, optou-se por realizar o mesmo procedimento para as três categorias, a fim de manter o mesmo nível de informações, embora para o MeDiNa o tráfego de entrada seja o número *N* calculado segundo USACE.

**Tabela 2 – Exemplo de resultados de número *N* acumulado**

Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	<i>N</i> Acumulado (ESALF)	<i>N</i> Acumulado (AASHTO)	<i>N</i> Acumulado (USACE)
2007*	1	12	9.48E+05	5.12E+05	2.22E+06
2013	6	72	5.62E+06	3.03E+06	1.32E+07
2014	7	84	6.79E+06	3.62E+06	1.63E+07
2015*	8	96	7.67E+06	4.09E+06	1.84E+07
2016	9	108	8.25E+06	4.44E+06	1.95E+07
2017	10	120	9.22E+06	4.96E+06	2.17E+07

(\*) valores calculados pela equipe deste TED

### 2.2.3 ESTUDO DE DADOS DE AVALIAÇÃO FUNCIONAL DO HDM-4 E COMPATIBILIZAÇÃO DOS DADOS DE ÁREA TRINCADA

No momento em que foi feita a pesquisa de calibração do HDM-4, foram levantados os defeitos ocorrentes nas UA's segundo o procedimento de Levantamento Visual Detalhado (LVD), que faz uma avaliação detalhada da superfície do pavimento asfáltico. Este levantamento não possui uma norma regulamentada pelo DNIT, mas os defeitos foram cadastrados empregando a terminologia da norma DNIT 005/2003 – PRO. A Figura 5 mostra a legenda dos defeitos adotados, seguindo o padrão preconizado na norma DNIT 005/2003 – PRO.

LEGENDA ADOTADA			
	TRINCAS ISOLADAS (TTC-TTL) (TLC-TLL)		TRINCAS INTERLIGADAS (TIG)
	PANELAS (P)		JACARÉ (J)
	AFUNDAMENTO (ALP)		REMENDO SUPERFICIAL (RS)
	DESGASTE (D)		EXSUDAÇÃO (EX)

Figura 5 – Legenda de tipo de defeitos adotada no LVD (DNIT, 2017)

Os defeitos existentes no pavimento foram identificados e demarcados com tinta branca, conforme mostra a Figura 6. Posteriormente, realizaram-se o registro mediante a gravação de vídeo de alta resolução com um sistema de vídeos instalados no teto de um veículo, conforme pode ser visto na Figura 7.

Dessa forma, utilizou-se um *software* para fazer a quantificação dos defeitos. Adicionalmente, foi feita uma planta baixa com o tipo de defeito, a localização e as dimensões de cada uma das ocorrências, conforme mostra a Figura 8. Com este procedimento, na pesquisa do HDM-4, quantificou-se a área total dos defeitos existentes nas UA's monitoradas.



Figura 6 – Marcação dos defeitos existente nos pavimentos (DNIT, 2017)

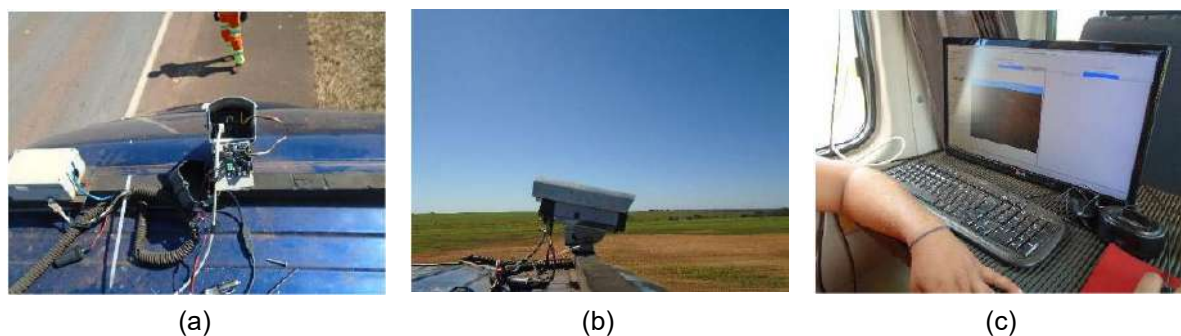


Figura 7 – Sistema de gravação do LVD (DNIT, 2017)

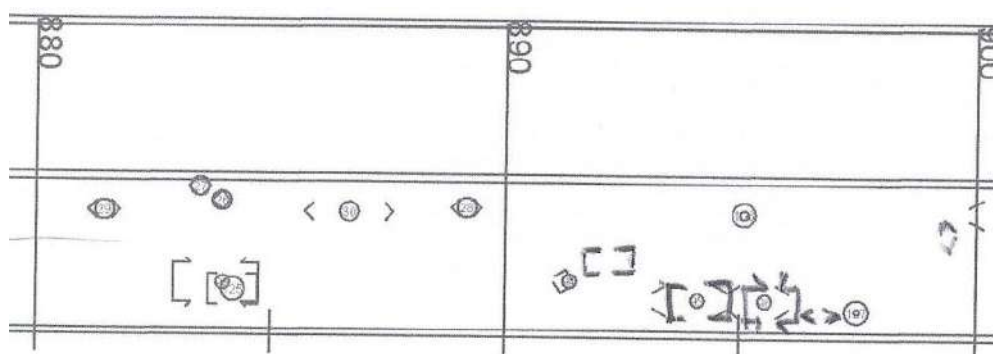


Figura 8 – Exemplo de planta de defeitos dos pavimentos (DNIT, 2017)

Dentro dos arquivos da pesquisa do HDM-4, encontraram-se as planilhas com os resultados dos levantamentos contínuos por estaca de levantamento e as plantas de defeitos com detalhamento por faixa, feitos a cada 10,00 m. Estes arquivos foram usados para o levantamento de dados para a comparação dos resultados de previsão de área trincada do *software* MeDiNa.

É importante ressaltar que o cálculo de área trincada adotado no monitoramento dos trechos da RTA, que subsidiaram a calibração de MeDiNa, segue um método diferente do constante na DNIT 007/2003 – PRO. Segundo o PRO-MeDiNa (DNIT, 2023), a área trincada para utilização do programa MeDiNa deve ser calculada seguindo a norma DNIT 433/2021 – PRO.

Este procedimento determina a utilização de uma grelha que subdivide a faixa de tráfego em três células, de igual largura, ou seja, cada célula tem 1,20 m de largura, para uma faixa de tráfego padrão de 3,60 m. Uma vez que cada célula da grelha possui 2,00 m de comprimento, em duas estacas consecutivas tem-se 10 x 3 células (totalizando 30 células, portanto, em 20,00 m de extensão), sendo cada célula com 1,20 m de largura e 2,00 m de comprimento.

Neste procedimento da norma DNIT 433/2021 – PRO, sempre que ocorrer um defeito deve-se anotar que naquela célula específica há ocorrência de defeito, independente da gravidade. Por exemplo, para o caso de trincamento, independente da gravidade, são consideradas todas as ocorrências como sendo iguais, de mesma importância, tais como as trincas isoladas (FC-1), as trincas interligadas Couro de Jacaré (FC-2) ou as trincas interligadas Couro de Jacaré com erosão de bordas (FC-3).

A existência de defeitos é marcada em uma ficha padrão e, ao final, calcula-se a proporção de células com existência de trincas por células existentes no trecho, seguindo a (1), que não é um cálculo de área, mas sim de Frequência de Trincamento (FT). Neste trabalho, serão sempre nomeadas as “área trincada” do MeDiNa por “frequência de trincamento” para que não se faça confusão entre estas grandezas. Essa metodologia pode ser encontrada nas descrições de monitoramentos de trechos dos trabalhos de Nascimento (2015), Fritzen (2016) e Bueno (2019), que descrevem os trechos monitorados pela RTA.

$$FT = \frac{N_{TRINCADO}}{N_{TOTAL}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

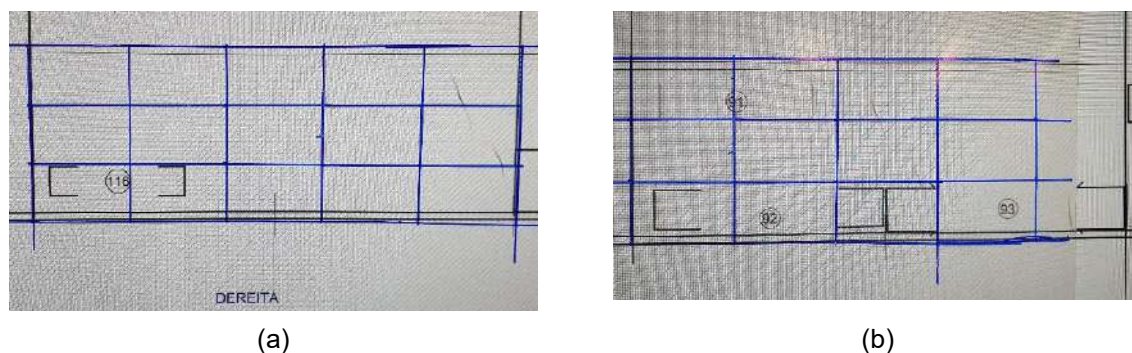
$FT$ : Frequência de Trincamento

$N_{trincado}$ : Número de células com defeito

$N_{TOTAL}$ : Número de células totais

Visando a compatibilização dos valores de área trincada total levantada pelo LVD e a frequência de trincamento, foram utilizadas as plantas de defeito registradas pela pesquisa do HDM-4.

Empregando o zoom do monitor, colocou-se a imagem do trecho em planta da pesquisa do HDM-4 na escala de 1/75. Graças ao uso de uma folha translúcida, desenhou-se a grelha com células, seguindo as dimensões em escala da DNIT 433/2021 – PRO. Assim, usou-se essa folha translúcida sobre a planta do trecho da pesquisa do HDM-4, para contagem das células que continham os defeitos. A Figura 9 exemplifica o procedimento adotado.



**Figura 9 – Procedimento de cálculo de frequência de trincamento segundo a norma DNIT 433/2021 – PRO**

No exemplo da esquerda na Figura 9 (a) a área trincada total medida pelo método de levantamento adotado pelo HDM-4 foi de 0,90 m<sup>2</sup> e no método da frequência de trincamento tem-se duas células trincadas. No exemplo da direita, Figura 9 (b), a área trincada medida foi de 13,00 m<sup>2</sup> pelo HDM-4 e 8 células pelo método da DNIT 433/2021 – PRO.

O levantamento que segue a norma DNIT 007/2003 – PRO tem como objetos de análise superfícies de subtrechos homogêneos. A norma determina que o levantamento seja realizado a partir de subtrechos homogêneos dentro de um mesmo Sistema Nacional de Viação (SNV). Essa divisão é seguida de mais uma subdivisão que separa o já partido trecho em três porções de 100 m cada. Nos seis primeiros e nos seis últimos metros longitudinais tem-se superfícies de avaliação onde serão levantados os defeitos.

Para compatibilização dos levantamentos, nos subtrechos, foi considerada toda a extensão da respectiva UA. Para evitar a perda de informações, foram realizadas as avaliações de estações a cada 20 m em todas as faixas, em ambos os sentidos. O resultado foi a porcentagem de área trincada encontrada dentro de cada estação sobre a área de pavimento avaliada.

Ressalta-se que todo o trabalho foi feito de forma minuciosa e não era possível ser automatizado. Assim, para cada UA, foram investidos dias para esta determinação minuciosa, de maneira que não houvesse erros de estimativa.

Na Figura 10 mostra-se um exemplo da evolução da área trincada e a frequência de trincamento com o acúmulo do tráfego segundo as três metodologias. Utilizaram-se os dados de área trincada total (“At Total”) do relatório da pesquisa do HDM-4. Os cálculos da frequência de trincamento segundo a DNIT 433/2021 – PRO (“FT DNIT 433”) e da área trincada segundo a DNIT 007/2003 – PRO (“AT DNIT 007”) foram realizadas utilizando-se os arquivos em planta dos trechos dos anos de 2013, 2014 e 2015 e 2017. Não havia arquivo de planta dos trechos do ano 2016.

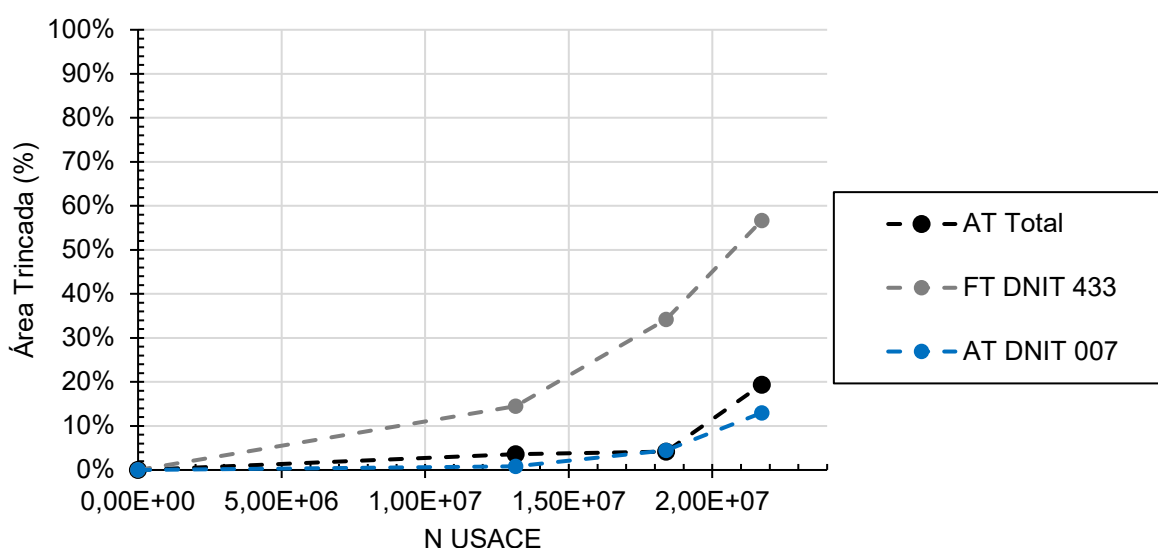


Figura 10 – Evolução dos parâmetros de trincamento com o número  $N$  acumulado

#### 2.2.4 ESTUDO DOS DADOS DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL DO HDM-4

Durante os monitoramentos das UA's para calibração do HDM-4, foram realizadas 3 campanhas de ensaios deflectométricos, executadas utilizando equipamento do tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD) nos anos 2013, 2015 e 2017.

Os dados deflectométricos de FWD foram disponibilizados em formato pdf, e compunham 3 arquivos com 102 páginas cada um. Os resultados estão compartilhados em formato de tabela, contendo as seguintes informações: UA, unidade federativa, data, rodovia, segmento, faixa, estaca, força (normalizada para 41,0 kN), deflexões (nas distâncias padrão do HDM-4 - D0, D30, D60, D90, D120, D150 e D180), diâmetro (da placa de aplicação de carga do FWD – 300 mm), temperatura (do asfalto, da superfície e do ar), e data e horário.

Foi realizado procedimento para se eliminarem os registros de dados que poderiam conter erros de leitura. Esta seleção de dados foi feita para identificar erros e incoerências, sendo empregada para eliminação das bacias deflectométricas aquelas que continham:

- Deflexões zeradas: ocorrência de algum erro de leitura no acelerômetro do FWD, resultando em dado igual a zero (ex.:  $D60 = 0$ );
- Deflexões repetidas: ocorrência durante a leitura por imperfeição na superfície de contato dos acelerômetros com o pavimento, fazendo com que a deflexão registrada possa ter valores coincidentes com a anterior (ex.:  $D60 = D90$ ); e
- Deflexões invertidas: ocorrência durante a leitura por imperfeição na superfície de contato dos acelerômetros com o pavimento, resultando com que a deflexão registrada possa ter valores invertidos (ex.:  $D90 > D60$ ).

Todos estes tipos de erros são claramente identificáveis e incoerentes. Para que não houvesse influência nas análises de respostas mecânicas das estruturas, foram, portanto, eliminadas.

Após a filtragem das bacias, realizou-se o cálculo das bacias médias, desvio padrão, verificação de normalidade da distribuição de dados e a determinação de *outliers* nas amostras. A Figura 11 ilustra o teste de normalidade dos dados de deflexão máxima de um levantamento realizado em uma UA. O teste Q-Q compara a distribuição de dados com uma distribuição normal padrão. Quanto mais próximos os dados da amostra da reta, mais a distribuição de dados se comporta como uma distribuição normal.

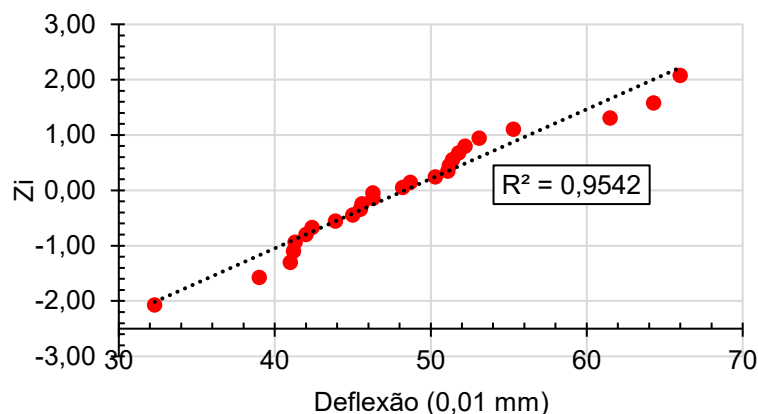


Figura 11 – Exemplo de gráfico Q-Q de verificação de normalidade de distribuição

A normalidade verificada para a deflexão máxima permite com que os dados sejam tratados de forma estatística. Assim, pode-se considerar que o intervalo entre a média mais um desvio padrão e a média menos um desvio padrão representa uma confiabilidade estatística de 68 % na retroanálise da bacia de deflexões.

A verificação da normalidade da distribuição também permite a aplicação do teste de Grubbs, que identifica um *outlier* dentro da amostra. Este *outlier* pode ser causado por diversas fontes, como erro de leituras, defeitos pontuais etc. O método não explica a causa do *outlier*, somente o identifica. Desta forma, nessa pesquisa optou-se por excluir as bacias deflectométricas que são identificadas como *outliers*. A Figura 12 exemplifica, em vermelho, uma bacia que foi identificada como *outlier* em uma distribuição de um levantamento deflectométrico, empregando-se uma metodologia robusta estatisticamente para esta exclusão.

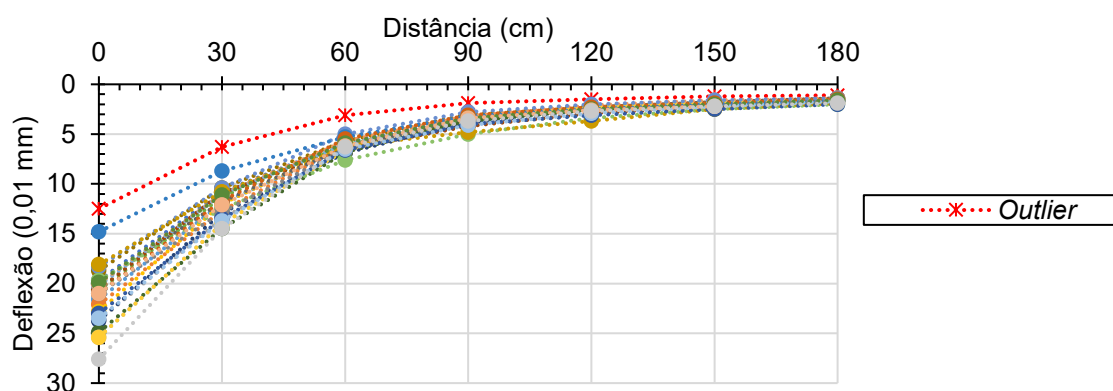


Figura 12 – Exemplo de bacia identificada como outlier

Com os dados das UA's pré-tratados e com as análises estatísticas realizadas, os arquivos foram salvos em Excel que permitiu visualização dos gráficos das bacias e a exportação para a formatação do BackMeDiNa para a realização das retroanálises, ou seja, a determinação dos módulos de resiliência das camadas a partir dos dados defletométricos.

A Figura 13 mostra as bacias utilizadas para realização da retroanálise (bacia média, bacia média mais o desvio padrão, bacia média menos o desvio padrão e a bacia mais próxima do local de realização da sondagem, pontos conforme apresentados na Figura 2. Caso a bacia localizada mais próxima do local da sondagem, representada em azul na Figura 13, encontrar-se próxima à bacia média e dentro do intervalo, fica demonstrada a solidez estatística adotada nesta pesquisa.

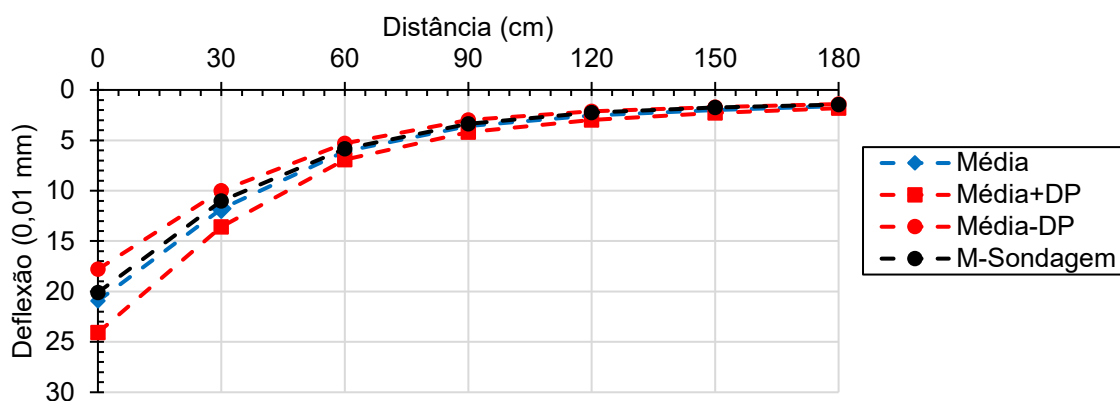


Figura 13 – Exemplo de bacias utilizadas para retroanálise

## 2.2.5 REALIZAÇÃO DE RETROANÁLISES DAS BACIAS DOS TRECHOS ESCOLHIDOS COM BASE NOS DADOS COLETADOS NOS RELATÓRIOS DO HDM-4

Para a realização das retroanálises no BackMeDiNa e posterior análise no MeDiNa, as informações de materiais e espessuras das camadas foram coletadas no referido relatório<sup>5</sup>. Este relatório inclui o perfil geotécnico realizado na borda dos trechos experimentais com profundidade entre 1,00 e 1,50 m, descrevendo as espessuras das camadas e os materiais constituintes de cada camada (revestimento, base, sub-base e subleito).

A Tabela 3 apresenta os parâmetros adotados para a realização da retroanálise, de acordo com os materiais identificados na sondagem.

**Tabela 3 – Parâmetros adotados na retronálise**

<b>Camada/Material</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Coefficiente Poisson</b>	<b>Aderência</b>
<b>Revestimento</b>	CBUQ Sondagem	0.3	Não Aderido
<b>Base</b>	Solo Sondagem	0.4	Não Aderido
	BGS Sondagem	0.4	Não Aderido
<b>Subleito</b>	Solo Infinita	0.45	Não Aderido

<sup>5</sup> Informação encontrada no “PRODUTO 3: LEVANTAMENTO DE CAMPO E MONITORAÇÃO - P03SP3-8R1 – Anexo 3 – Sondagem - Unidades Amostrais 1 a 50 – 2º ciclo” que contém os dados de sondagem realizados na campanha de monitoramento de 2014.

## 2.2.6 CORREÇÃO DO MÓDULO RETROANALISADO DAS CAMADAS ASFÁLTICAS PARA A TEMPERATURA DE 25 °C

O MeDiNa foi concebido com base em ensaios padronizados de laboratórios. Para a utilização do módulo de resiliência equivalente retroanalizado é necessária a correção em função da temperatura.

O ensaio defletoométrico de FWD é realizado em temperatura ambiente e devem ser registradas tanto a temperatura do ar, quanto a temperatura da superfície do pavimento asfáltico. Como a norma do ensaio de módulo de resiliência para misturas asfálticas DNIT 135/2018 – ME padroniza a temperatura de ensaio em 25 °C, esta foi a temperatura de referência para correção do módulo retroanalizado.

O processo adotado para a correção da temperatura foi desenvolvido por Andrade *et al.* (2024), que consistiu em: (i) realizar a retroanálise das bacias nas temperaturas originais de levantamento de campo usando o programa BackMeDiNa; (ii) calcular o gradiente térmico na espessura do revestimento asfáltico empregando a (2 do *Strategic Highway Research Program* (SHRP) (Mohseni, 1998) para cálculo da temperatura em profundidade intermediária e no fundo da camada, possibilitando com a leitura superficial o cálculo do gradiente térmico (na Figura 14 é exemplificado o gradiente térmico calculado em um dos casos com as unidades alteradas de Fahrenheit para Celsius); (iii) proceder à correção do módulo das duas subcamadas (superior e de fundo) pela equação do *Texas Department of Transportation* (TxDOT) (Chang *et al.*, 2014), (3, para a temperatura de referência de 25 °C (na Figura 15) são apresentados os resultados dos módulos corrigidos para um dos casos com as devidas transformação de psi para Mpa realizadas).

$$T_d = T_{surf} \times (1 - 0,063 \times d + 0,007 \times d^2 - 0,0004 \times d^3) \quad (2)$$

Onde:

$T$ : temperatura (° Fahrenheit)

$D$ : profundidade (polegadas)

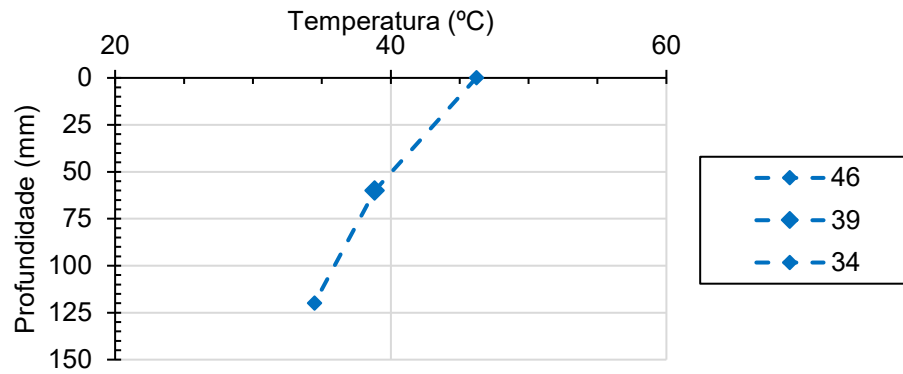


Figura 14 – Exemplo de gradiente térmico calculado de um dos casos analisados

$$E' = \frac{E_t \times T^{2,81}}{185,000} \tag{3}$$

Onde:

$T$ : temperatura (° Fahrenheit)

$E_t$ : módulo retroanalísado na temperatura  $T$  (psi)

$E'$ : módulo retroanalísado na temperatura 25 °C (psi)

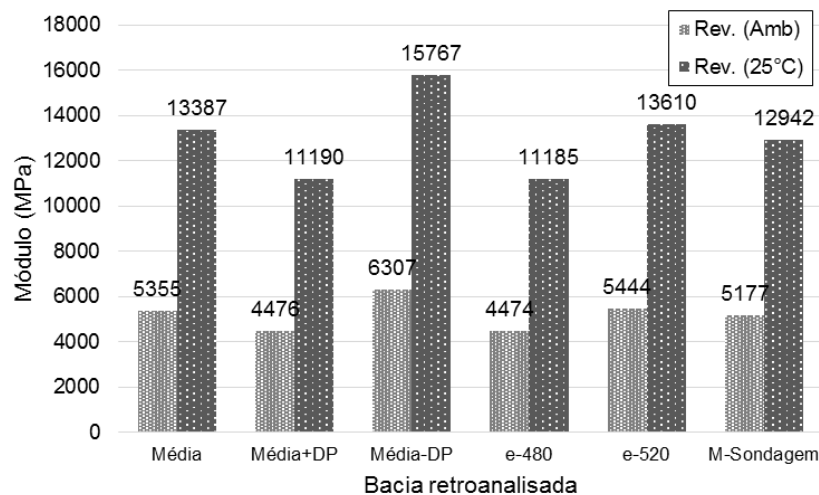


Figura 15 – Módulos de resiliência retroanalísados do revestimento asfáltico na temperatura ambiente e corrigidos a 25 °C

## 2.2.7 ESTUDO DOS DADOS DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL DO HDM-4

Com todos os dados levantados e organizados no padrão do programa MeDiNa, procedeu-se com a alimentação do *software* e as simulações de projetos. Com a ferramenta de “análise de estrutura”, existente no menu do programa, é possível realizar uma simulação de projeto com as espessuras constantes dos pavimentos cadastrados para cada uma das UA's. Dessa forma, foi realizada uma simulação a qual foi comparada com os resultados do monitoramento de campo.

As informações sobre a mistura asfáltica presentes nos relatórios de sondagens realizados pela pesquisa do HMD-4 eram escassas uma vez que fugia ao escopo do projeto de pesquisa em si, para que fossem utilizadas para simulação do MeDiNa que requer outra especificidade de informação das misturas asfálticas.

Dessa forma, na presente pesquisa optou-se por simular a estrutura considerando que a mistura asfáltica de campo se comportasse, quanto à fadiga, em uma das 4 classes de misturas asfálticas existentes no banco de dados do programa MeDiNa.

Inicialmente, como primeira etapa, realizaram-se simulações alimentando-se o MeDiNa com módulo da camada de revestimento asfáltico retroanalisado na temperatura ambiente.

A Figura 16 ilustra um exemplo dos resultados das simulações utilizando o MeDiNa para a previsão de área trincada, assumindo que o revestimento asfáltico se comporte de acordo com um dos modelos de fadiga presentes nas classes do banco de dados do MeDiNa. Ou seja, para cada caso, foram simulados para os 4 modelos de fadiga existentes no MeDiNa para analisar o que melhor representava a realidade de campo da pesquisa do HDM-4.

Ressalta-se que os módulos das demais camadas (base e subleito) são os mesmos em todas as simulações e foram obtidos na retroanálise. Observa-se que os dados com o programa MeDiNa são simulações com os dados de módulos de retroanálise (comportamento mecânico da estrutura), na temperatura de ensaio em campo, e FT DNIT 433 é a curva com a análise de frequência de área trincada determinada manualmente (segundo metodologia apresentada no item 2.2.3 deste relatório), analisando-se todas as ocorrências registradas nos relatórios da pesquisa do HDM-4.

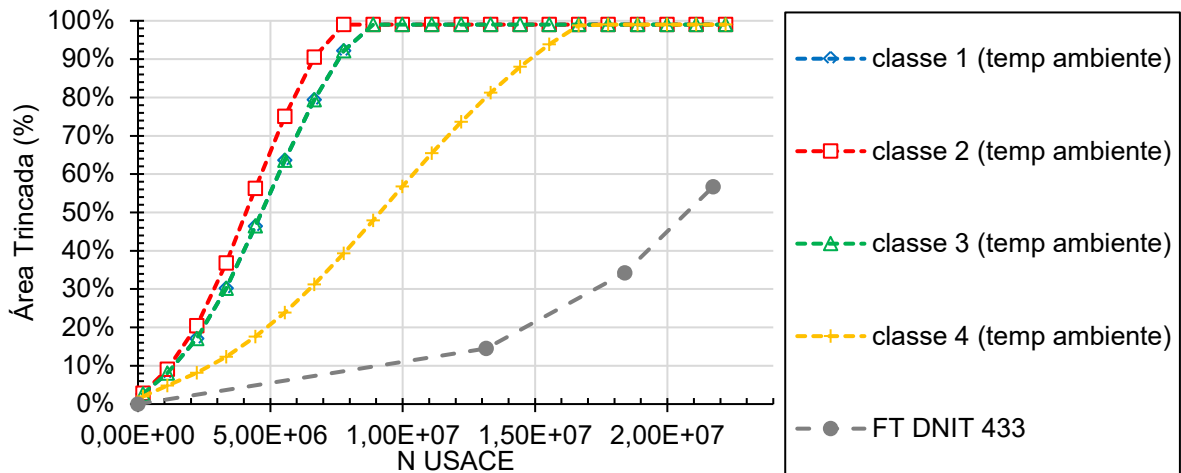


Figura 16 – Exemplo de resultado da simulação no programa MeDiNa comparado com as metodologias de área trincada para uma das UA's

### 2.2.8 ESTUDO DOS DADOS DE LEVANTAMENTO ESTRUTURAL DO HDM-4

Uma vez que não há nacionalmente um modelo único de correção de temperatura do módulo retroanalizado na temperatura ambiente para a temperatura padrão de 25 °C, nessa pesquisa decidiu-se por adotar o módulo de resiliência retroanalizado na temperatura ambiente de ensaio para se verificar a sensibilidade do programa MeDiNa quanto a este critério. Dessa forma, foram realizadas novas simulações da estrutura a fim de se estabelecer uma comparação dos resultados de campo com as simulações, adotando novamente os modelos de fadiga existentes no programa MeDiNa. A Figura 17 ilustra esse resultado.

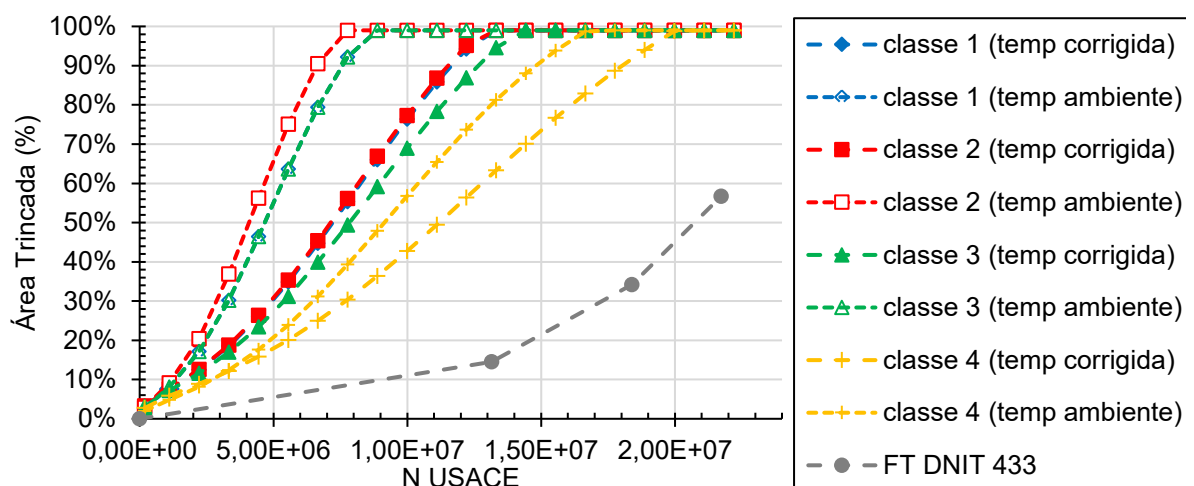


Figura 17 – Exemplo de resultado de simulação no programa MeDiNa comparando com o módulo retroanalizado na temperatura ambiente e na temperatura corrigida para uma das UA's

Ao se comparar a previsão de “área trincada” (na realidade frequência de área trincada) utilizando o MeDiNa com o módulo de *input* na temperatura ambiente, tem-se uma antecipação da ocorrência da fadiga e redução do tempo de vida da camada. Este resultado de sensibilidade do programa MeDiNa indica uma preocupação que se deve ter quando da utilização de dados de módulo de resiliência retroanalizados, demonstrando a necessidade do desenvolvimento de um método nacional para correção da temperatura.

Tendo em vista a riqueza de dados e o cuidado com que a equipe da pesquisa de calibração do HDM-4 teve, parte expressiva dos dados pode ser aproveitada na atual pesquisa.

Como na pesquisa de calibração do HDM-4 selecionaram-se trechos já construídos e monitoraram-se ao longo do tempo, coube à presente pesquisa verificar a compatibilidade dos dados para utilização da verificação de previsibilidade de comportamento do *software* MeDiNa. Acredita-se que os dados da pesquisa HDM-4 poderão embasar alterações futuras no programa Medina de modo a ampliar as análises de previsibilidade de comportamento.

### 2.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A aplicação da metodologia apresentada na Figura 1, para realização de coleta de informações no formato que atenda o banco de dados do MeDiNa, resultou em avaliações individualizadas para cada uma das 10 UA's selecionadas para os sentidos crescente (quilometragem crescente) e decrescente (quilometragem decrescente) das respectivas rodovias. Os resultados individualizados de cada uma das Unidades Amostrais são apresentados no Apêndice A.

### 3 ESTUDO DE COMPATIBILIDADE DE METODOLOGIAS DE LEVANTAMENTO DE ÁREA TRINCADA TOTAL, ÁREA TRINCADA E FREQUÊNCIA DE TRINCAMENTO

O procedimento de levantamento do defeito de “área trincada” em pavimentos pode ser feito por duas metodologias normatizadas pelo DNIT: (i) a norma DNIT 007/2003 – PRO, utilizada em levantamentos por amostragem, e (ii) o regulamentado pelo DNIT 433/2021 – PRO que, como explicado anteriormente neste relatório, traz a frequência de trincamento, obtido também de forma amostral, mas seguindo metodologia diferente da DNIT 007/2003 – PRO, e que serve de base para as previsões do programa Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa.

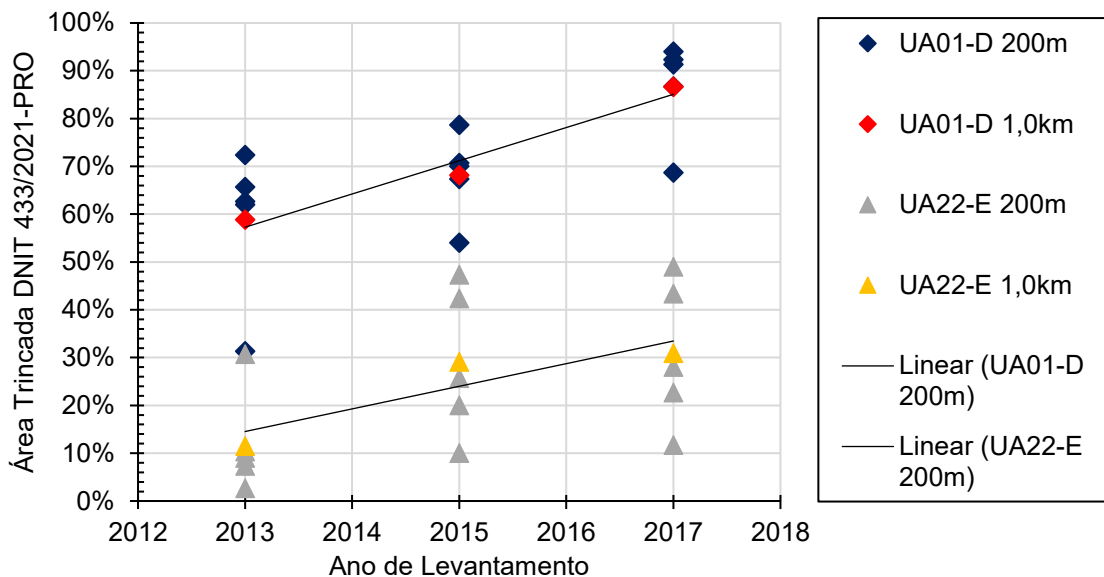
Há ainda o método utilizado pelo meio técnico internacional, que realiza o levantamento continuamente e levanta as áreas trincadas totais, que foi adotado na calibração do HDM-4, conforme apresentado no item 2.2.3.

Uma vez que esses procedimentos são realizados seguindo métodos distintos, os resultados apontados pelos levantamentos acabam apresentando divergências, como foram mostradas nos itens 2.2.7 e 2.2.8, anteriores.

Dessa forma, realizou-se um estudo de comparação entre os resultados das três formas de levantamento de área trincada, e foram elaborados modelos de *Shift Model* que possibilitam a transformação de resultados entre as metodologias levantadas no item 2.2.3. Com isso, as previsões apresentadas pelo programa MeDiNa podem ser comparáveis com os resultados de outros levantamentos.

### 3.1 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TAMANHO DO SEGMENTO NA DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO ÁREA TRINCADA

A norma DNIT 433/2021 – PRO determina um procedimento de levantamento de defeitos de pavimentos a ser realizado em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão. Por esta razão foram avaliados os resultados de duas formas: (i) considerando o levantamento sendo realizado na extensão total de cada uma das UA's, ou seja, extensão de 1,0 km; e (ii) subdividindo cada UA's em 5 segmentos de 200 m. A Figura 18 mostra o resultado comparativo dos levantamentos realizados considerando as duas extensões, 200 m e 1,0 km, para duas UA's que apresentaram valores expressivos de frequência de trincamento.



**Figura 18 – Resultado comparativo de levantamentos de frequência de trincamento para extensões de 200 m e 1,0 km**

Ao se traçar a linha de tendência dos resultados dos levantamentos realizados na extensão de 200 m, percebeu-se que o resultado do levantamento realizado na extensão de 1,0 km se encontrava muito próximo ao valor de tendência médio dos trechos de 200 m. Porém, há de se observar que os trechos de 200 m de extensão são diferentes entre si, embora estejam com a mesma estrutura de pavimento.

Duas observações devem ser ressaltadas: (i) a realização do levantamento na extensão de 1,0 km não influencia significativamente no resultado deste procedimento se considerar a média dos trechos de 200 m de extensão; e (ii) os resultados mostram que a metodologia de frequência de trincamento leva a registros muitas vezes diferenciados entre os trechos, o que não reflete necessariamente comportamentos mecânicos muito diferenciados.

### 3.2 COMPARAÇÃO ENTRE O PROCEDIMENTO DNIT 007/2003 – PRO E DNIT 433/2021 – PRO

Foi realizada correlação dos resultados de levantamento de defeitos segundo as normas DNIT 007/2003 – PRO e DNIT 433/2021– PRO. A Figura 19 apresenta a correlação entre os resultados obtidos pelas duas metodologias. Pela razão demonstrada no item 3.1, consideraram-se os resultados dos levantamentos realizados em toda a extensão das UA's, considerando um único segmento homogêneo. Este estudo foi realizado para as 10 UA's da Pesquisa do Projeto do HDM-4, computando-se todos os resultados obtidos em todo período de levantamento.

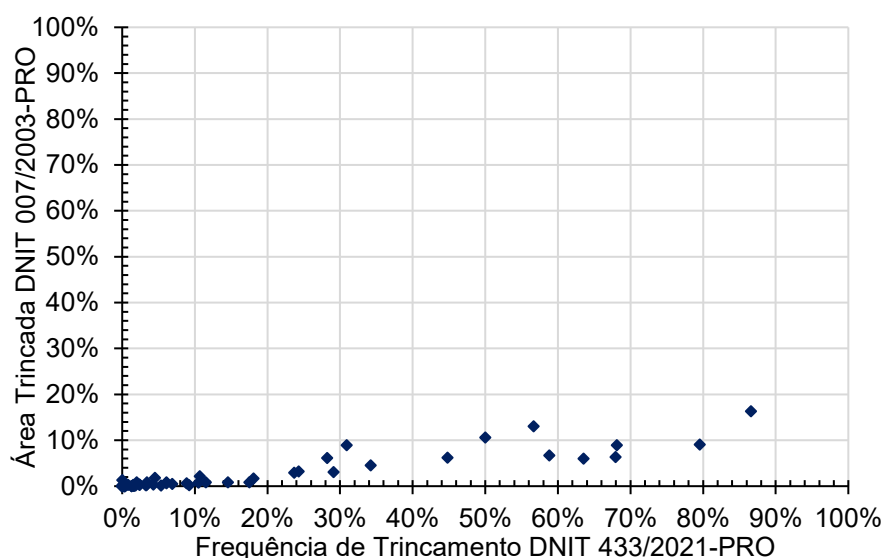


Figura 19 – Comparação entre área trincada e frequência de trincamento

A comparação entre as duas metodologias demonstrou que o levantamento realizado pela norma DNIT 433/2021 – PRO pode chegar a ser até 10 vezes superior ao realizado pela norma DNIT 007/2003 – PRO. Com a regressão numérica realizada com os todos dados disponíveis nos relatórios da pesquisa do HDM-4, obteve-se a (4, com  $R^2$  de 0,84. A aplicação dessa equação possibilita a visualização dos resultados simulados pelo MeDiNa em termos de “Área Trincada” segundo a norma DNIT 007/2003 – PRO.

$$AT = 0,0046 \times FT^2 + 0,1408 \times FT \quad (4)$$

Onde:

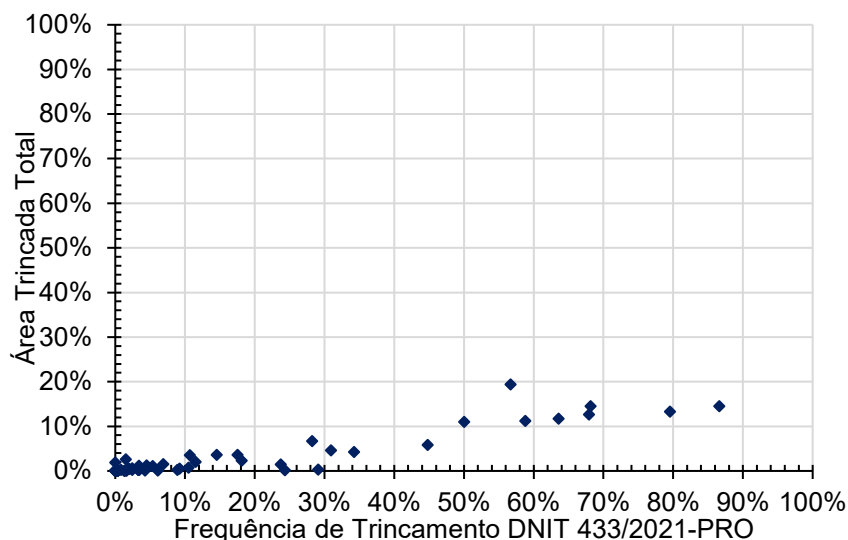
*AT*: Dado de área trincada segundo a DNIT 007/2003 – PRO

*FT*: Dado de frequência de trincamento segundo a DNIT 433/2021 – PRO

Deve-se ressaltar que esta equação foi obtida com os dados da pesquisa de calibração do HDM-4, e que sua aplicação não deve ser feita de forma indiscriminada, podendo implicar em variações a depender do tipo de estrutura de pavimento, clima, tráfego, tipos de materiais, etc.

### 3.3 COMPARAÇÃO ENTRE O PROCEDIMENTO ÁREA TRINCADA TOTAL E FREQUÊNCIA DE ÁREA TRINCADA PELA DNIT 433/2021 – PRO

Da mesma forma que na seção 3.2, foi realizada correlação entre os levantamentos de área trincada total empregada na pesquisa HDM-4, seguindo metodologia internacional, e a frequência de trincamento pela norma DNIT 433/2021 – PRO. A Figura 20 apresenta os pontos da comparação entre os levantamentos com todos os pontos obtidos a partir do levantamento de dados das UA's na pesquisa do HDM-4.



**Figura 20 – Comparação entre área trincada total e frequência de trincamento**

A partir da regressão numérica dos dados apresentados, obteve-se a (5) que correlaciona os dados de Frequência de Trincamento para Área Trincada Total com um  $R^2$  de 0,86. Esta equação de *Shift Model* possibilita que os resultados da simulação do incremento da área trincada obtida pelo MeDiNa, seja comparável com os dados dos levantamentos realizados pela equipe de calibração do HDM-4.

$$AT = 0,0504 \times FT^2 + 0,1526 \times FT \tag{5}$$

Onde:

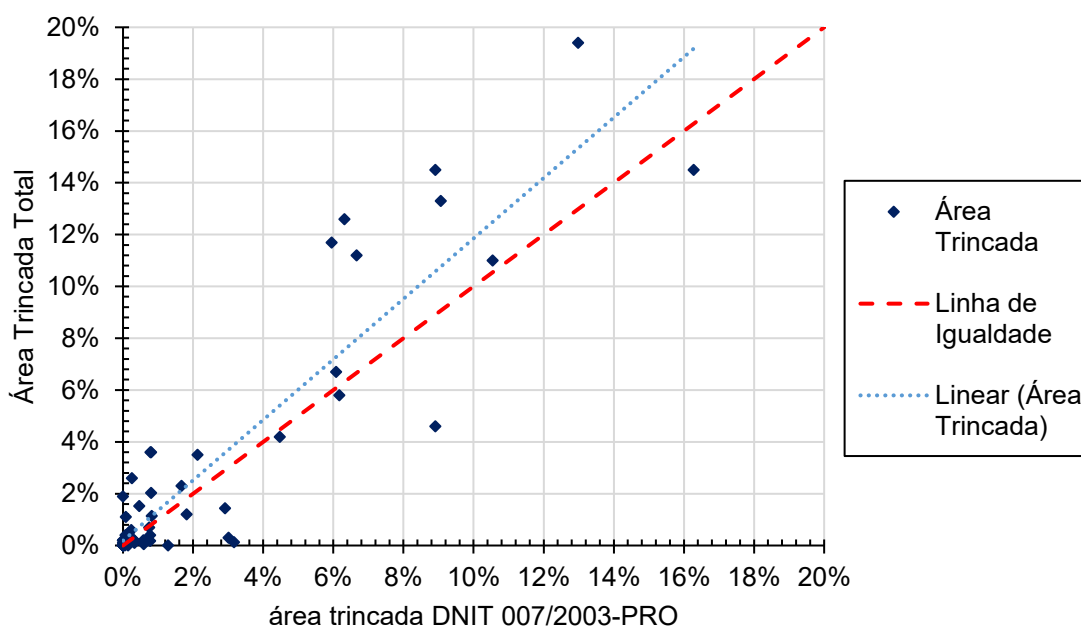
*ATT*: Dado de Área Trincada Total

*FT*: Dado de frequência de trincamento segundo a DNIT 433/2021– PRO

Deve-se ressaltar novamente que esta equação foi obtida com os dados da pesquisa de calibração do HDM-4, e que sua aplicação não deve ser feita de forma indiscriminada, podendo implicar em variações a depender do tipo de estrutura de pavimento, clima, tráfego, tipos de materiais, etc.

### 3.4 COMPARAÇÃO ENTRE O PROCEDIMENTO ÁREA TRINCADA TOTAL E DNIT 007/2003 – PRO

Tendo em vista que existem três metodologias concorrentes para a determinação de área trincada, também se realizou a correlação entre os levantamentos de área trincada total (método internacional empregado no HDM-4) e área trincada amostral segundo a norma DNIT 007/2003 – PRO. A Figura 21 apresenta o resultado comparativo entre as duas metodologias.



**Figura 21 – Comparação entre área trincada total (métodos internacionais) e área trincada amostral pela norma DNIT 007/2003 – PRO**

A correlação entre as duas metodologias demonstrou que há uma proximidade entre os resultados. Os levantamentos realizados aplicando-se a norma DNIT 007/2003 – PRO tendem a ser levemente mais baixos que os realizados em toda a área do segmento, ou seja, considerando todas as ocorrências (método internacional empregado no relatório HDM-4).

Deve-se ressaltar, ainda neste caso, que esta similaridade foi obtida com os dados da pesquisa de calibração do HDM-4, e que sua extensão de resultados não deve ser feita de forma indiscriminada, podendo implicar em variações a depender do tipo de estrutura de pavimento, clima, tráfego, tipos de materiais, etc.

### 3.5 APLICAÇÃO DOS SHIT MODELS

A aplicação dos *Shift Model* (4 e (5, obtidas nos itens 3.2 e 3.3, possibilitou a compatibilização dos valores de Frequência de Trincamento simulados pelo programa MeDiNa com os parâmetros de Área Trincada segundo a norma DNIT 007/2003 – PRO e de Área Trincada Total (método internacional empregado na pesquisa do HDM-4). Essas transformações permitem verificar a previsibilidade do MeDiNa em relação a metodologias de levantamento de trincamento mais consolidadas no meio técnico. As equações foram aplicadas para as 10 UA's selecionadas, nos sentidos crescente e decrescente, seguindo divisões apresentadas no item 2, e os resultados individualizados são apresentados no Apêndice A.

## 4 VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE PREDITIVA DO MeDiNa

Com o objetivo de avaliar a previsibilidade do programa MeDiNa em relação à estimativa de trincamentos nos pavimentos, foram avaliados os dados simulados pelo MeDiNa aplicando-se as equações de *Shift Model* obtidas no item 3 anterior, e os dados obtidos segundo metodologias de levantamento do trincamento. A técnica da ANOVA de fator único foi aplicada para verificação de diferenças estatística entre os dados simulados e os dados reais.

### 4.1 MODELO ANOVA

A ANOVA é um teste estatístico, que analisa a variância entre variáveis, que testa a hipótese de que as médias de dois ou mais grupos de variáveis são iguais ou diferentes, a partir da validação da hipótese nula ( $H_0$ ) de que todas as médias dos grupos são iguais.

A ANOVA determina 3 parâmetros: (i)  $p$ -valor, que representa a probabilidade de observar os dados assumindo que o  $H_0$  é verdadeiro, se o  $p$ -valor for maior que  $\alpha$  (geralmente  $\alpha = 0,05$ ); (ii)  $F$  crítico, corresponde ao nível de significância de  $\alpha$  e os graus de liberdade da amostra, e é usado para avaliar o  $F$ ; e (iii)  $F$ , representa a razão entre as variabilidades dos grupos, quanto menor o valor de  $F$ , menor a variabilidade entre os grupos, se  $F > F$  crítico, então se rejeita  $H_0$ .

A avaliação foi realizada verificando se ocorre a aceitação da hipótese nula de que todos os dados (reais e simulados) apresentam a mesma média. Caso a hipótese seja aceita, a utilização do MeDiNa foi apta estatisticamente a prever o comportamento do trincamento da UA, não apresentando uma diferença significativa entre os dados reais e os simulados. Caso a hipótese seja rejeitada, a utilização do MeDiNa não foi apta estatisticamente a prever o comportamento do trincamento da UA, apresentando uma diferença significativa entre os dados reais e os simulados.

## 4.2 AVALIAÇÃO DE PREVISIBILIDADE

A norma DNIT 007/2003 – PRO é o método de avaliação de trincamento mais consolidado pelo meio técnico, por essa razão a avaliação de previsibilidade do programa MeDiNa foi realizada para os resultados de trincamento obtidos com a aplicação desta norma e os dados simulados com a aplicação da (4 de *Shift Model*).

A avaliação da previsibilidade foi realizada em duas etapas. A primeira considera que não é possível determinar qual é a classe da mistura asfáltica utilizada na construção da camada de revestimento de cada uma das UA's, e assim consistiu em verificar se há variância significativa entre os dados reais e os dados simulados para todas as classes de mistura asfáltica disponíveis no programa MeDiNa.

Na segunda avaliou-se a previsibilidade com base na simulação que apresentou a menor discrepância em relação aos dados reais, para isso, calculou-se a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) entre os valores reais e os simulados, identificando-se, assim, a classe de mistura asfáltica que mais se aproximou do comportamento real do pavimento em cada UA.

Os resultados dessa análise estão apresentados na Tabela 4. Em ambos os casos, os valores em negrito representam os casos em que há a rejeição da hipótese nula ( $H_0$ ).

Tabela 4 – Verificação da variância considerando as duas etapas de avaliação

UA	1ª ETAPA				2ª ETAPA			
	F	valor-P	F crítico	$\alpha$	F	valor-P	F crítico	$\alpha$
UA01-BR101-D	3.295	0.0574	3.478	0.05	0.084	0.7865	7.709	0.05
UA01-BR101-E	<b>8.234</b>	<b>0.0033</b>	3.478	0.05	0.646	0.4666	7.709	0.05
UA10-BR116-D	2.592	0.1011	3.478	0.05	2.279	0.2056	7.709	0.05
UA10-BR116-E	<b>5.645</b>	<b>0.0122</b>	3.478	0.05	<b>16.539</b>	<b>0.0153</b>	7.709	0.05
UA13-BR020-D	1.802	0.2051	3.478	0.05	7.260	0.0544	7.709	0.05
UA13-BR020-E	0.401	0.8036	3.478	0.05	0.651	0.4651	7.709	0.05
UA18-BR364-D	2.303	0.1298	3.478	0.05	<b>10.264</b>	<b>0.0328</b>	7.709	0.05
UA18-BR364-E	<b>4.030</b>	<b>0.0336</b>	3.478	0.05	<b>17.318</b>	<b>0.0141</b>	7.709	0.05
UA19-BR364-D	2.283	0.1321	3.478	0.05	<b>10.272</b>	<b>0.0327</b>	7.709	0.05
UA19-BR364-E	2.592	0.1011	3.478	0.05	<b>9.776</b>	<b>0.0353</b>	7.709	0.05
UA21-BR364-D	<b>20.099</b>	<b>0.0001</b>	3.478	0.05	<b>29.534</b>	<b>0.0056</b>	7.709	0.05
UA21-BR364-E	<b>23.005</b>	<b>0.0000</b>	3.478	0.05	<b>53.067</b>	<b>0.0019</b>	7.709	0.05
UA22-BR364-D	<b>9.351</b>	<b>0.0021</b>	3.478	0.05	<b>35.497</b>	<b>0.0040</b>	7.709	0.05
UA22-BR364-E	1.483	0.2787	3.478	0.05	0.147	0.7209	7.709	0.05
UA41-BR020-D	<b>4.632</b>	<b>0.0225</b>	3.478	0.05	<b>8.947</b>	<b>0.0403</b>	7.709	0.05
UA41-BR020-E	<b>4.115</b>	<b>0.0317</b>	3.478	0.05	<b>22.101</b>	<b>0.0093</b>	7.709	0.05
UA48-BR282-D	<b>3.489</b>	<b>0.0496</b>	3.478	0.05	1.945	0.2356	7.709	0.05
UA48-BR282-E	<b>7.150</b>	<b>0.0055</b>	3.478	0.05	4.654	0.0972	7.709	0.05
UA49-BR282-D	1.107	0.4053	3.478	0.05	3.413	0.1384	7.709	0.05
UA49-BR282-E	2.139	0.1502	3.478	0.05	2.393	0.1968	7.709	0.05

### 4.3 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Considerando os resultados apresentados nas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Tabela 4, foi possível verificar 4 cenários de resultados:

- (i) Aceitação da hipótese nula em ambas as etapas que ocorre em 7 casos dos 20 estudados, indicando que o MeDiNa foi apto a prever o comportamento do trincamento;
- (ii) Rejeição da hipótese nula em ambas as etapas, que ocorre em 7 de 20 casos, indicando que o MeDiNa não foi apto a prever o trincamento;
- (iii) Aceitação da hipótese nula na primeira etapa e rejeição na segunda, em 3 dos 20 casos; evidência que o MeDiNa foi capaz de indicar o comportamento do trincamento sem adequação da UA em uma classe em específico; e

- (iv) Rejeição da hipótese nula na primeira etapa e aceitação na segunda, em 3 dos 20 casos, mostrando que as 4 classes de revestimento asfáltico não indicam o comportamento da UA.

Portanto, o estudo mostra que se pôde verificar a previsibilidade de trincamento pelo MeDiNa de alguns casos dentre as 10 UA's, que foram desmembradas em 20 UA's, uma decrescente e uma crescente em cada unidade.

Verifica-se que ainda se faz necessária a calibração dos modelos do MeDiNa, pelo menos nos casos estudados de trechos da pesquisa do HDM-4. A ampliação da realização de trechos monitorados e realização de ensaios de campo e de laboratório são importantes etapas para aperfeiçoar o MeDiNa para aumento da confiabilidade de previsão da área trincada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do banco de dados do DNIT usado para calibrar o HDM-4 possibilitou compreender profundamente a influência dos conceitos usados no desenvolvimento do programa MeDiNa. O banco de dados é uma importante fonte de informações, que podem contribuir em diversos outros estudos, entretanto, infelizmente, não apresenta informações de caracterização dos materiais que são necessárias para a calibração da função de transferência do MeDiNa. Não obstante, os dados de estrutura e resultados de levantamentos funcionais e estruturais possibilitaram a avaliação da previsibilidade do programa MeDiNa.

Para alimentar o MeDiNa, foi realizado um estudo de compatibilização dos dados. Os esforços resultaram na possibilidade de simulação de 10 Unidades Amostrais (UA's) de pavimentos rodoviários asfálticos, com revestimentos em Concreto Asfáltico, do banco de dados do HDM-4, as quais foram usadas para o desenvolvimento das verificações de previsibilidade de trincamento.

Os resultados das previsões de trincamento apresentam grande influência com relação ao módulo de resiliência equivalente da camada asfáltica. Dessa forma, os dados de alimentação do MeDiNa devem ser padronizados, indicando-se assim a necessidade de um procedimento para realização de correção do módulo de resiliência retroanalisado da camada asfáltica, em função da temperatura de execução do ensaio deflectométrico de campo, como no caso do uso do FWD.

O MeDiNa foi desenvolvido a partir de levantamento de área trincada segundo a norma DNIT 433/2021– PRO. Dessa forma, o programa realiza previsões de defeitos considerando a forma de levantamento desta norma.

Os estudos realizados demonstram diferenças consistentes e relevantes entre os levantamentos realizados pela norma DNIT 433/2021 – PRO e os realizados pela norma DNIT 007/2003 – PRO e com o levantamento contínuo de Área Trincada Total. *Shift Models* foram desenvolvidos para compatibilizar os métodos de levantamento de área trincada. A expectativa é que os modelos possam ser usados para alterar a forma de saída do programa, apresentando resultados segundo os métodos mais usuais no meio técnico.

Os resultados das previsões de área trincada do programa MeDiNa mostram alguns sucessos em algumas unidades amostrais e diferenças significativas em outras, mesmo considerando a correção do módulo de resiliência do revestimento da camada asfáltica em função da temperatura e a aplicação dos *Shift Models* para compatibilizar a forma de levantamento de área trincada com a norma utilizada pelo programa.

Salienta-se que as informações disponíveis eram incompletas, principalmente em relação as propriedades de deformabilidade e fadiga da camada de revestimento asfáltico. Na ausência destas informações, as análises aqui apresentadas foram realizadas assumindo-se classes de misturas e os parâmetros embutidos no programa. Isto explica em parte as dificuldades de previsão apontadas anteriormente. Acima de tudo, a ausência destas informações prejudica a inclusão dos dados obtidos para a validação e expansão da Função de Transferência atualmente codificada no MeDiNa.

O presente estudo foi de elevada relevância para detectar problemas nos métodos de determinação de área trincada, das questões de consideração dos módulos de resiliência das camadas levando-se em consideração a temperatura de ensaio de campo e a necessidade de correção da mesma para uma temperatura de referência, bem como a necessidade de dar continuidade às pesquisas para aperfeiçoamento dos modelos de desempenho empregados no MeDiNa, de modo a se ter um método de dimensionamento nacional que possa ser mais amplamente aplicado.

A ampliação da realização de trechos monitorados e realização de ensaios de campo e de laboratório são importantes etapas para aperfeiçoar o MeDiNa para aumento da confiabilidade de previsão da área trincada.

## APÊNDICE A

### 1 RESULTADOS DOS TRECHOS ANALISADOS

Os trechos selecionados para análise segundo o programa MeDiNa foram apresentados na Tabela 1, e serão detalhados a seguir, apresentando as características de localização e estruturas da UA's, dados de tráfego, resultados das retroanálises realizadas e as simulações utilizando o MeDiNa.

#### 1.1 BR101/BA/304,600/PS/UA01/FLEX/IMP

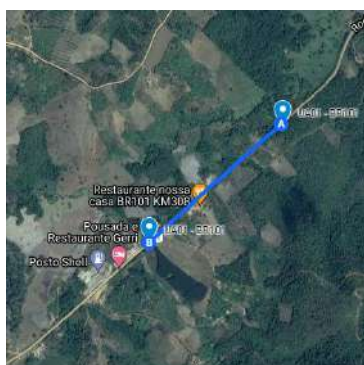
- Localização e espessura

A UA01 é localizada na unidade local de Cruz das Almas, no estado da Bahia com um quilômetro de extensão. A Figura AP 1 mostra fotos do local realizadas no primeiro ano de levantamento (2013), com os dados da localização geográfica do trecho, incluindo as fotografias das sondagens realizadas em campo no levantamento do ano de 2014, e as espessuras das camadas e os respectivos materiais.



Unidade de Amostragem 1:  
 Km 304+600 Km 305+600  
 BR 101  
 Unidade Federal: Bahia  
 Unidade Local: Cruz das Almas  
 Data do levantamento: 15-20 Abril/2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	23
Base	Solo compactado	72
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura 22 – Trecho experimental BR101/BA/304,600/PS/UA01/Flex/Imp

- Tráfego

Com base nos levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017, calculou-se o número  $N$  nestes anos, apresentados nas Tabela AP 1 para a pista crescente e Tabela AP 2 para a pista decrescente. Com base no cálculo apresentado no item 2.2.2, determinaram-se os valores de  $N$  para em 2015 e para o primeiro ano do trecho experimental.

**Tabela AP 1 –  $N$  acumulado do trecho BR101/BA/304,600/CR/PS/UA01/Flex/Imp**

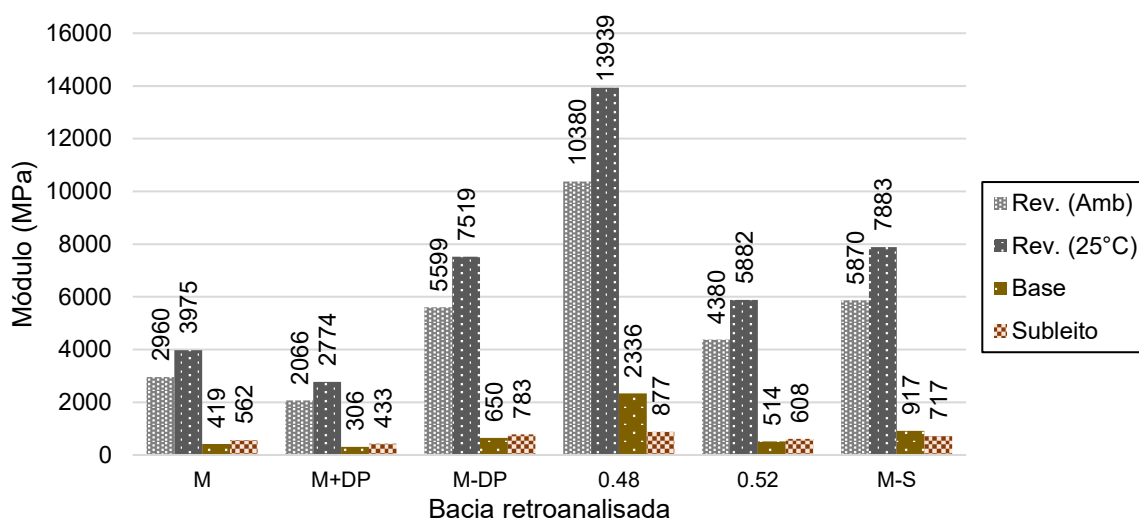
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	$N$ Acumulado (ESALF)	$N$ Acumulado (AASHTO)	$N$ Acumulado (USACE)
2000	1.0	12	8.30E+05	5.13E+05	2.34E+06
2013	13.0	156	1.03E+07	6.36E+06	2.90E+07
2014	14.0	168	1.15E+07	7.02E+06	3.27E+07
2015	15.0	180	1.25E+07	7.61E+06	3.57E+07
2016	16.0	192	1.33E+07	8.14E+06	3.78E+07
2017	17.0	204	1.41E+07	8.67E+06	3.98E+07

**Tabela AP 2 –  $N$  acumulado do trecho BR101/BA/304,600/DE/PS/UA01/Flex/Imp**

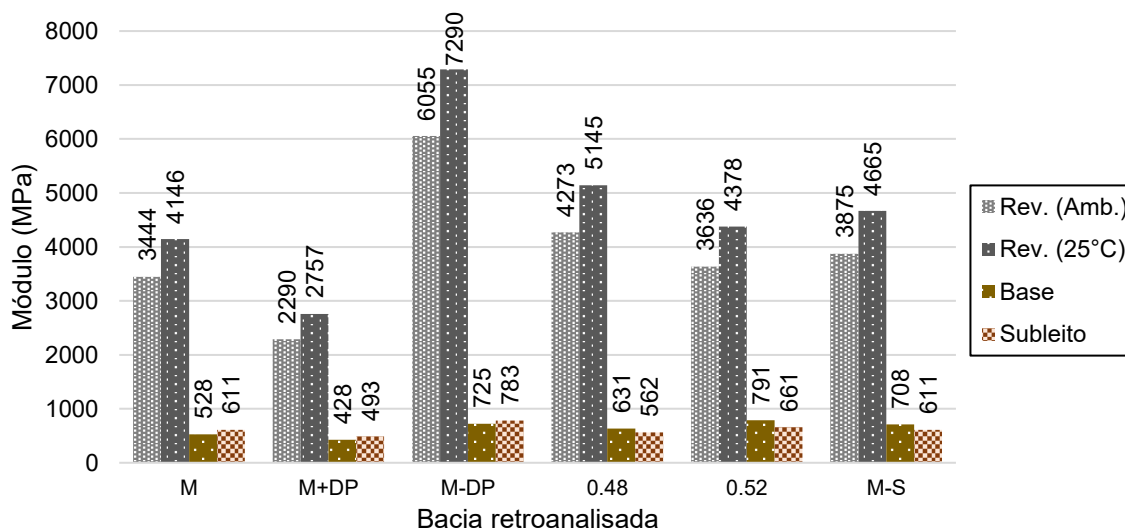
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	$N$ Acumulado (ESALF)	$N$ Acumulado (AASHTO)	$N$ Acumulado (USACE)
1999	1.0	12	8.28E+05	5.12E+05	2.33E+06
2013	14.0	168	1.11E+07	6.86E+06	3.12E+07
2014	15.0	180	1.23E+07	7.51E+06	3.50E+07
2015	16.0	192	1.33E+07	8.11E+06	3.79E+07
2016	17.0	204	1.41E+07	8.64E+06	4.01E+07
2017	18.0	216	1.49E+07	9.16E+06	4.21E+07

- Retroanálise

Os resultados da retroanálise realizada para o levantamento de FWD do ano de 2013 são apresentados na Figura AP 2 (a) para a pista crescente e na Figura AP 2 (b) para a pista da decrescente, seguindo as metodologias apresentadas nos itens 2.2.5 para retroanálise e 2.2.6 para correção da temperatura.



(a) BR101/BA/304,600/CR/PS/UA01/Flex/Imp



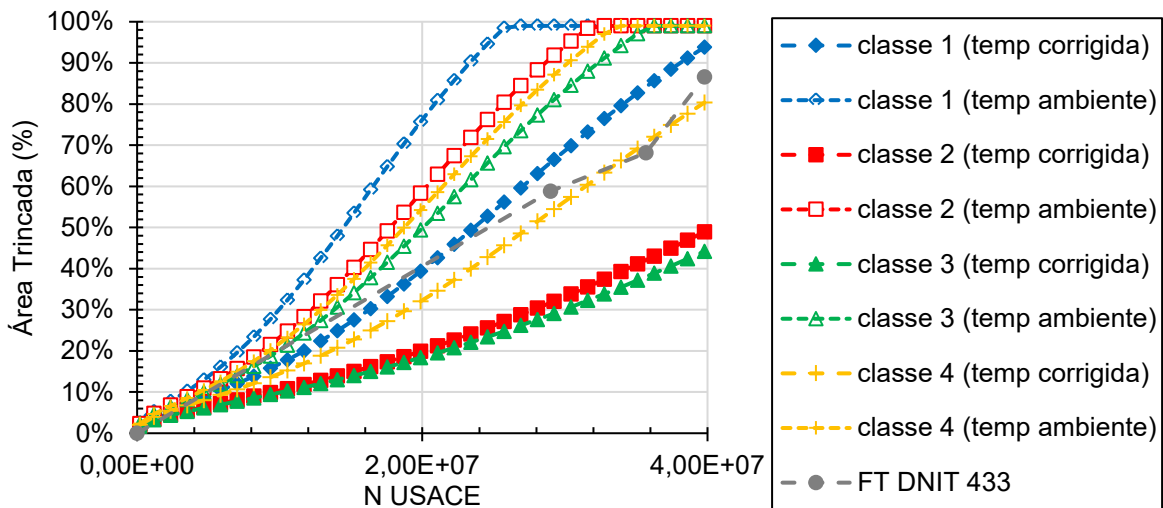
(b) BR101/BA/304,600/DE/PS/UA01/Flex/Imp

Figura AP 2 – Módulos retroanalizados para UA01

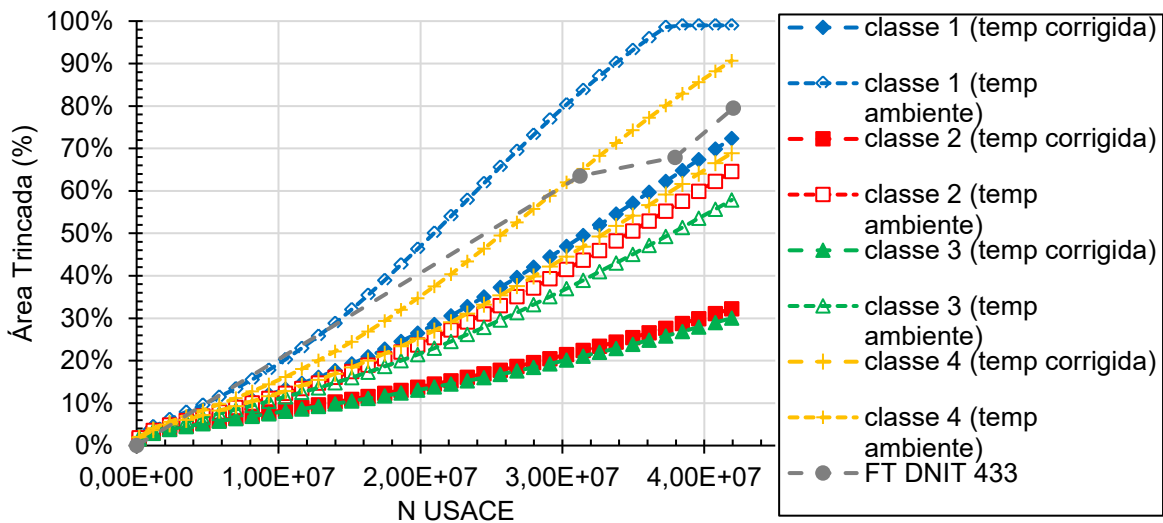
- Simulação de desempenho MeDiNa

Seguindo a metodologia apresentada no item 2.2, foram levantadas as informações necessárias para realizar a avaliação de projetos com base na previsão de progressão de área trincada do trecho, utilizando o *software* MeDiNa. Os resultados são apresentados na Figura AP 3 (a) para a pista com quilometragem crescente e Figura AP 3 (b) para a pista com quilometragem decrescente.

Foram consideradas as 4 classes de misturas asfálticas para os modelos de fadiga do revestimento com os módulos de resiliência da camada retroanalizados (identificado pelas curvas “temp ambiente”) e com correção em função da temperatura (identificado pelas curvas “temp corrigida”). O resultado de previsão de frequência de trincamento levantado segundo a metodologia da norma DNIT 433/2021 – PRO “FT DNIT 433”.



(a) BR101/BA/304,600/CR/PS/UA01/Flex/IMP

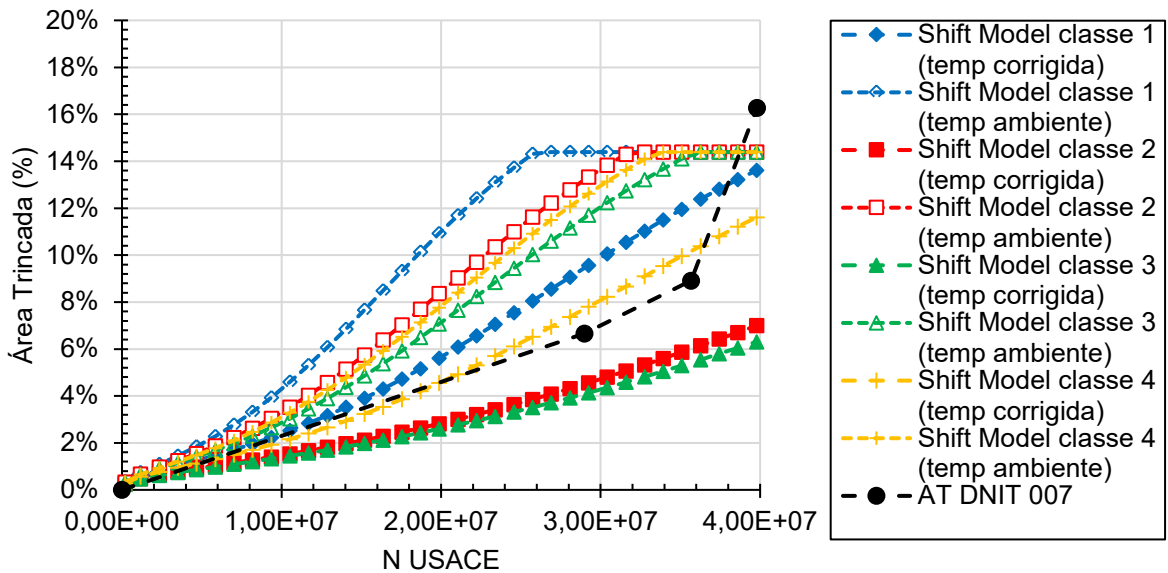


(b) BR101/BA/304,600/DE/PS/UA01/Flex/IMP

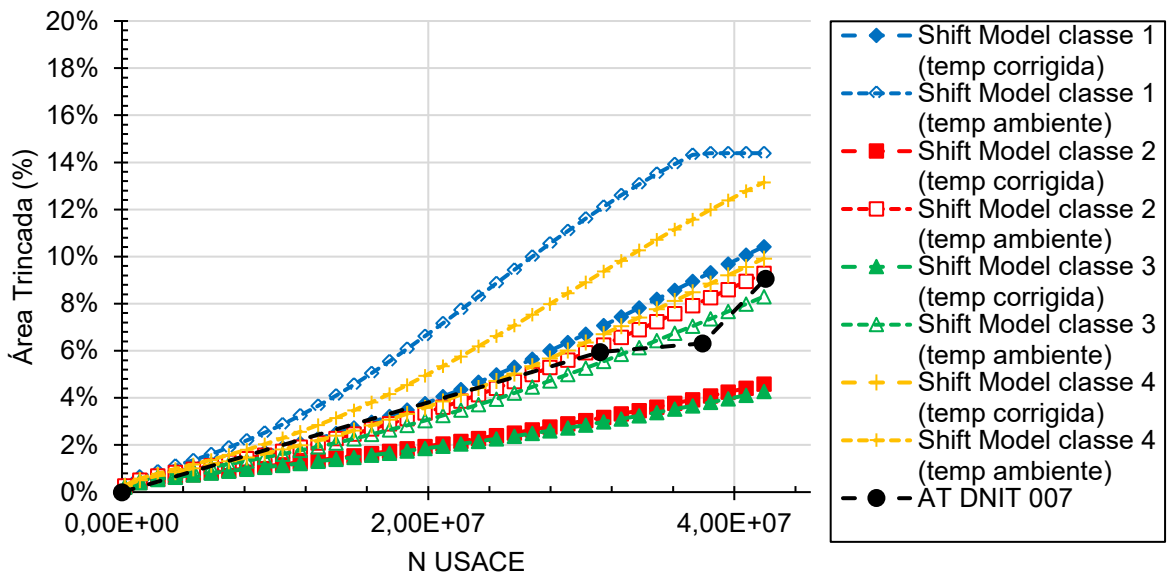
**Figura AP 3 – Previsão de frequência de trincamento para UA01**

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Os resultados das simulações realizadas com o MeDiNa aplicando o *Shift Model* da Equação 4 são apresentados na Figura AP 4 (a) para a pista do sentido crescente, e na Figura AP 4 (b) para a pista do sentido decrescente.



(a) BR101/BA/304,600/CR/PS/UA01/Flex/Imp

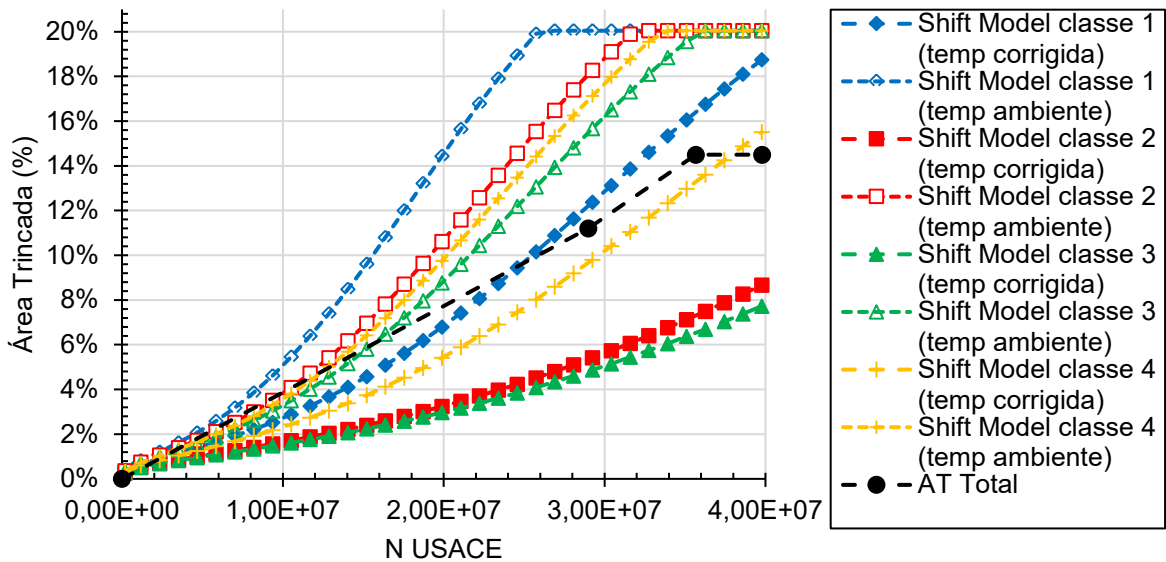


(b) BR101/BA/304,600/DE/PS/UA01/Flex/IMP

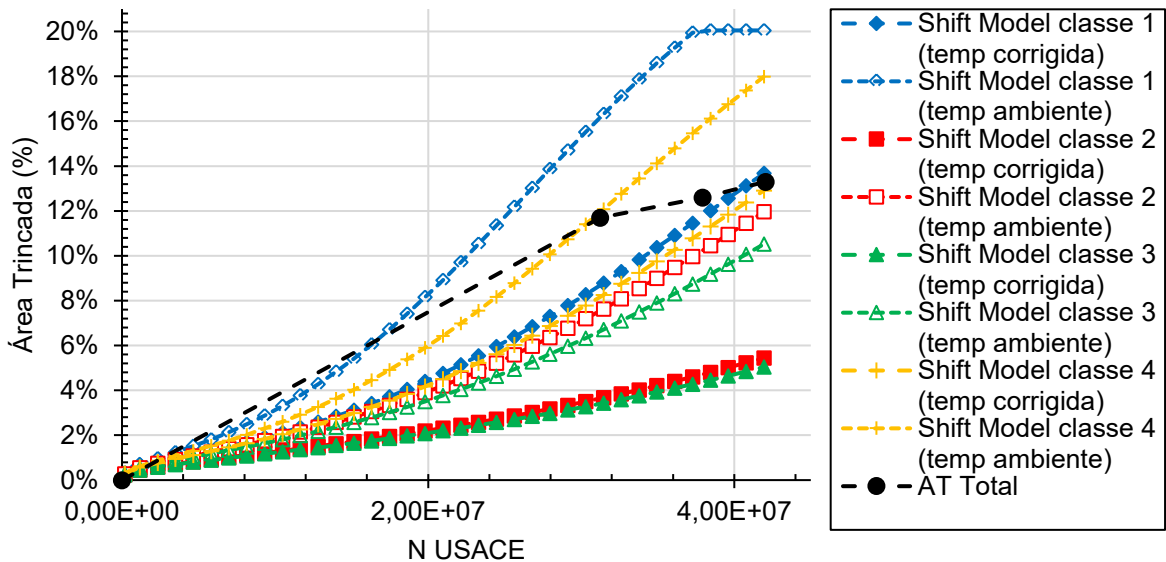
Figura AP 4 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA01

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Os resultados das simulações realizadas no MeDiNa aplicando o *Shift Model* da Equação 5 são apresentados na Figura AP 5 (a) para a pista crescente, e na Figura AP 5 (b) para a pista decrescente.



(a) BR101/BA/304,600/CR/PS/UA01/Flex/Imp



(b) BR101/BA/304,600/DE/PS/UA01/Flex/IMP

Figura AP 5 – Previsão de Área Trincada Total para UA01

## 1.2 BR116/CE/422,100/PS/UA10/FLEX/IMP

- Localização e espessura

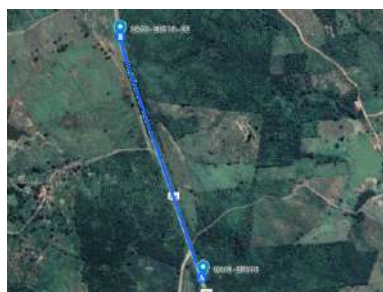
A UA10 encontra-se na unidade local de Icó, localizada no estado do Ceará, abrangendo uma extensão de um quilômetro. Conforme apresentado na Figura AP 6, são disponibilizadas imagens do local referentes ao primeiro ano do levantamento em 2013, bem como informações sobre a localização geográfica do trecho, fotografias das sondagens realizadas em campo durante o levantamento do ano de 2014, além das espessuras das camadas e os materiais correspondentes.



Unidade de Amostragem 10:  
 Km 422+1000 – Km 422+2000  
 BR 116  
 Unidade Federal: Ceará  
 Unidade Local: Icó

Data do levantamento: 22-25 de Maio de 2013  
 Vale salientar que a localização corresponde aos quilométricos existentes.

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	14
Base	Solo compactado	29
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 6 – Trecho experimental 1.2 BR116/CE/422,100/PS/UA10/FLEX/IMP

- Tráfego

A Tabela AP 3, para a pista crescente, apresenta a evolução do tráfego entre os anos de 2007 e 2017, e a Tabela AP 4, para a pista decrescente, apresenta a evolução do tráfego entre os anos de 2008 e 2017. Ambas trazem os levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizadas nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 3 – N acumulado do trecho BR116/CE/422,100/CR/PS/UA10/Flex/Imp**

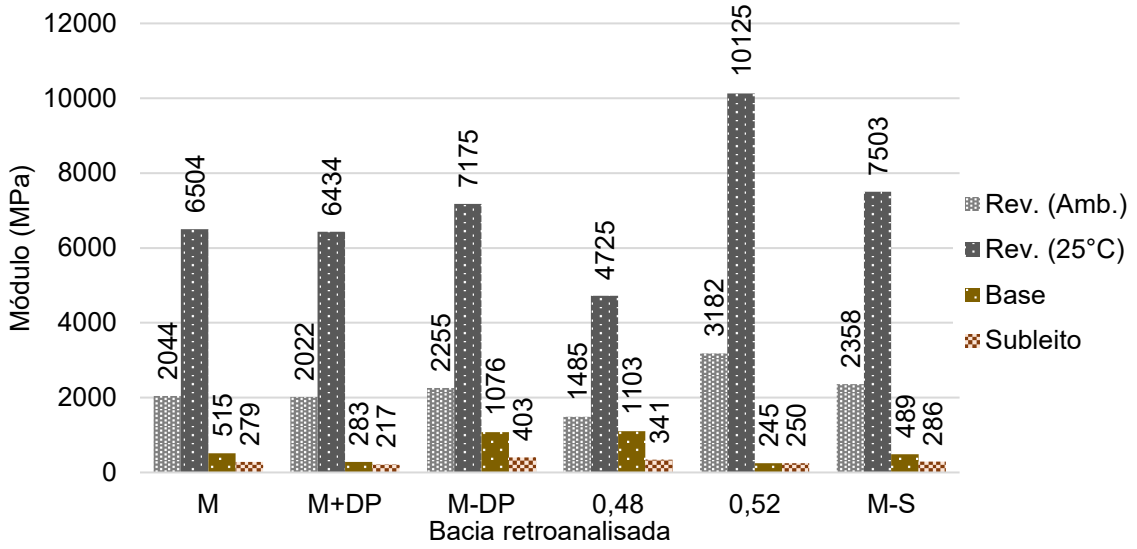
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2007	1,0	12	9,35E+05	5,13E+05	2,41E+06
2013	6,0	72	5,29E+06	2,90E+06	1,36E+07
2014	7,0	84	6,62E+06	3,58E+06	1,77E+07
2015	8,0	96	7,56E+06	4,08E+06	2,04E+07
2016	9,0	108	8,10E+06	4,39E+06	2,16E+07
2017	10,0	120	8,84E+06	4,82E+06	2,32E+07

**Tabela AP 4 – N acumulado do trecho BR116/CE/422,100/DE/PS/UA10/Flex/Imp**

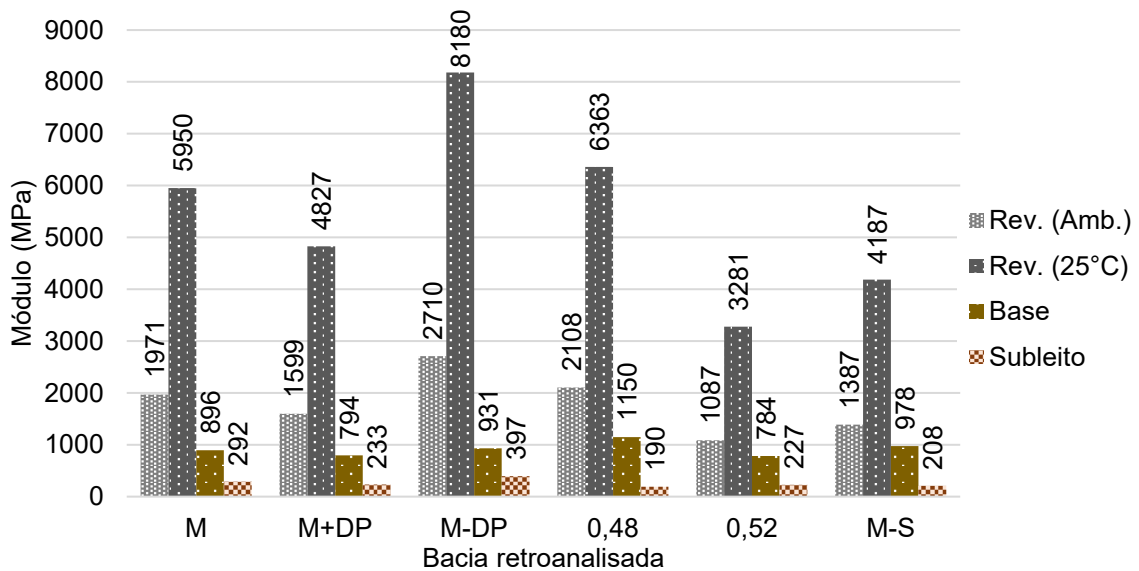
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2008	1,0	12	9,43E+05	5,18E+05	2,43E+06
2013	5,0	60	4,41E+06	2,42E+06	1,14E+07
2014	6,0	72	5,74E+06	3,10E+06	1,55E+07
2015	7,0	84	6,68E+06	3,59E+06	1,81E+07
2016	8,0	96	7,22E+06	3,90E+06	1,93E+07
2017	9,0	108	7,96E+06	4,34E+06	2,09E+07

- Retroanálise

Os resultados da retroanálise realizados para o levantamento de FWD do ano de 2013 são apresentados na Figura AP 7 (a) para a pista crescente e na Figura AP 7 (b) para a pista decrescente seguindo as metodologias apresentadas nos itens 2.2.5 para retroanálise e 2.2.6 para correção da temperatura.



(a) BR116/CE/422,100/CR/PS/UA10/Flex/Imp

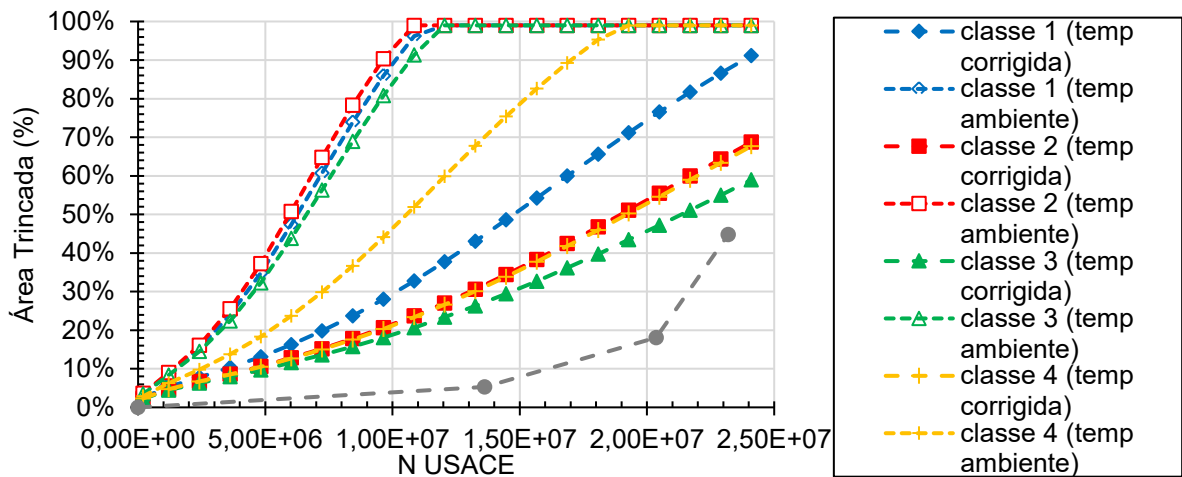


(a) BR116/CE/422,100/CR/PS/UA10/Flex/Imp

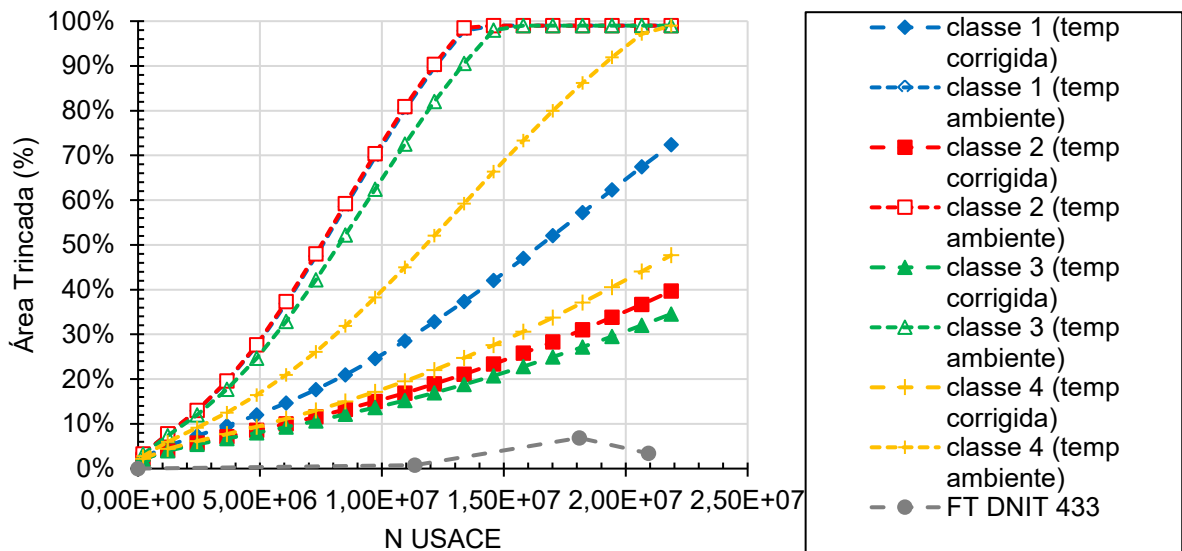
Figura AP 7 – Módulos retroanalizados para UA10

- Simulação de desempenho MeDiNa

A Figura AP 8 traz os resultados das simulações da evolução da área trincada, realizadas por meio do *software* MeDiNa, conforme descrito no item 2.2. Nesta figura, são representadas as curvas para as quatro classes de mistura asfáltica do MeDiNa, considerando tanto a temperatura ambiente, quanto a temperatura corrigida. Além disso, são apresentados os resultados dos levantamentos de área trincada, conforme avaliados pelas três metodologias.



(a) BR116/CE/422,100/CR/PS/UA10/Flex/Imp

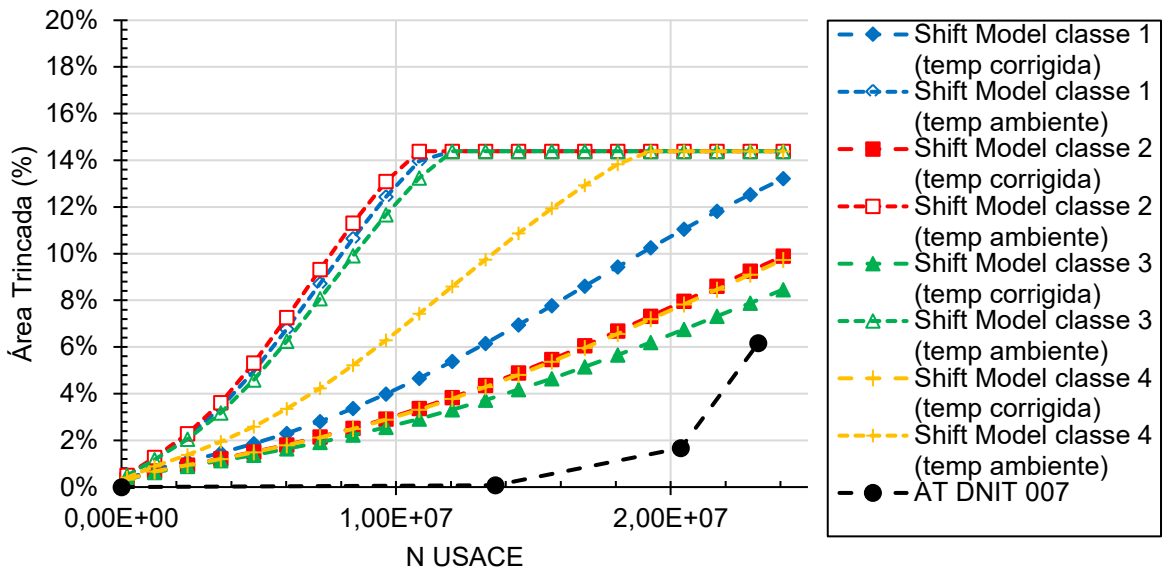


(b) BR116/CE/422,100/DE/PS/UA10/Flex/Imp

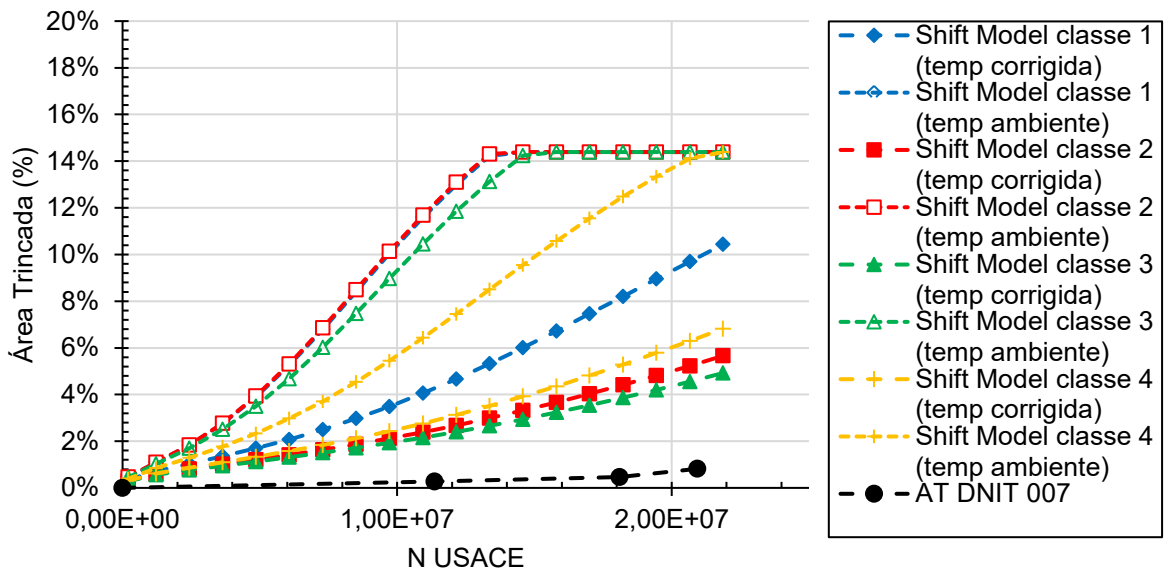
Figura AP 8 – Previsão de frequência de trincamento para UA10

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Os resultados da simulação efetuada pelo MeDiNa com a aplicação do Shift Model da Equação 4 estão disponíveis na Figura AP 9 (a) para a pista crescente e na Figura AP 9 (b) para a pista decrescente.



(a) BR116/CE/422,100/PS/CR/UA10/Flex/Imp

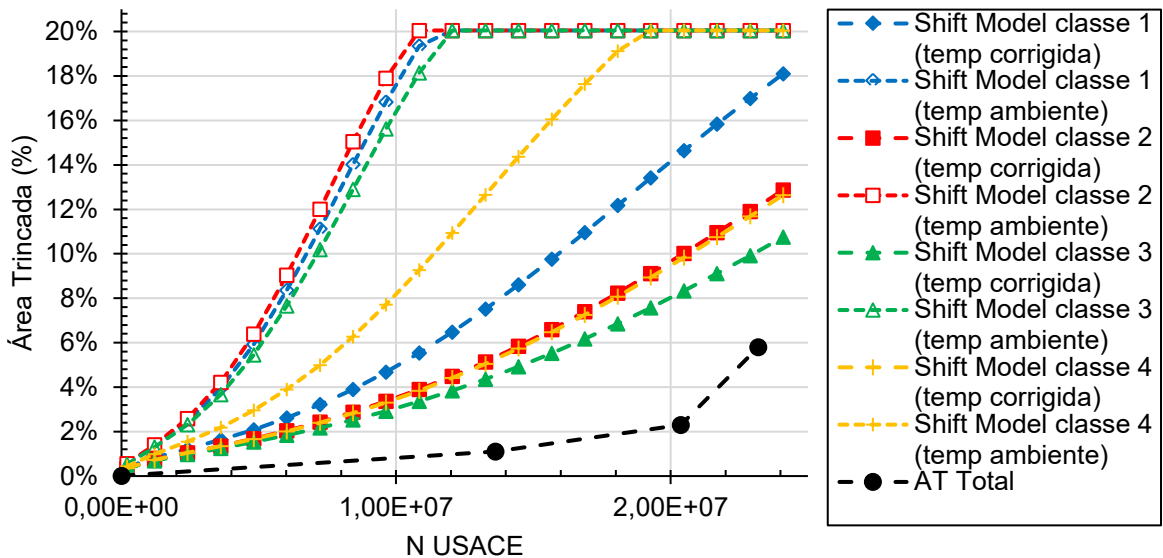


(b) BR116/CE/422,100/PS/DE/UA10/Flex/Imp

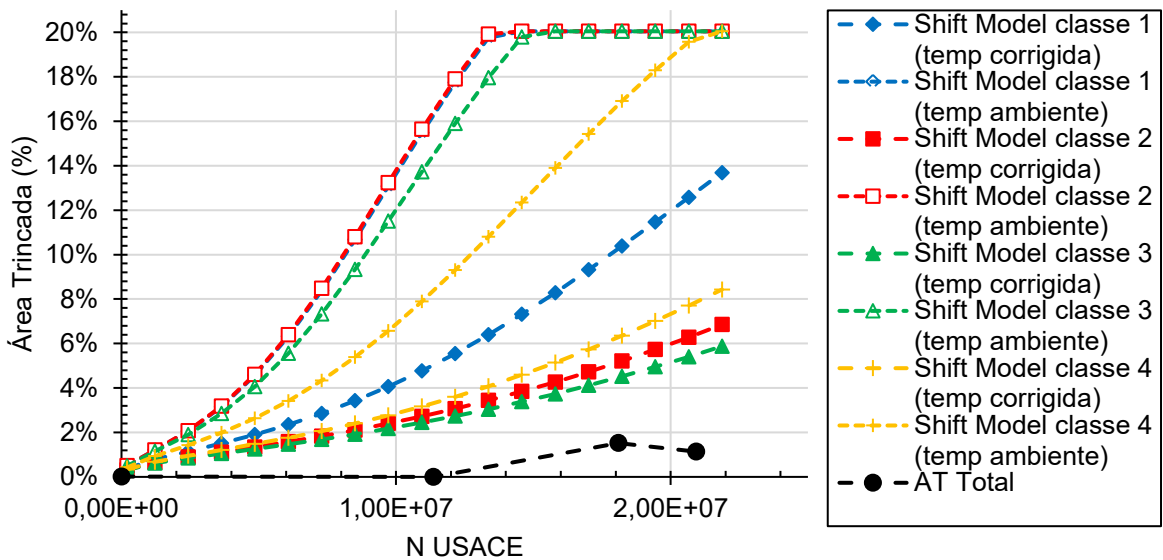
Figura AP 9 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA10

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Os resultados da simulação efetuada pelo MeDiNa com a aplicação do Shift Model da Equação 5 estão disponíveis na Figura AP 10 (a) para a pista crescente e na Figura AP 10 (b) para a pista decrescente.



(a) BR116/CE/422,100/PS/CR/UA10/Flex/Imp



(b) BR116/CE/422,100/PS/DE/UA10/Flex/Imp

Figura AP 10 – Previsão de Área Trincada Total para UA10

### 1.3 BR020/CE/086,000/PS/UA13/FLEX/IMP

- Localização e espessura

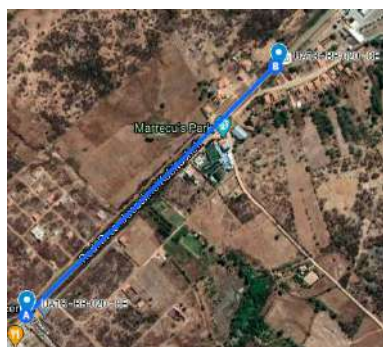
Localizada na unidade local de Boa Viagem, no Ceará, a UA13 se estende por um quilômetro. A Figura AP 11 traz fotografias do local tiradas no primeiro ano do levantamento em 2013, além de apresentar detalhes sobre a localização geográfica do trecho, as imagens das sondagens realizadas em campo durante o levantamento de 2014 e os dados relativos às espessuras das camadas e seus respectivos materiais.



Unidade de Amostragem 13:  
Km 86+000 – Km 87+000  
BR 20  
Unidade Federal: Ceará  
Unidade Local: Boa Viagem

Data do levantamento: 3-4 de Junho de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	4
Base	Solo compactado	41
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 11 – Trecho experimental BR020/CE/86,000/PS/UA13/Flex/IMP

- Tráfego

As Tabelas AP 5, para a pista crescente, e Tabela AP 6, para a pista decrescente, apresentam a evolução do tráfego entre os anos de 2013 e 2017, com os levantamentos de contagens de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 5 – N acumulado do trecho BR020/CE/086,000/CR/PS/UA13/Flex/Imp**

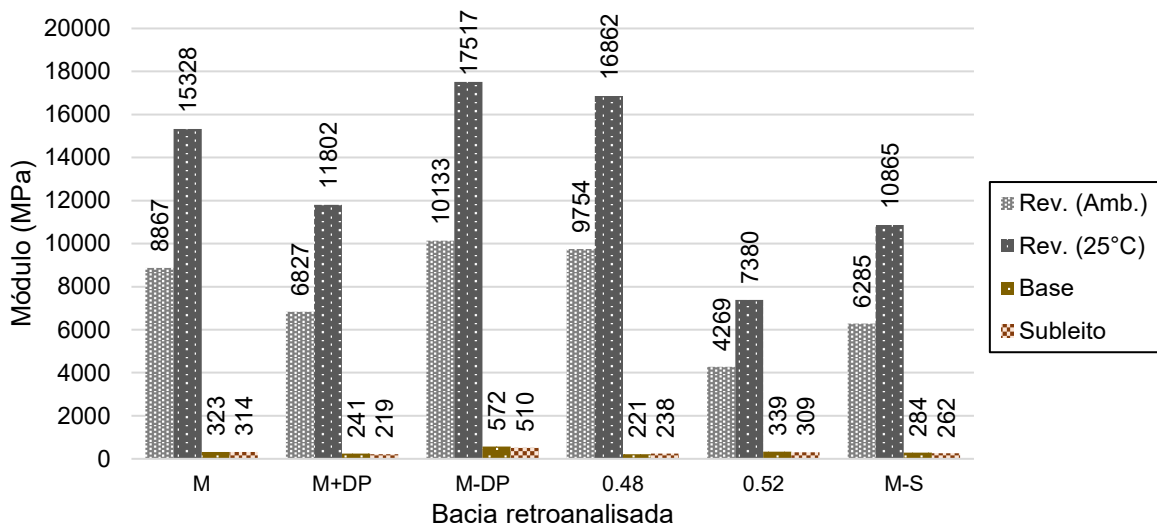
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2013	1,0	12	1,54E+05	8,01E+04	3,74E+05
2014	2,0	24	6,52E+05	3,67E+05	1,91E+06
2015	3,0	36	1,19E+06	6,62E+05	3,38E+06
2016	4,0	48	1,77E+06	9,65E+05	4,79E+06
2017	5,0	60	2,00E+06	1,08E+06	5,28E+06

**Tabela AP 6 – N acumulado do trecho BR020/CE/086,000/DE/PS/UA13/Flex/Imp**

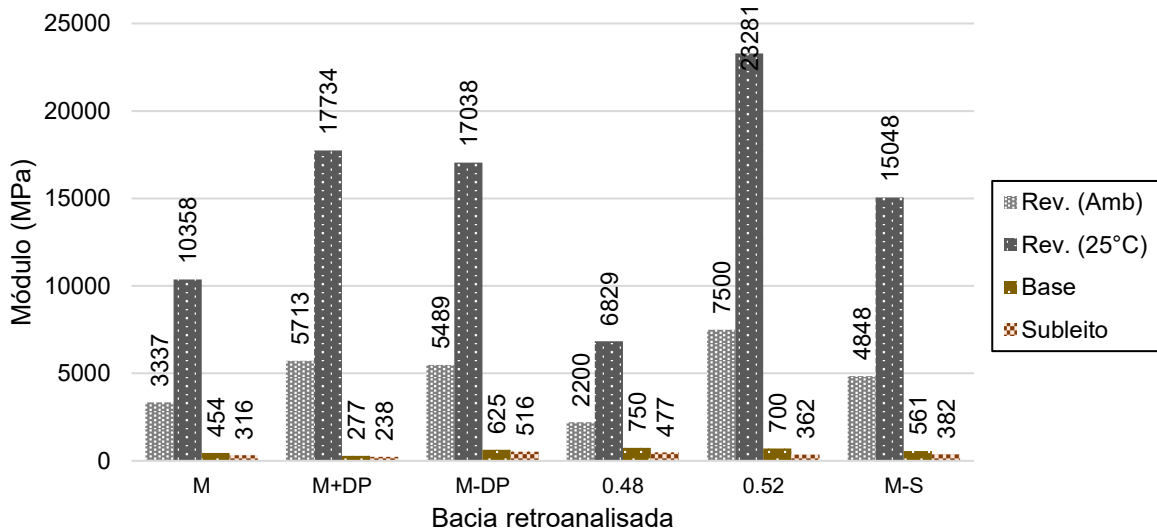
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2013	1,0	12	1,54E+05	8,01E+04	3,74E+05
2014	2,0	24	6,52E+05	3,67E+05	1,91E+06
2015	3,0	36	1,19E+06	6,62E+05	3,38E+06
2016	4,0	48	1,77E+06	9,65E+05	4,79E+06
2017	5,0	60	2,00E+06	1,08E+06	5,28E+06

• Retroanálise

Na Figura AP 12 (a), são apresentados os resultados das retroanálises do levantamento com FWD realizado em 2013 para a pista crescente, e na Figura AP 12 (b), os resultados correspondentes à pista decrescente. Esses resultados são obtidos mediante a aplicação das metodologias delineadas nos itens 2.2.5, para a retroanálise, e 2.2.6, para a correção da temperatura.



(a) BR020/CE/086,000/CR/PS/UA13/Flex/Imp

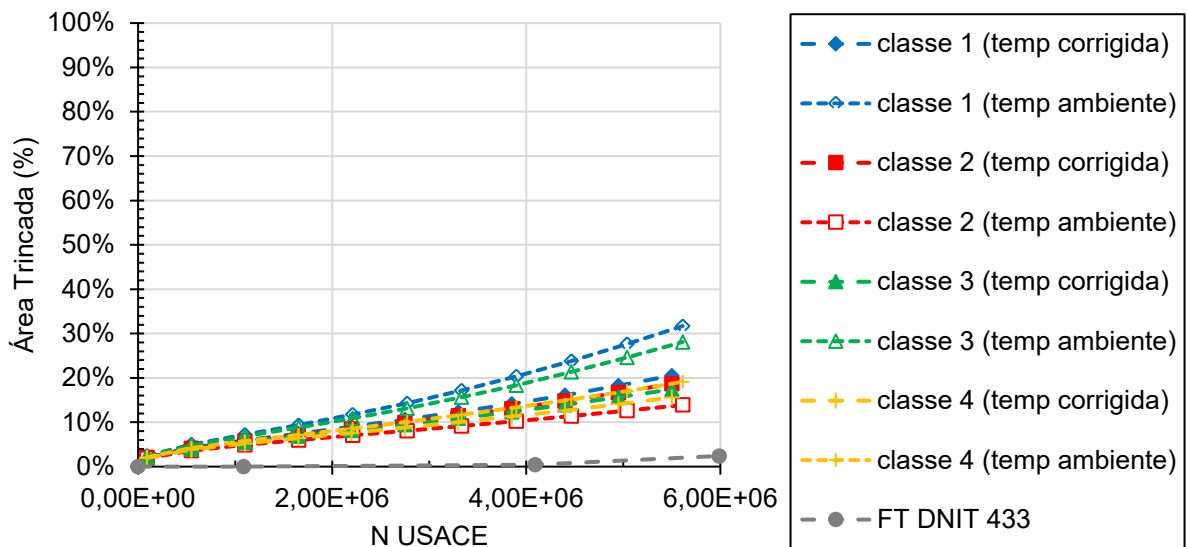


(b) BR020/CE/086,000/DE/PS/UA13/Flex/Imp

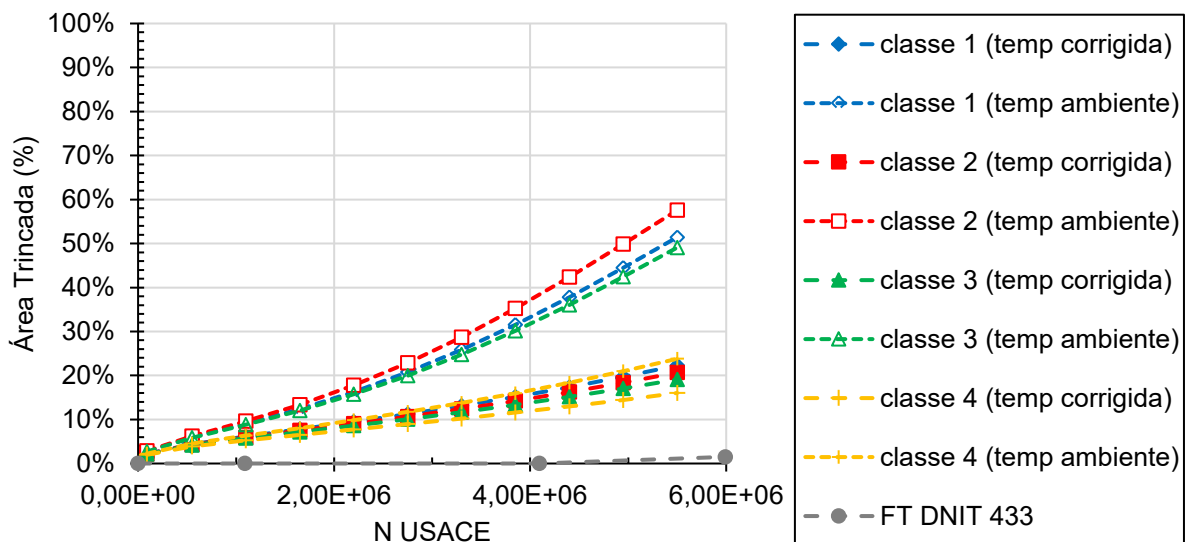
Figura AP 12 – Módulos retroanalizados para UA13

- Simulação de desempenho MeDiNa

Os resultados das simulações referentes à evolução da área trincada, realizadas utilizando o *software* MeDiNa, como descrito no item 2.2, são apresentados na Figura AP 13. Esses resultados compreendem as curvas considerando as quatro classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperatura ambiente e ajustada para 25 °C, juntamente com os resultados dos levantamentos da Área Trincada conforme as três metodologias.



(a) BR020/CE/086,000/CR/PS/UA13/Flex/Imp

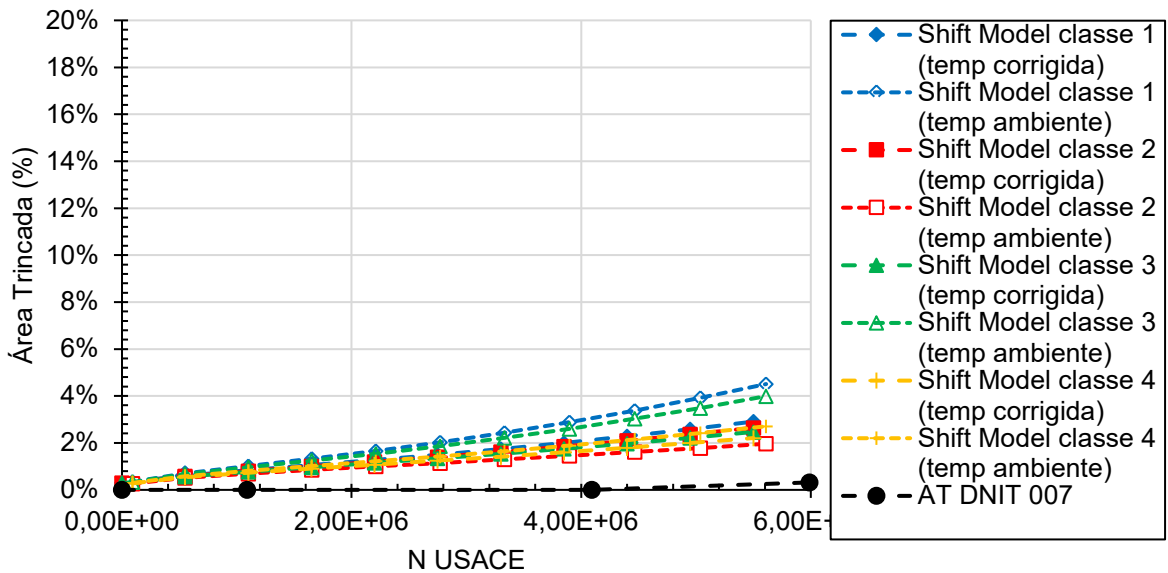


(b) BR020/CE/086,000/DE/PS/UA13/Flex/Imp

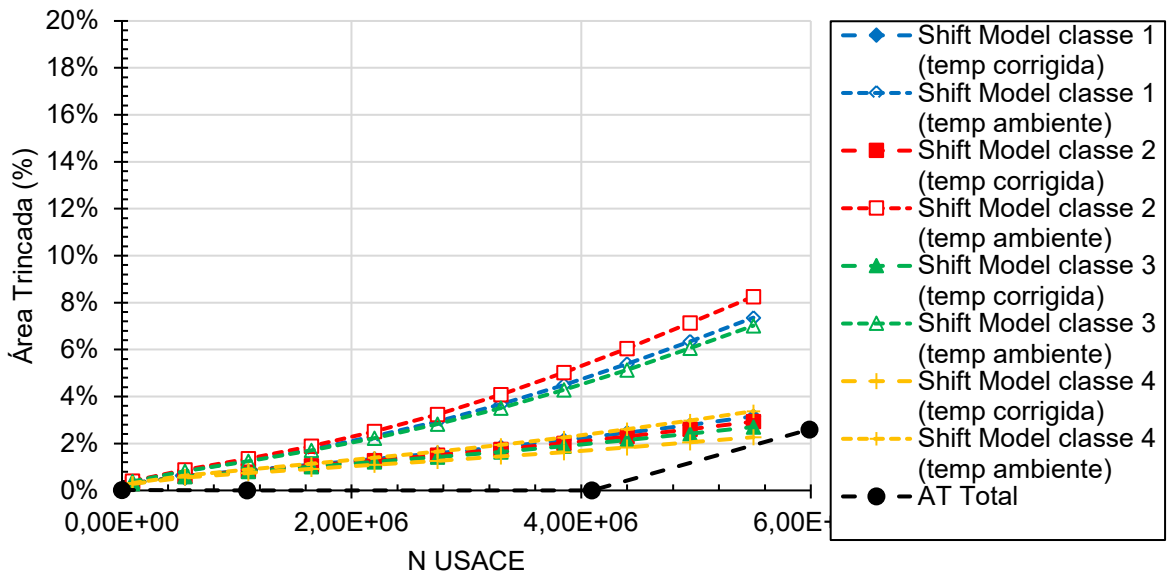
Figura AP 13 – Previsão de frequência de trincamento para UA13

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Na Figura AP 14 (a), são exibidos os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 4 para a pista crescente, enquanto na Figura AP 14 (b) estão os resultados correspondentes à pista decrescente.



(a) BR020/CE/086,000/CR/PS/UA13/Flex/Imp

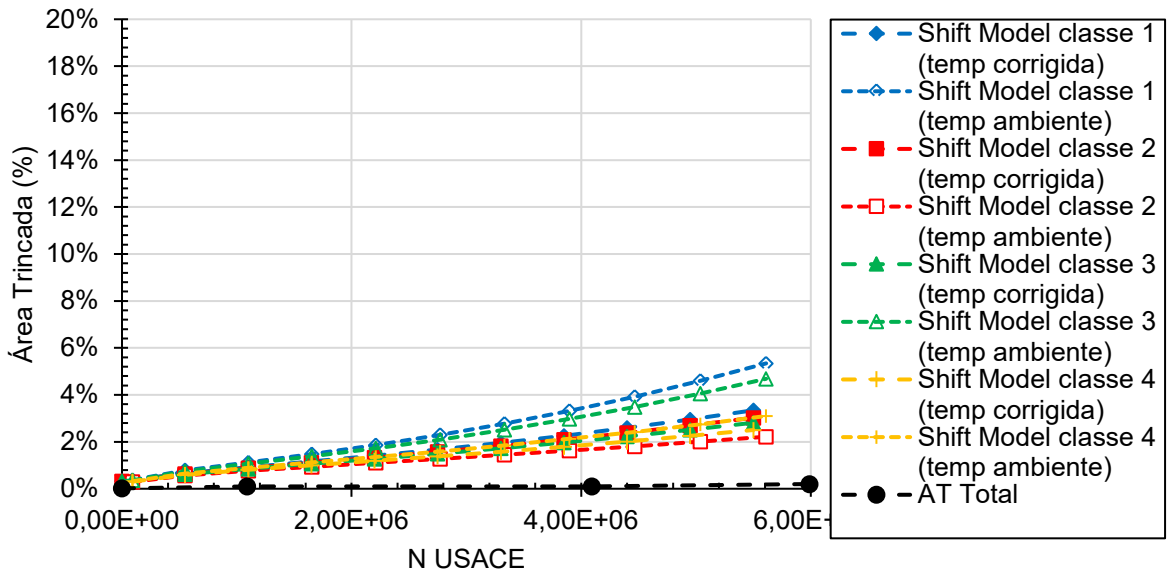


(b) BR020/CE/086,000/DE/PS/UA13/Flex/Imp

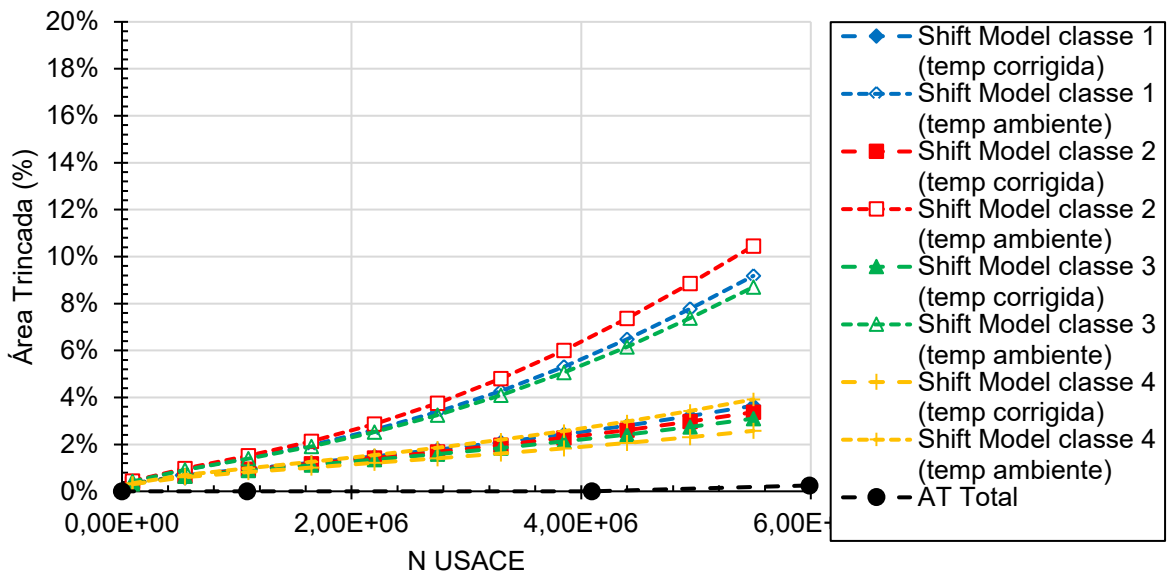
Figura AP 14 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA13

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Na Figura AP 15 (a), são exibidos os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 5 para a pista crescente, enquanto na Figura AP 15 (b) estão os resultados correspondentes à pista decrescente.



(a) BR020/CE/086,000/CR/PS/UA13/Flex/Imp



(b) BR020/CE/086,000/DE/PS/UA13/Flex/Imp

Figura AP 15 – Previsão de Área Trincada Total para UA13

### 1.4 BR364/MT/766,000/PS/UA18/FLEX/IMP

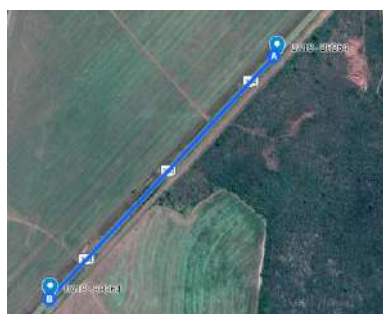
- Localização e espessura

A UA18, que ocupa a unidade local de Cuiabá, no estado do Mato Grosso, possui uma extensão de um quilômetro. A Figura AP 16 fornece um registro fotográfico do local no primeiro ano do levantamento, em 2013, apresentando também informações referentes à localização geográfica do trecho, às imagens das sondagens executadas em campo no ano de 2014 e aos detalhes das espessuras das camadas, bem como os materiais correspondentes.



Unidade de Amostragem 18:  
 Km 766+000 – Km 767+000  
 BR 364  
 Unidade Federal: Mato Grosso  
 Unidade Local: Cuiabá  
 Data do levantamento: 22-24 de Junho de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	9
Base	Solo compactado	20
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 16 – Trecho experimental BR364/MT/766,000/PS/UA18/Flex/IMP

- Tráfego

A Tabela AP 7, para a pista crescente, apresenta a evolução do tráfego entre os anos de 2013 e 2017, e a Tabela AP 8, para a pista decrescente, apresenta a evolução do tráfego entre os anos de 2010 e 2017. Ambas trazem os levantamentos de contagens de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 7 – N acumulado do trecho BR364/MT/766,000/CR/PS/UA18/Flex/Imp**

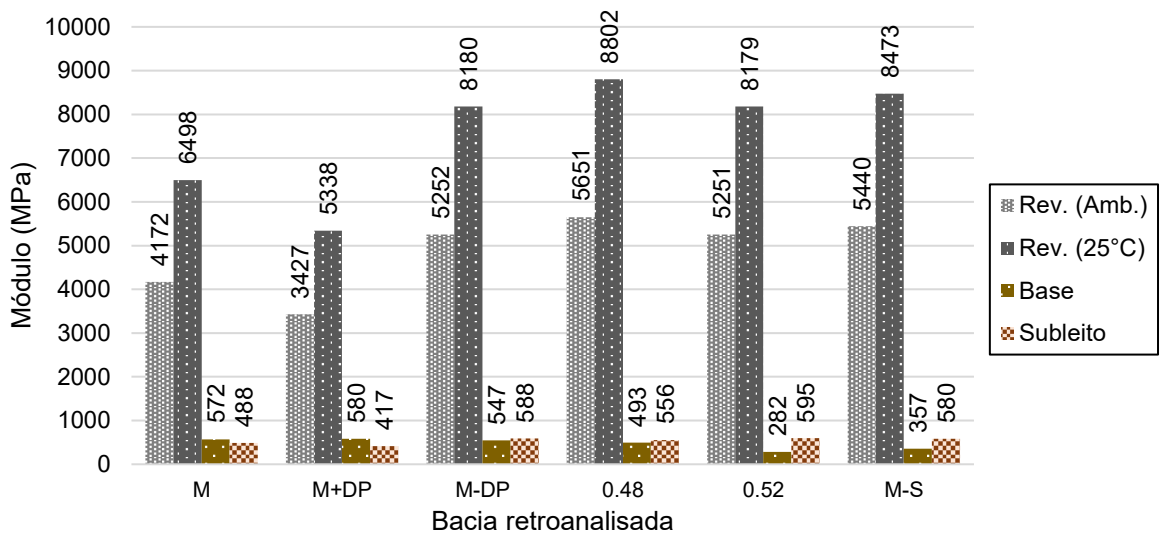
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2013	1,0	12	4,54E+05	2,17E+05	1,20E+06
2014	2,0	24	1,24E+06	5,65E+05	3,53E+06
2015	3,0	36	1,86E+06	8,57E+05	5,23E+06
2016	4,0	48	2,31E+06	1,10E+06	6,32E+06
2017	5,0	60	2,69E+06	1,28E+06	7,24E+06

**Tabela AP 8 – N acumulado do trecho BR364/MT/766,000/DE/PS/UA18/Flex/Imp**

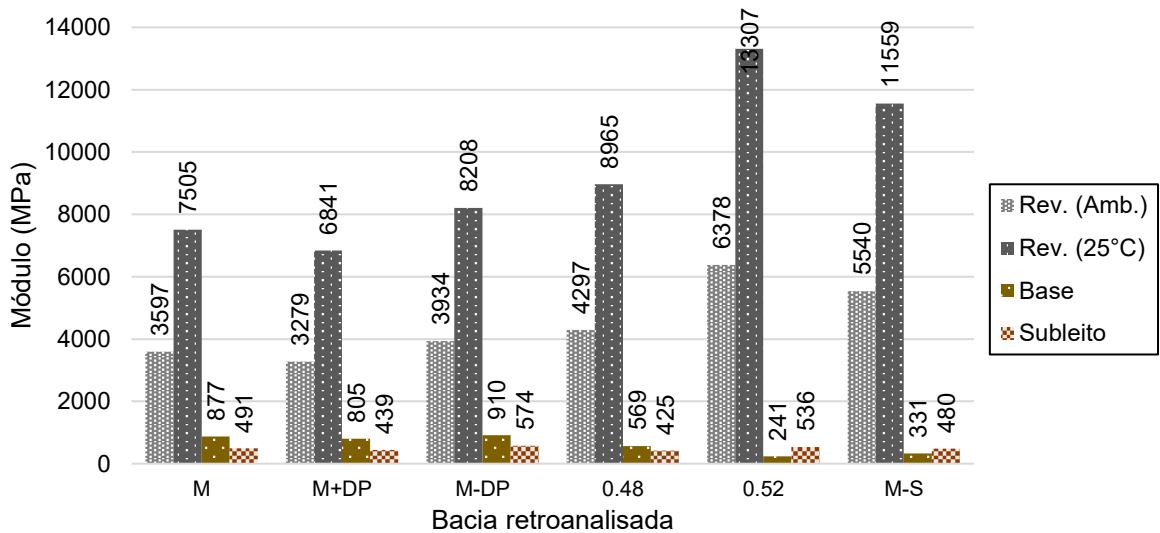
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2010	1,0	12	5,40E+05	2,59E+05	1,42E+06
2013	3,0	36	1,36E+06	6,51E+05	3,58E+06
2014	4,0	48	2,15E+06	9,98E+05	5,91E+06
2015	5,0	60	2,77E+06	1,29E+06	7,62E+06
2016	6,0	72	3,22E+06	1,53E+06	8,71E+06
2017	7,0	84	3,60E+06	1,71E+06	9,62E+06

- Retroanálise

A Figura AP 17 (a) traz os resultados da retroanálise do levantamento com FWD de 2013 para a pista crescente, enquanto a Figura AP 17 (b) apresenta os resultados da pista decrescente. Esses resultados foram obtidos de acordo com as metodologias descritas nos itens 2.2.5, referente à retroanálise, e 2.2.6, relacionado à correção da temperatura.



(a) BR364/MT/766,000/CR/PS/UA18/Flex/Imp

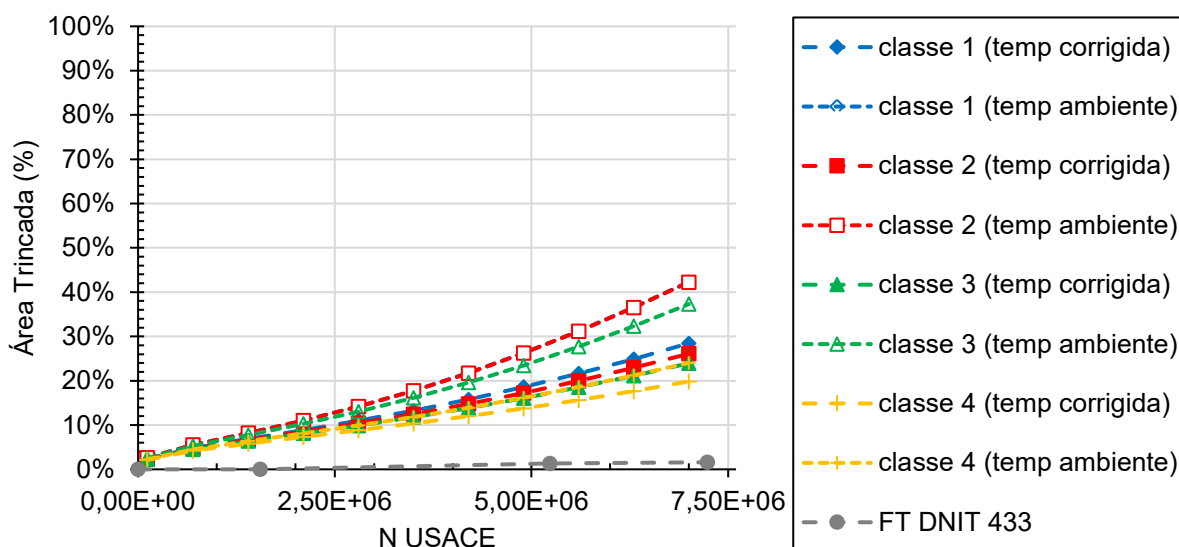


(b) BR364/MT/766,000/DE/PS/UA18/Flex/Imp

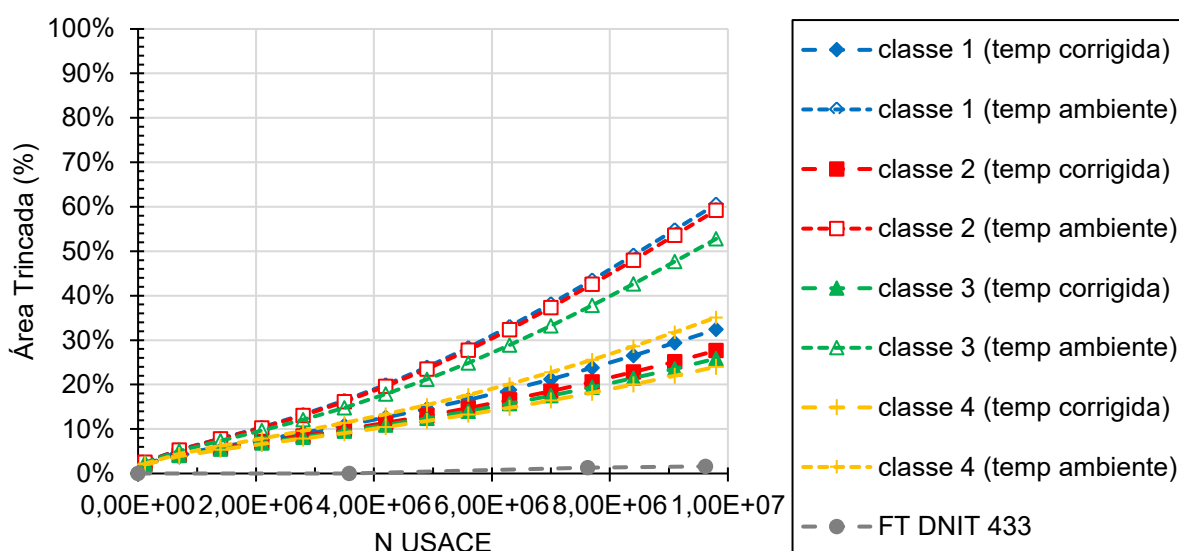
Figura AP 17 – Módulos retroanalizados para UA18

- Simulação de desempenho MeDiNa

Na Figura AP 18, são exibidos os desdobramentos das simulações da evolução da área trincada feitas por intermédio do *software* MeDiNa, conforme delineado no item 2.2. São apresentados os gráficos representativos considerando as quatro classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperatura ambiente e a temperatura corrigida, bem como os desfechos dos levantamentos da Área Trincada segundo as três metodologias desenvolvidas.



(a) BR364/MT/766,000/CR/PS/UA18/Flex/Imp

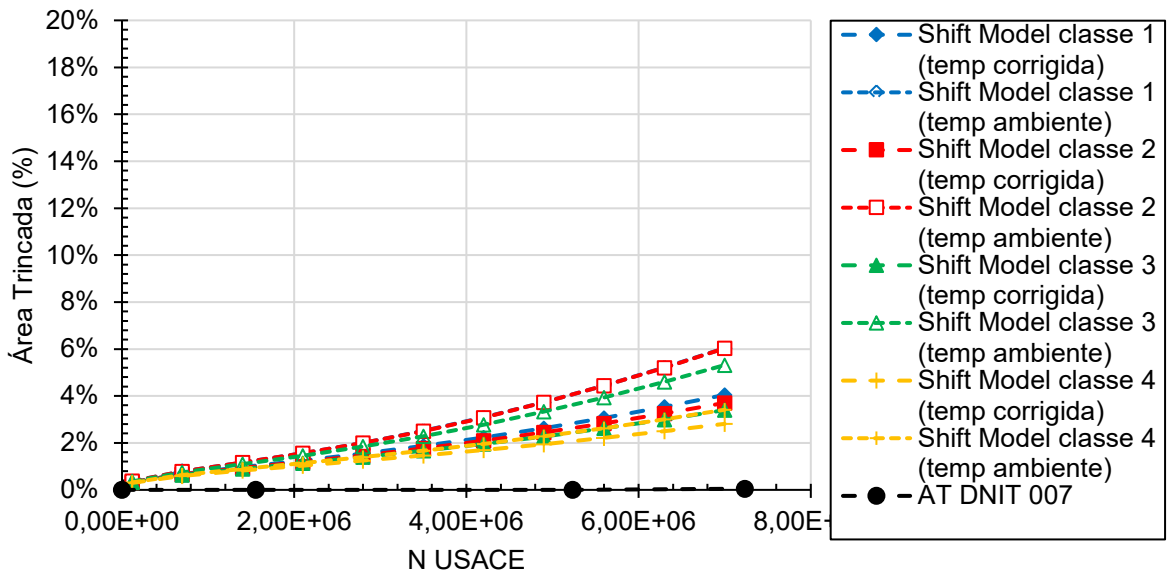


(b) BR364/MT/766,000/DE/PS/UA18/Flex/Imp

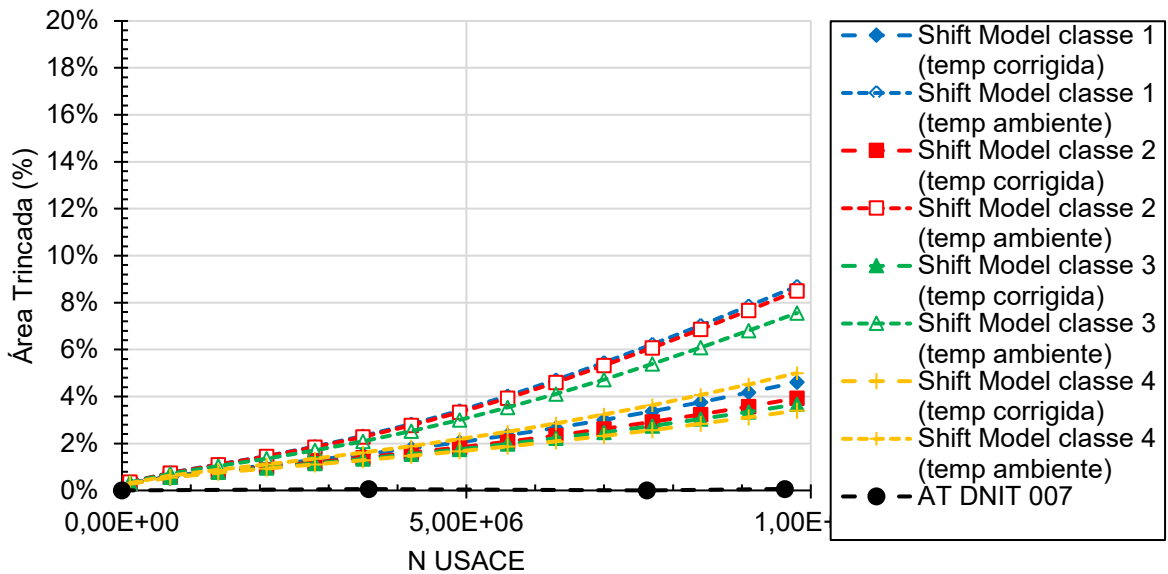
**Figura AP 18 – Previsão de frequência de trincamento para UA18**

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Os resultados da simulação, obtidos por meio do MeDiNa e com a aplicação do *Shift Model* da Equação 4, foram compilados na Figura AP 19 (a) para a pista crescente e na Figura AP 19 (b) para a pista decrescente.



(a) BR364/MT/766,000/CR/PS/UA18/Flex/Imp

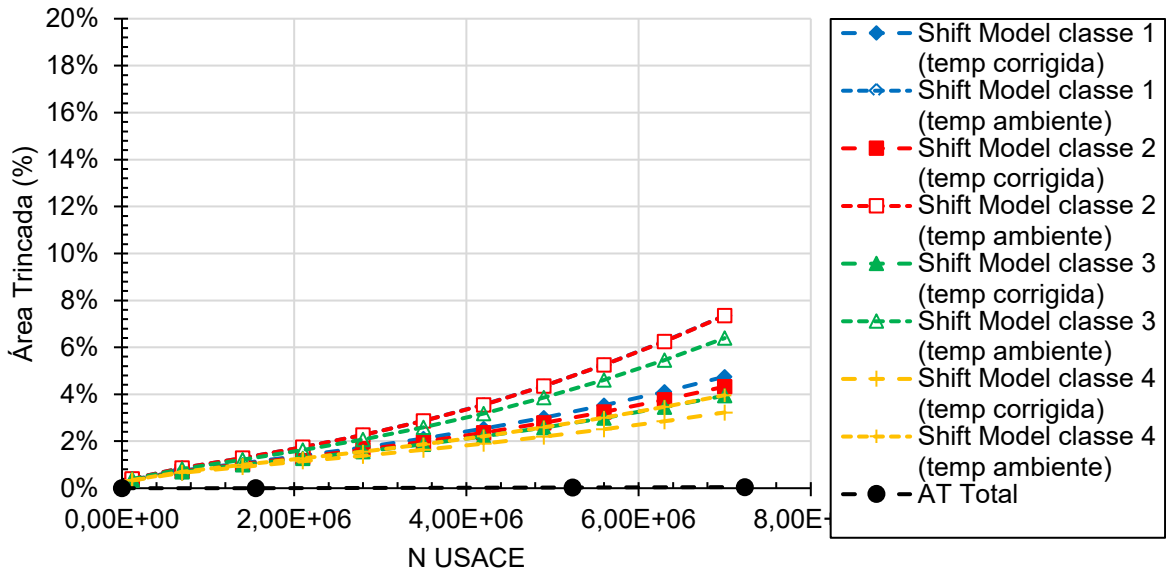


(b) BR364/MT/766,000/DE/PS/UA18/Flex/Imp

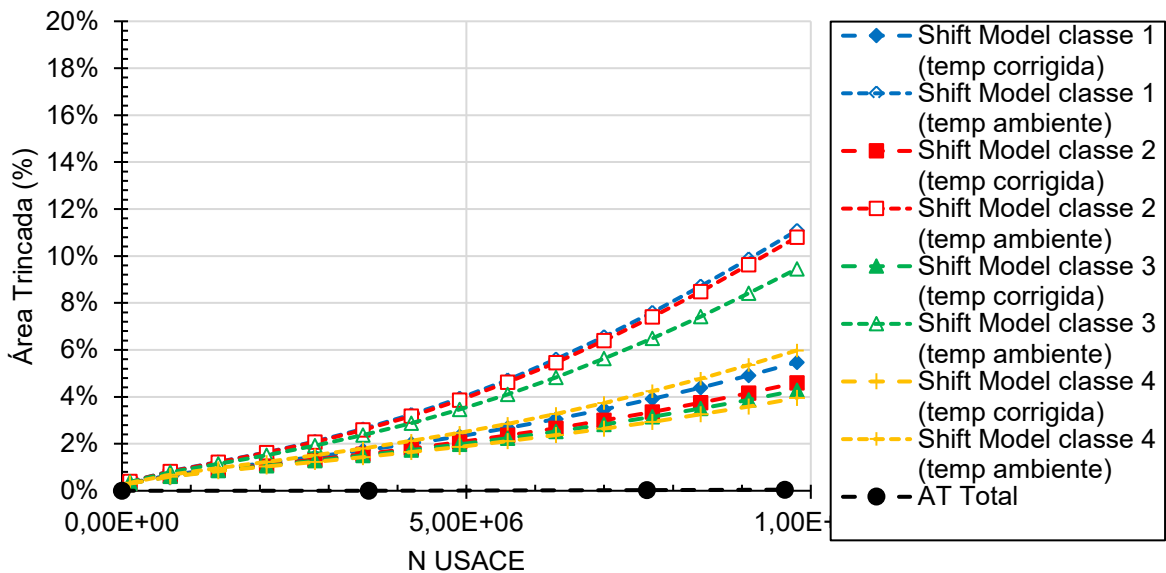
Figura AP 19 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA18

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Os resultados da simulação, obtidos por meio do MeDiNa e com a aplicação do *Shift Model* da Equação 5, foram compilados na Figura AP 20 (a) para a pista crescente e na Figura AP 20 (b) para a pista decrescente.



(a) BR364/MT/766,000/CR/PS/UA18/Flex/Imp



(b) BR364/MT/766,000/DE/PS/UA18/Flex/Imp

Figura AP 20 – Previsão de Área Trincada Total para UA18

### 1.5 BR364/MT/700,000/PS/UA19/FLEX/IMP

- Localização e espessura

Com uma extensão de um quilômetro, a UA19 está situada na unidade local de Cáceres, no estado do Mato Grosso. A Figura AP 21 inclui fotografias que documentam o local durante o primeiro ano do levantamento, em 2013. Ademais, são apresentadas informações acerca da localização geográfica do trecho, com fotografias das sondagens realizadas em campo durante o levantamento no ano de 2014, bem como das espessuras das camadas e dos respectivos materiais.



Unidade de Amostragem 19:

Km 700+000 – Km 701+000

BR 364

Unidade Federal: Mato Grosso

Unidade Local: Cáceres

Data do levantamento: 25-26 de Junho de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	11
Base	Solo compactado	38
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 21 – Trecho experimental BR364/MT/700,000/PS/UA19/Flex/IMP

- Tráfego

As Tabela AP 9, para a pista crescente, e Tabela AP 10, para a pista decrescente, apresentam a evolução do tráfego entre os anos de 2011 e 2017, com os levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 9 – N acumulado do trecho BR364/MT/700,000/CR/PS/UA19/Flex/Imp**

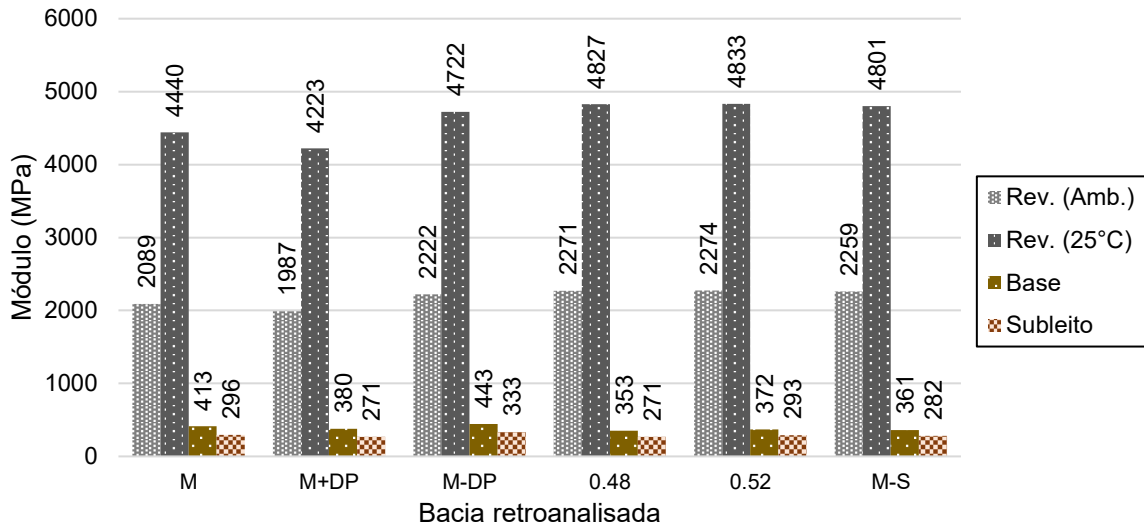
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2011	1,0	12	5,48E+05	2,71E+05	1,50E+06
2013	2,0	24	9,03E+05	4,47E+05	2,48E+06
2014	3,0	36	1,63E+06	7,98E+05	4,83E+06
2015	4,0	48	2,22E+06	1,09E+06	6,55E+06
2016	5,0	60	2,67E+06	1,33E+06	7,64E+06
2017	6,0	72	3,05E+06	1,51E+06	8,55E+06

**Tabela AP 10 – N acumulado do trecho BR364/MT/700,000/DE/PS/UA19/Flex/Imp**

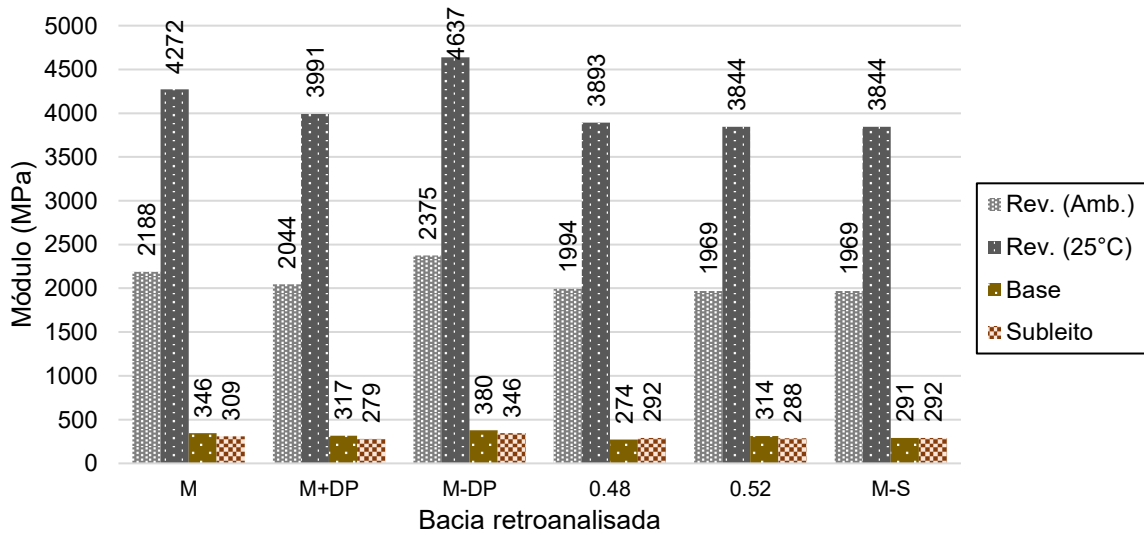
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2011	1,0	12	5,48E+05	2,71E+05	1,50E+06
2013	2,0	24	9,03E+05	4,47E+05	2,48E+06
2014	3,0	36	1,63E+06	7,98E+05	4,83E+06
2015	4,0	48	2,22E+06	1,09E+06	6,55E+06
2016	5,0	60	2,67E+06	1,33E+06	7,64E+06
2017	6,0	72	3,05E+06	1,51E+06	8,55E+06

- Retroanálise

Os resultados da retroanálise efetuada para o levantamento com FWD do ano de 2013 são ilustrados na Figura AP 22 (a) para a pista crescente e na Figura AP 22 (b) para a pista decrescente, conforme as metodologias apresentadas nos itens 2.2.5, referentes à retroanálise, e 2.2.6, sobre a correção da temperatura.



(a) BR364/MT/700,000/CR/PS/UA19/Flex/Imp

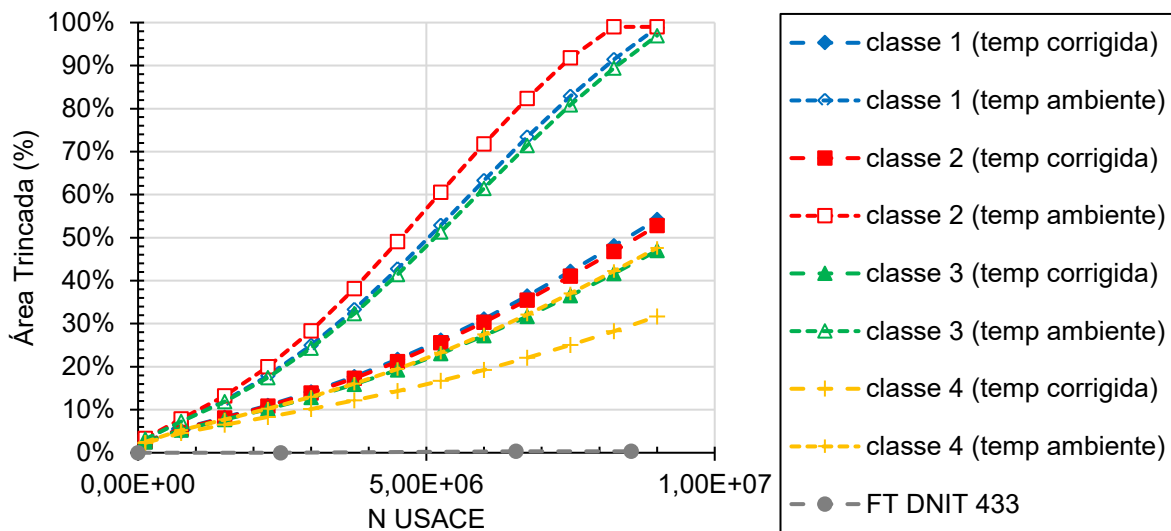


(b) BR364/MT/700,000/DE/PS/UA19/Flex/Imp

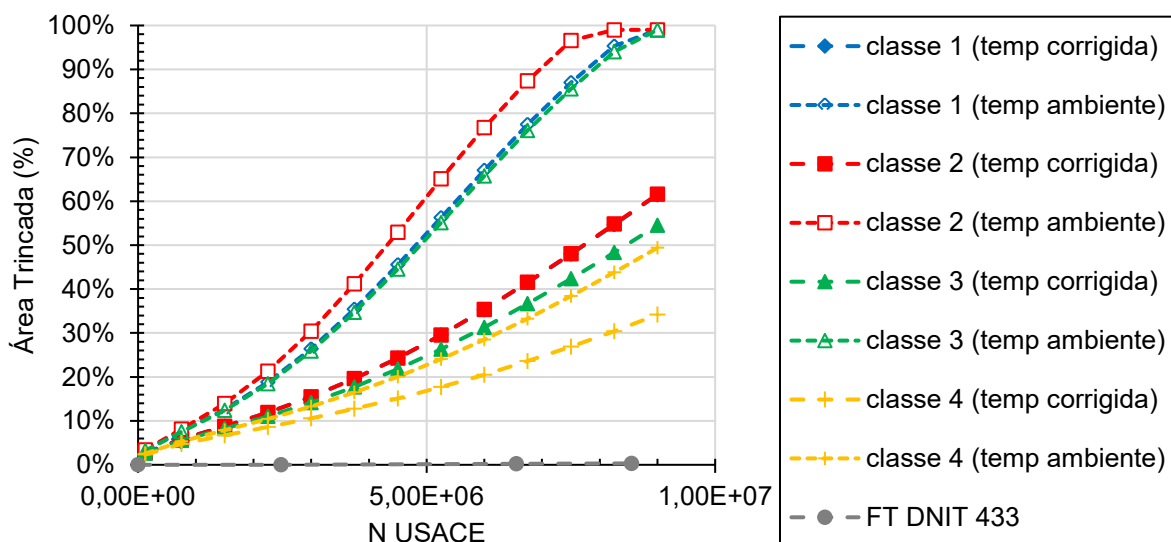
Figura AP 22 – Módulos retroanalizados para UA19

- Simulação de desempenho MeDiNa

Na Figura AP 23, estão representados os desfechos das simulações de evolução da área trincada realizadas por intermédio do *software* MeDiNa, como explicado no item 2.2. As representações gráficas mostram as curvas considerando as quatro classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperatura ambiente e corrigida, juntamente com os resultados dos levantamentos da Área Trincada segundo as três metodologias.



(a) BR364/MT/700,000/CR/PS/UA19/Flex/Imp

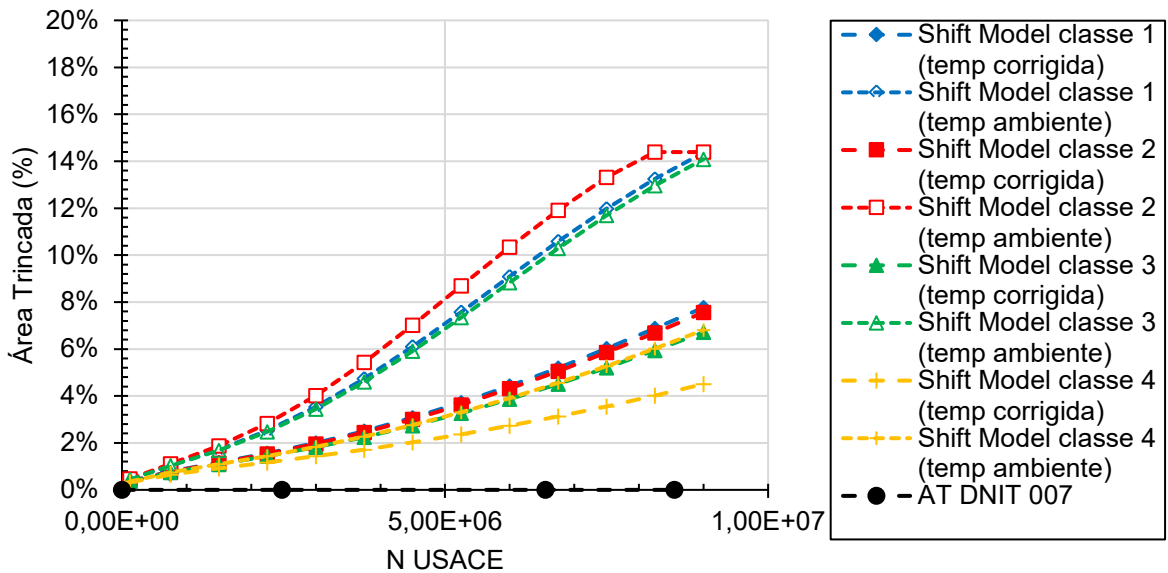


(b) BR364/MT/700,000/DE/PS/UA19/Flex/Imp

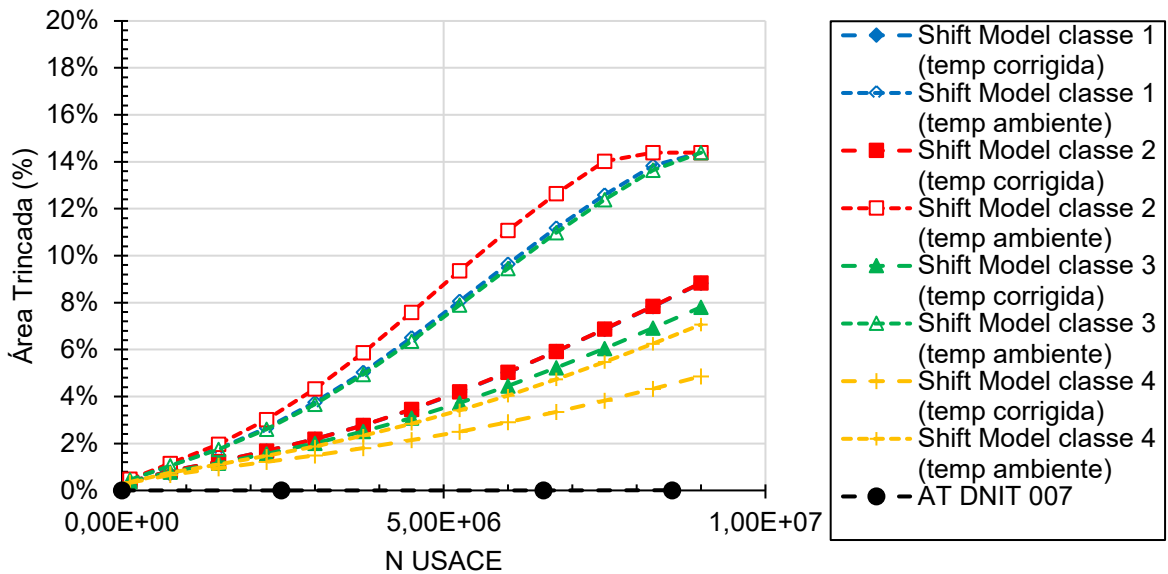
Figura AP 23 – Previsão de frequência de trincamento para UA19

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Na Figura AP 24 (a), encontram-se os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 5 para a pista crescente, enquanto na Figura AP 24 (b) estão os resultados relacionados à pista decrescente.



(a) BR364/MT/700,000/CR/PS/UA19/Flex/Imp

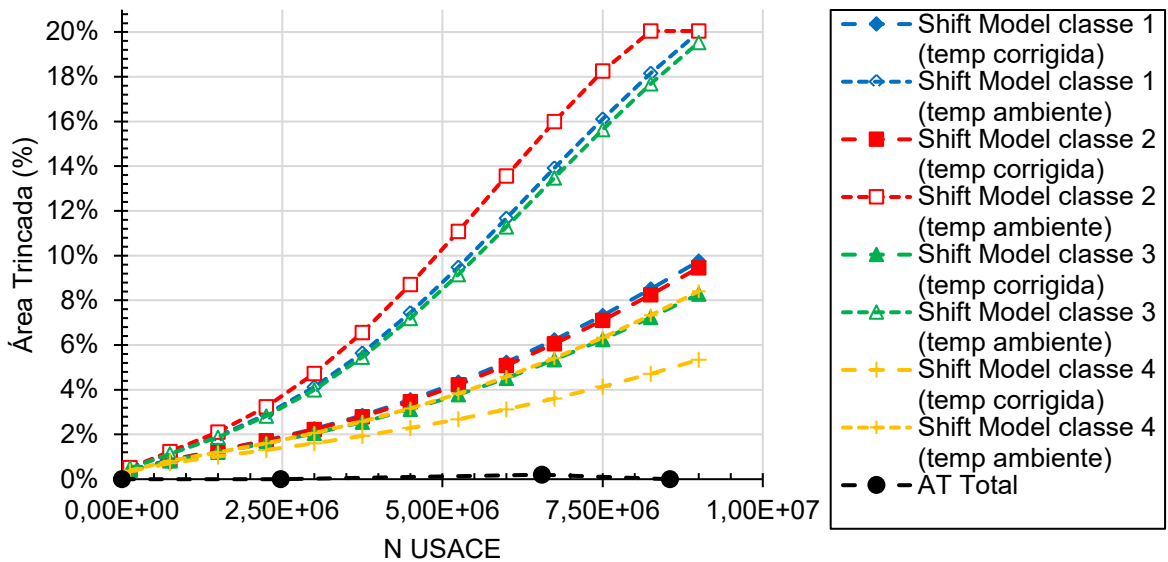


(b) BR364/MT/700,000/DE/PS/UA19/Flex/Imp

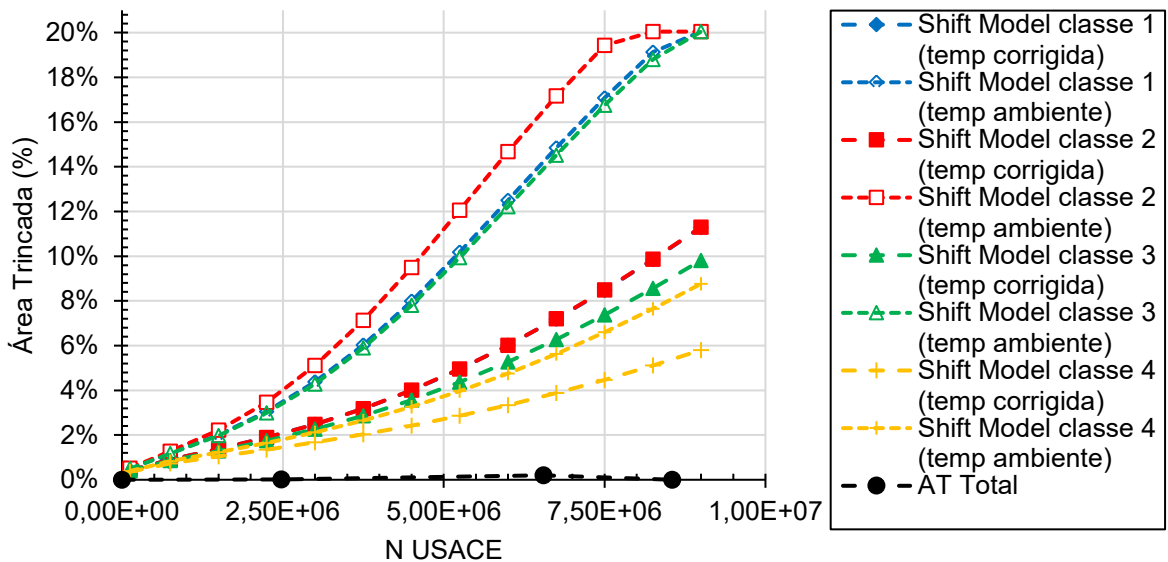
Figura AP 24 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA19

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Os resultados da simulação efetuados pelo MeDiNa ao aplicar o *Shift Model* da Equação 4 são apresentados na Figura AP 25 (a) referente à pista crescente, e na Figura AP 25 (b) correspondente à pista decrescente.



(a) BR364/MT/700,000/CR/PS/UA19/Flex/Imp



(b) BR364/MT/700,000/DE/PS/UA19/Flex/Imp

Figura AP 25 – Previsão de Área Trincada Total para UA19

### 1.6 BR364/MT/626,000/PS/UA21/FLEX/IMP

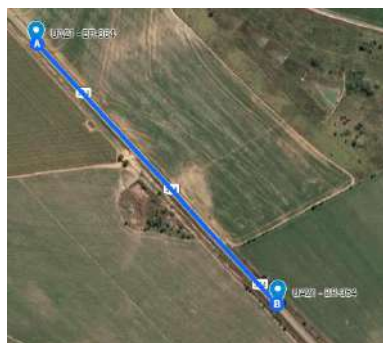
- Localização e espessura

A UA21, com uma extensão de um quilômetro, encontra-se na unidade local de Cáceres, no estado do Mato Grosso. Na Figura AP 26, é possível visualizar fotografias do local registradas durante o primeiro ano do levantamento em 2013, juntamente com os dados relativos à localização geográfica do trecho, às imagens das sondagens efetuadas em campo no levantamento de 2014 e às informações sobre as espessuras das camadas e os materiais correspondentes.



Unidade de Amostragem 21:  
 Km 626+000 – Km 627+000  
 BR 364  
 Unidade Federal: Mato Grosso  
 Unidade Local: Cáceres  
 Data do levantamento: 11-12 de Julho de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	12
Base	Solo compactado	44
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 26 – Trecho experimental BR364/MT/626,000/PS/UA21/Flex/IMP

- Tráfego

As Tabela AP 11, para a pista crescente, e Tabela AP 12, para a pista decrescente, apresentam a evolução do tráfego entre os anos de 2009 e 2017, com os levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 11 – N acumulado do trecho BR364/MT/626,000/CR/PS/UA21/Flex/Imp**

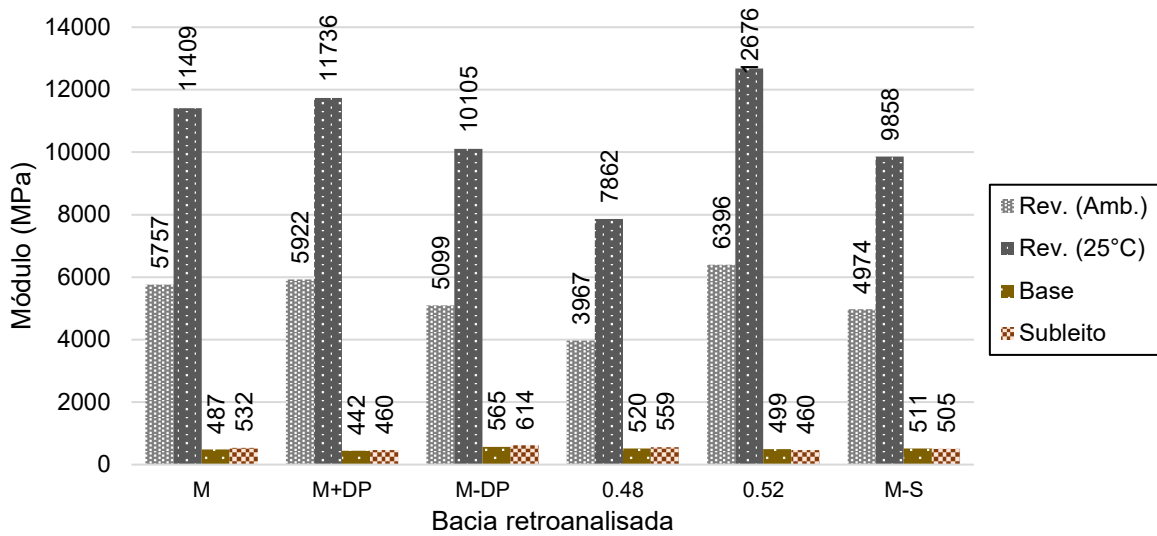
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2009	1,0	12	1,11E+06	5,70E+05	2,54E+06
2013	4,0	48	5,81E+06	2,98E+06	1,32E+07
2014	5,0	60	6,45E+06	3,27E+06	1,49E+07
2015	6,0	72	6,90E+06	3,50E+06	1,59E+07
2016	7,0	84	7,17E+06	3,66E+06	1,64E+07
2017	8,0	96	7,83E+06	3,98E+06	1,80E+07

**Tabela AP 12 – N acumulado do trecho BR364/MT/626,000/DE/PS/UA21/Flex/Imp**

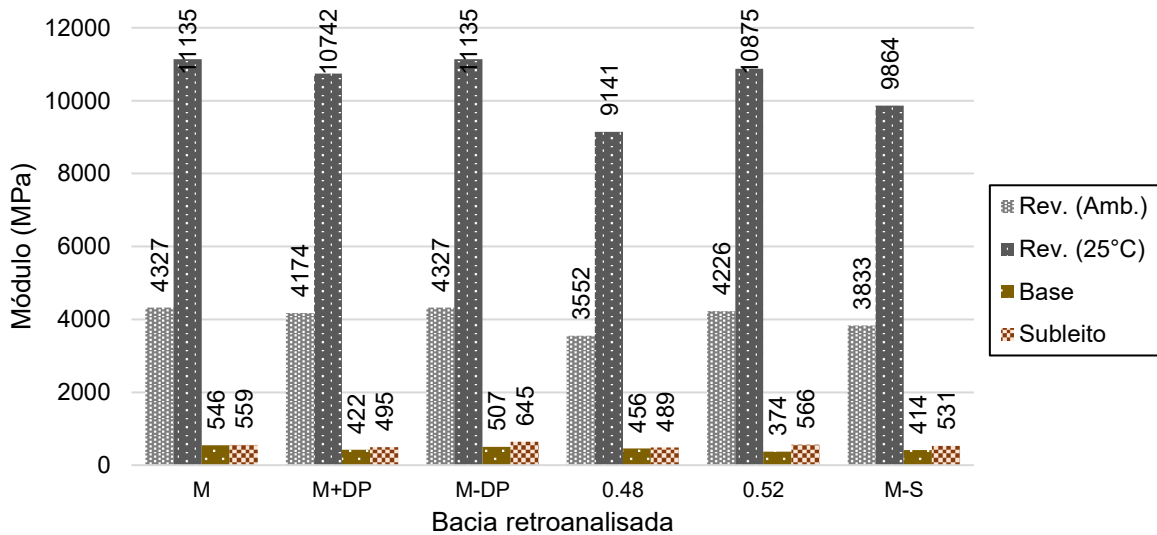
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2009	1,0	12	1,11E+06	5,70E+05	2,54E+06
2013	4,0	48	5,81E+06	2,98E+06	1,32E+07
2014	5,0	60	6,45E+06	3,27E+06	1,49E+07
2015	6,0	72	6,90E+06	3,50E+06	1,59E+07
2016	7,0	84	7,17E+06	3,66E+06	1,64E+07
2017	8,0	96	7,83E+06	3,98E+06	1,80E+07

• Retroanálise

Nas Figura AP 27 (a) e AP 27 (b), estão representados os resultados da retroanálise realizada para o levantamento com FWD de 2013, abordando, respectivamente, a pista crescente e a pista decrescente. As abordagens metodológicas empregadas são aquelas expostas nos itens 2.2.5, relacionadas à retroanálise, e 2.2.6, abordando a correção da temperatura.



(a) BR364/MT/626,000/CR/PS/UA21/Flex/Imp

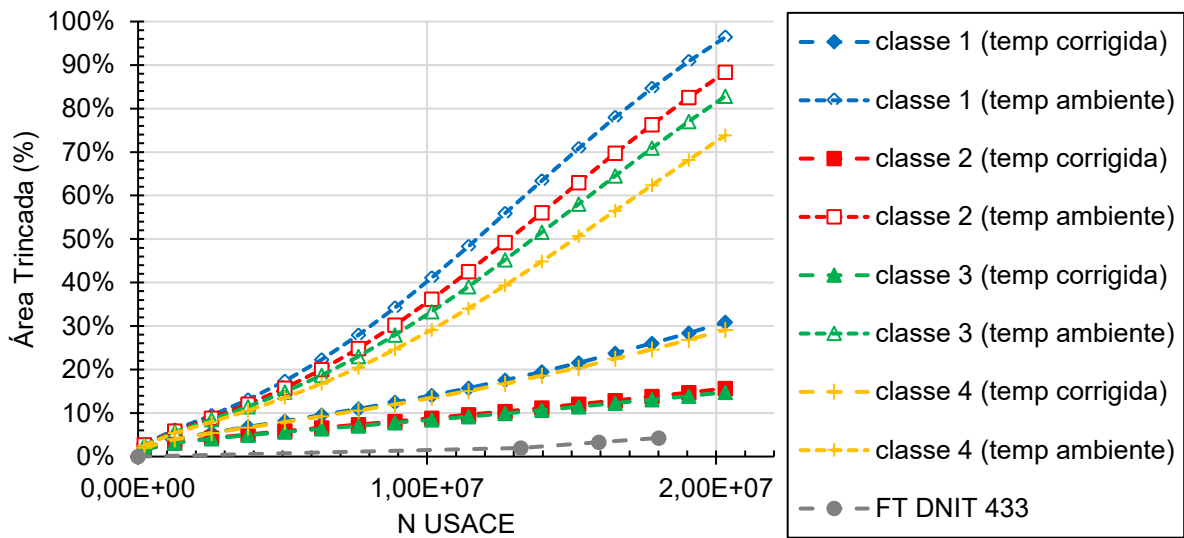


(b) BR364/MT/626,000/DE/PS/UA21/Flex/Imp

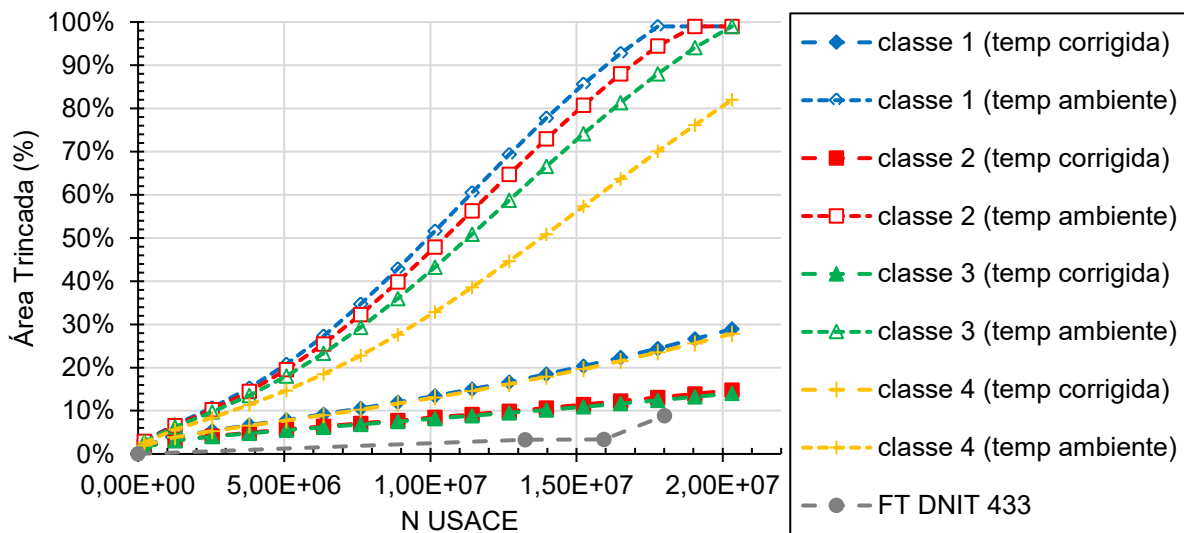
Figura AP 27 – Módulos retroanalizados para UA21

- Simulação de desempenho MeDiNa

A Figura AP 28 detalha os resultados das simulações de expansão da área trincada utilizando o *software* MeDiNa, conforme descrito no item 2.2. São apresentadas as curvas relacionadas às quatro Classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperatura ambiente e corrigida, além dos resultados dos levantamentos da Área Trincada conforme as três metodologias.



(a) BR364/MT/626,000/CR/PS/UA21/Flex/Imp

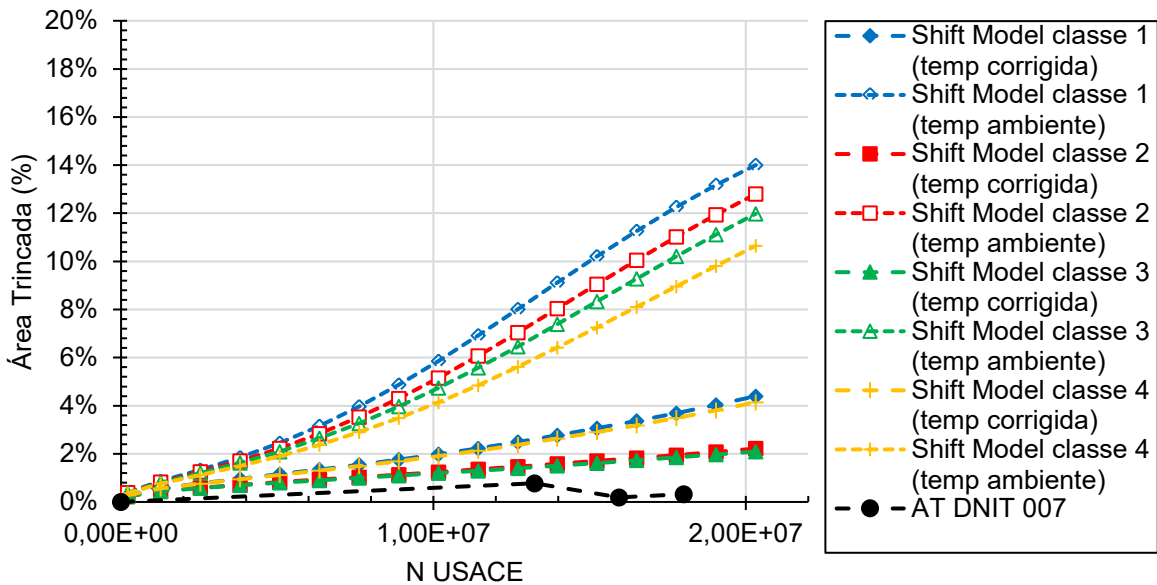


(b) BR364/MT/626,000/DE/PS/UA21/Flex/Imp

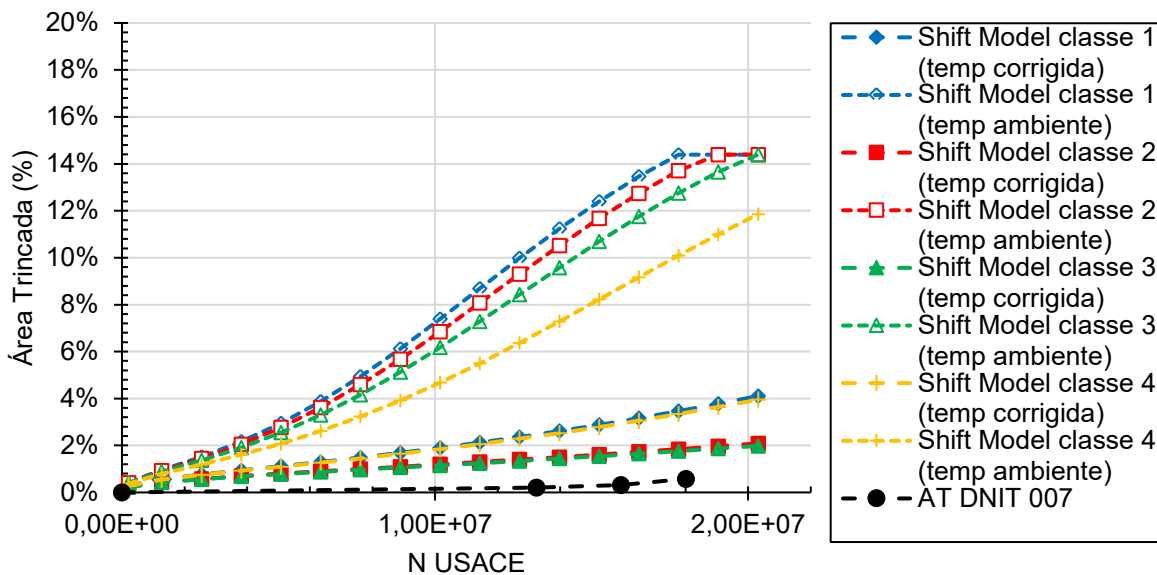
Figura AP 28 – Previsão de frequência de trincamento para UA21

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Os resultados da simulação efetuados pelo MeDiNa ao aplicar o *Shift Model* da Equação 5 são apresentados na Figura AP 29 (a) referente à pista crescente, e na Figura AP 29 (b) correspondente à pista decrescente.



(a) BR364/MT/626,000/CR/PS/UA21/Flex/Imp

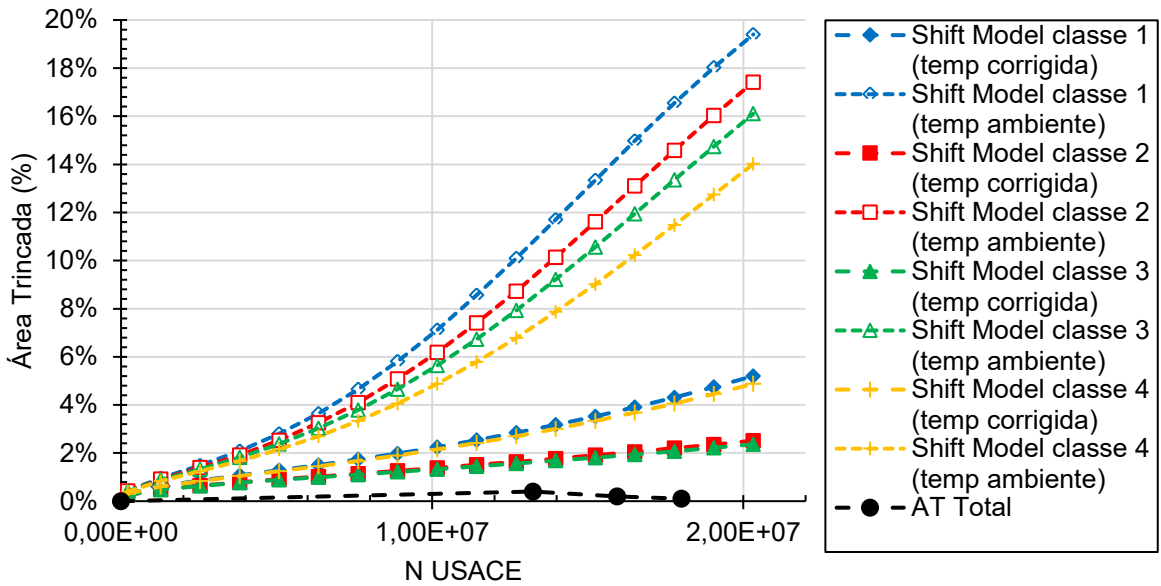


(b) BR364/MT/626,000/DE/PS/UA21/Flex/Imp

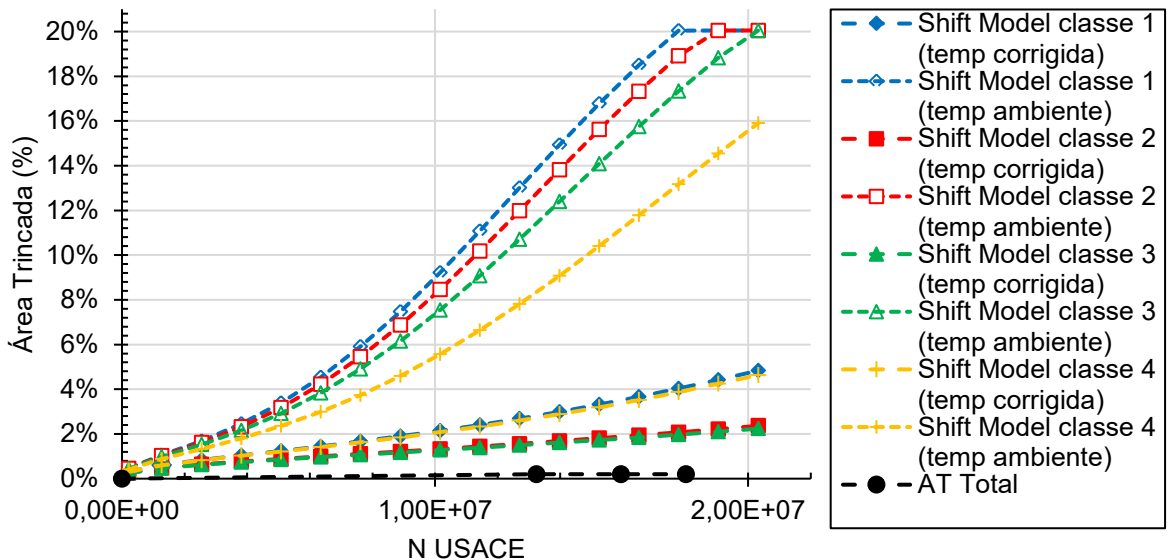
Figura AP 29 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA21

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Na Figura AP 30 (a), estão evidenciados os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 4 para a pista crescente, enquanto na Figura AP 30 (b) são apresentados os resultados relativos à pista decrescente.



(a) BR364/MT/626,000/CR/PS/UA21/Flex/Imp



(b) BR364/MT/626,000/DE/PS/UA21/Flex/Imp

Figura AP 30 – Previsão de Área Trincada Total para UA21

### 1.7 BR364/MT/588,000/PS/UA22/FLEX/IMP

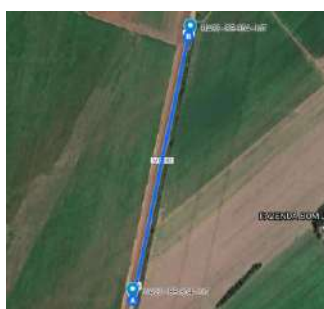
- Localização e espessura

Situada na unidade local de Cáceres, no Mato Grosso, a UA22 abrange um trecho de um quilômetro de extensão. A Figura AP 31 compreende registros fotográficos do local durante o primeiro ano do levantamento em 2013, fornecendo detalhes sobre a localização geográfica do trecho, imagens das sondagens efetuadas em campo durante o levantamento de 2014, bem como informações acerca das espessuras das camadas e dos materiais correspondentes.



Unidade de Amostragem 22:  
 Km 588+000 – Km 589+000  
 BR 364  
 Unidade Federal: Mato Grosso  
 Unidade Local: Cáceres  
 Data do levantamento: 14-15 de Julho de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	12
Base	Solo compactado	43
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 31 - Trecho experimental BR364/MT/588,000/PS/UA22/Flex/IMP

- Tráfego

A Tabela AP 13, para a pista crescente, apresenta a evolução do tráfego entre os anos de 2009 e 2017, e Tabela AP 14, para a pista decrescente, apresenta a evolução do tráfego entre os anos de 2007 e 2017. Ambas com os levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 13 – N acumulado do trecho BR364/MT/588,000/CR/PS/UA22/Flex/Imp**

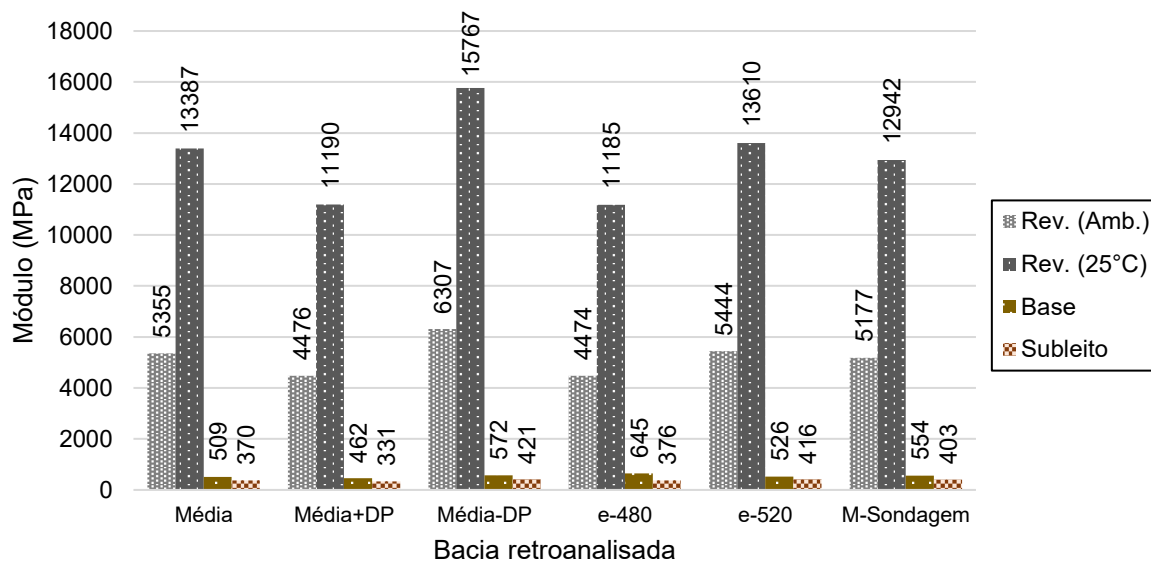
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2009	1,0	12	1,42E+06	6,50E+05	3,33E+06
2013	4,0	48	5,90E+06	2,75E+06	1,39E+07
2014	5,0	60	7,06E+06	3,24E+06	1,66E+07
2015	6,0	72	8,44E+06	3,88E+06	1,99E+07
2016	7,0	84	1,00E+07	4,65E+06	2,36E+07
2017	8,0	96	1,11E+07	5,19E+06	2,62E+07

**Tabela AP 14 – N acumulado do trecho BR364/MT/588,000/DE/PS/UA22/Flex/Imp**

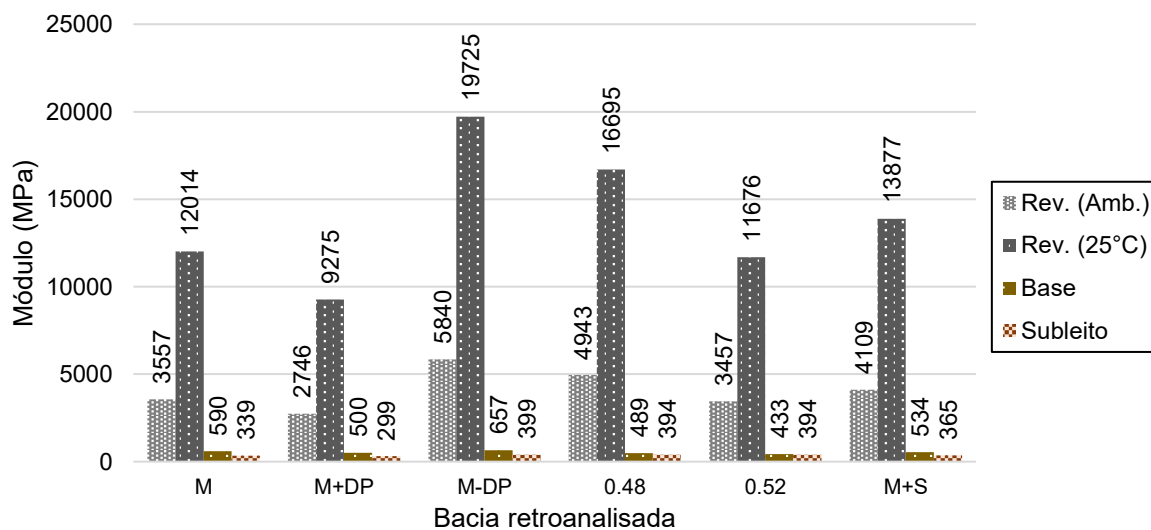
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2007	1,0	12	1,43E+06	6,66E+05	3,37E+06
2013	6,0	72	8,85E+06	4,12E+06	2,08E+07
2014	7,0	84	1,16E+06	4,61E+06	2,35E+07
2015	8,0	96	1,38E+06	5,25E+06	2,68E+07
2016	9,0	108	1,60E+06	6,03E+06	3,06E+07
2017	10,0	120	1,10E+06	6,56E+06	3,32E+07

- Retroanálise

Os resultados das retroanálises do levantamento FWD conduzido no ano de 2013 são destacados na Figura AP 32 (a) para a pista crescente e na Figura AP 32 (b) para a pista decrescente. Esses resultados seguem as metodologias descritas nos itens 2.2.5, abordando a retroanálise, e 2.2.6, tratando da correção da temperatura.



(a) BR364/MT/588,000/CR/PS/UA22/Flex/Imp

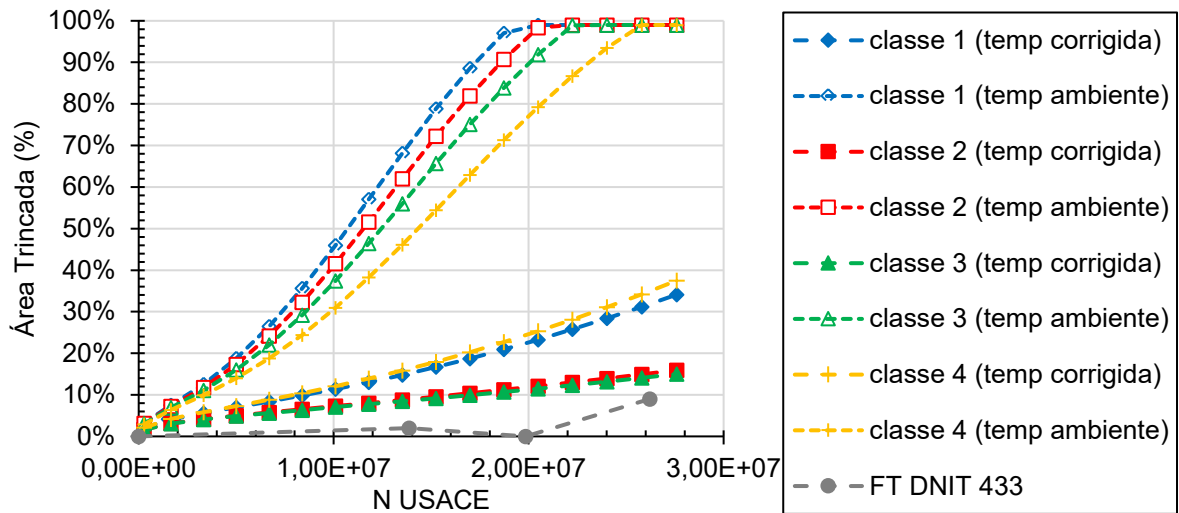


(b) BR364/MT/588,000/DE/PS/UA22/Flex/Imp

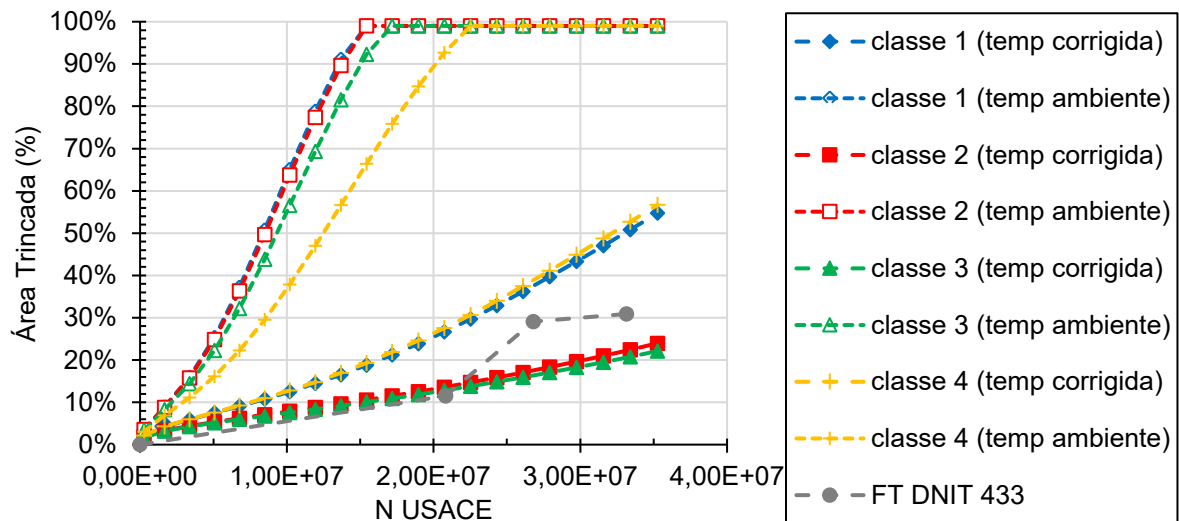
Figura AP 32 – Módulos retroanalizados para UA22

- Simulação de desempenho MeDiNa

Os dados das simulações de evolução da área trincada realizadas com o *software* MeDiNa, conforme exposto no item 2.2, são demonstrados na Figura AP 33. Esses resultados englobam as curvas considerando as quatro Classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperatura ambiente e corrigida, bem como os resultados dos levantamentos da Área Trincada segundo as três metodologias.



(a) BR364/MT/588,000/CR/PS/UA22/Flex/Imp

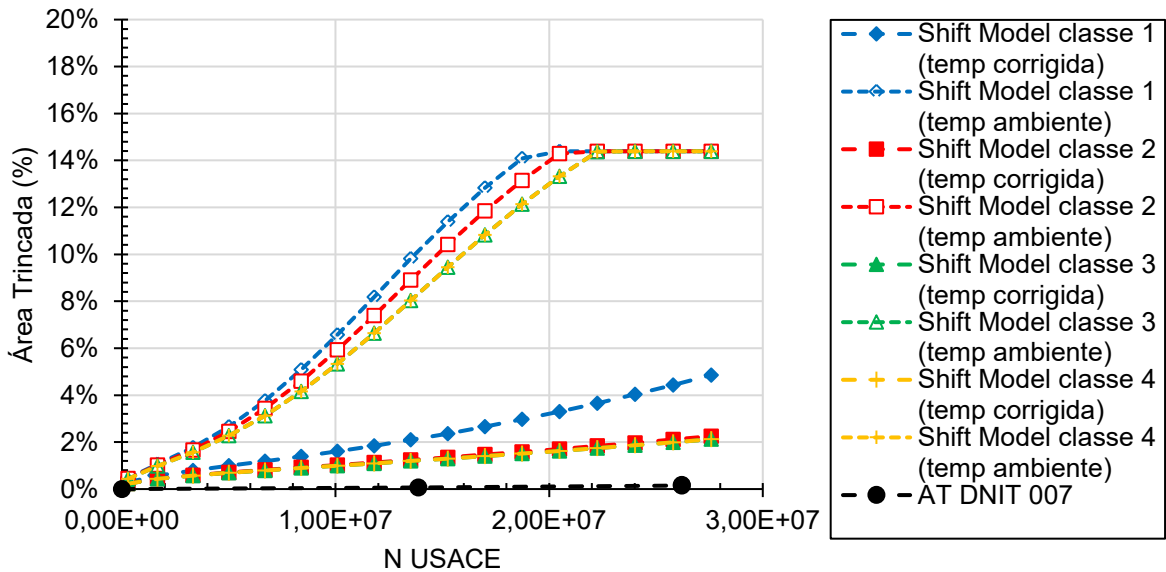


(b) BR364/MT/588,000/DE/PS/UA22/Flex/Imp

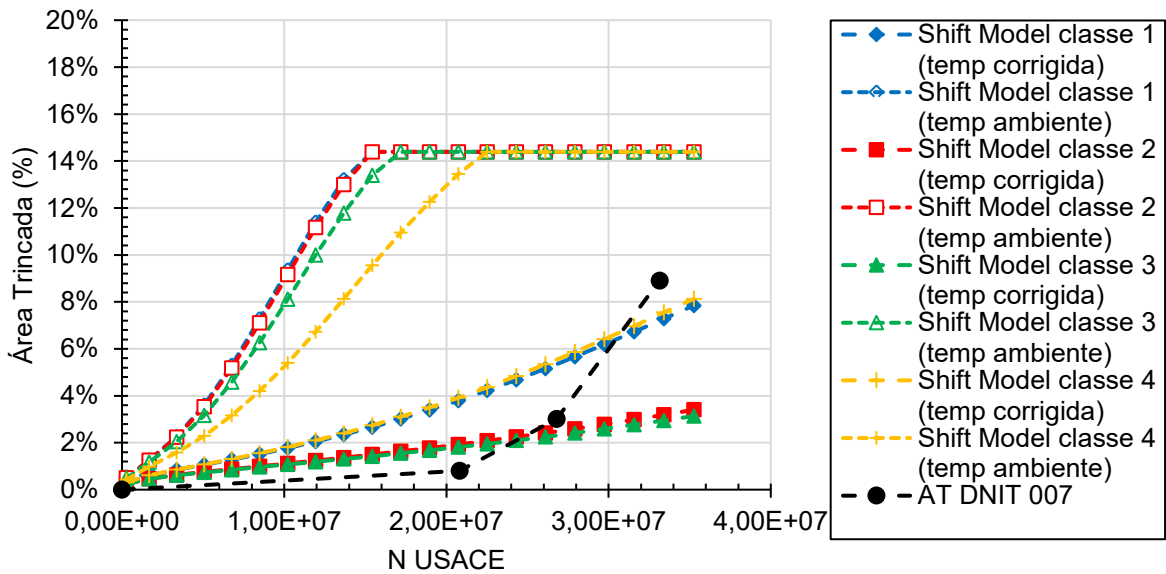
Figura AP 33 – Previsão de frequência de trincamento para UA22

• Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Na Figura AP 34 (a), estão evidenciados os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 4 para a pista crescente, enquanto na Figura AP 34 (b) são apresentados os resultados relativos à pista decrescente.



(a) BR364/MT/588,000/CR/PS/UA22/Flex/Imp

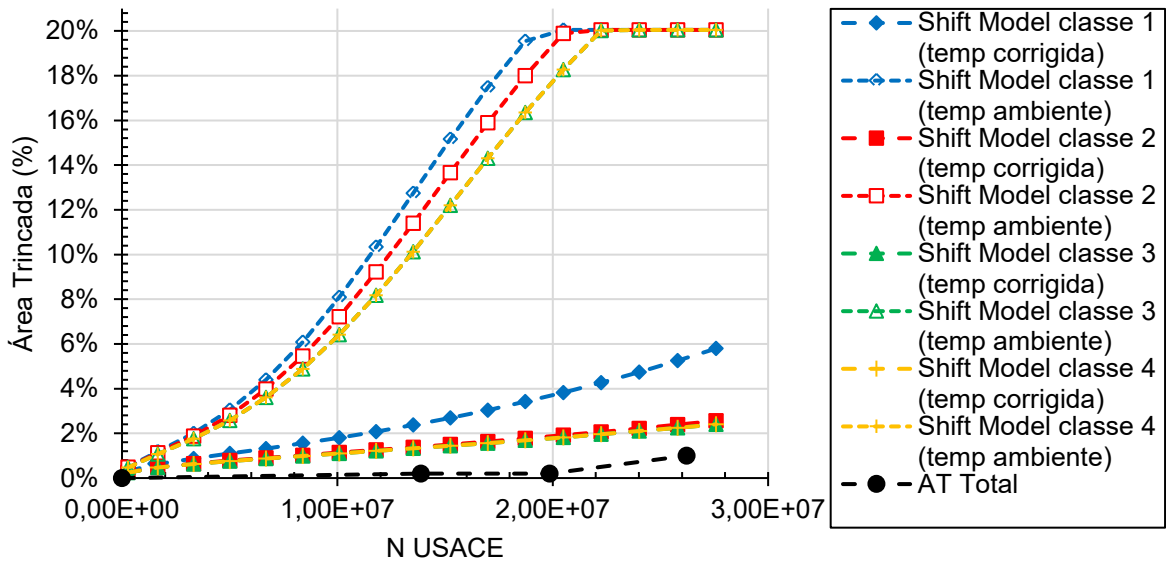


(b) BR364/MT/588,000/DE/PS/UA22/Flex/Imp

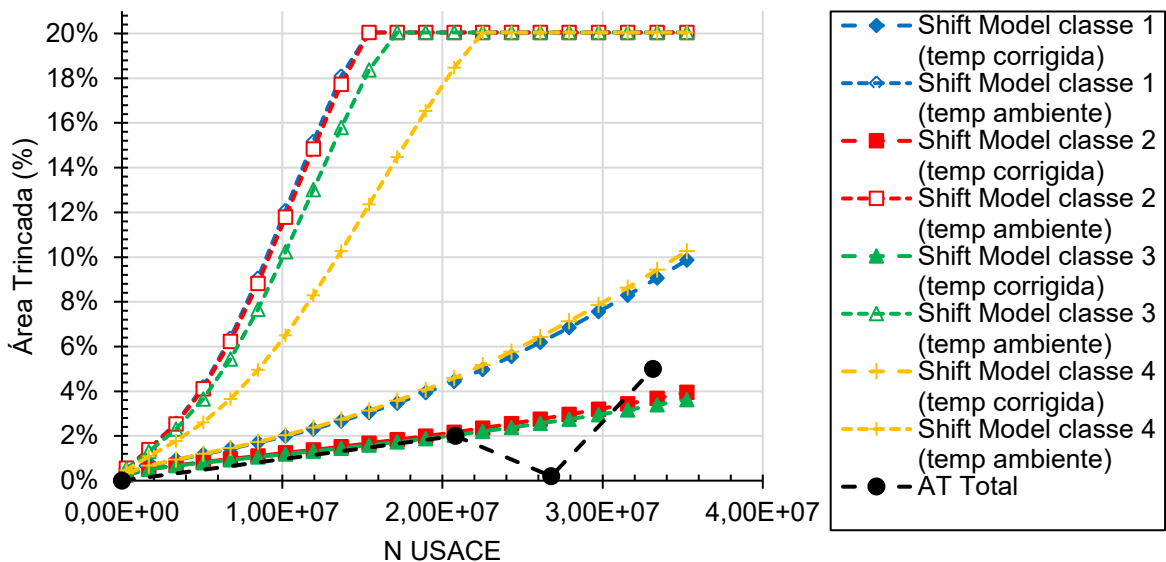
Figura AP 34 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA22

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Na Figura AP 35 (a), estão evidenciados os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 5 para a pista crescente, enquanto na Figura AP 35 (b) são apresentados os resultados relativos à pista decrescente.



(a) BR364/MT/588,000/CR/PS/UA22/Flex/Imp



(b) BR364/MT/588,000/DE/PS/UA22/Flex/Imp

Figura AP 35 – Previsão de Área Trincada Total para UA22

### 1.8 BR020/DF/030,000/PD2/UA41/FLEX/IMP

- Localização e espessura

A UA41, que abrange um quilômetro de extensão, está localizada no Distrito Federal. A Figura AP 36 disponibiliza imagens do local capturadas no primeiro ano do levantamento, em 2013, e apresenta informações detalhadas sobre a localização geográfica do trecho, as imagens das sondagens realizadas em campo no ano de 2014, bem como os dados referentes às espessuras das camadas e aos materiais utilizados.



Unidade de Amostragem 41:  
 Km 30+000 – Km 31+000  
 BR 20-DF  
 Unidade Federal: Distrito Federal  
 Unidade Local: Distrito Federal  
 Data do levantamento: 20 de Setembro de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	12
Base	Solo compactado	33
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 36 – Trecho experimental BR020/DF/030,000/PD2/UA41/Flex/IMP

- Tráfego

As Tabela AP 15, para a pista crescente, e Tabela AP 16, para a pista decrescente, apresentam a evolução do tráfego entre os anos de 2011 e 2017, com os levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 15 – N acumulado do trecho BR020/DF/030,00/CR/PS/UA41/Flex/Imp**

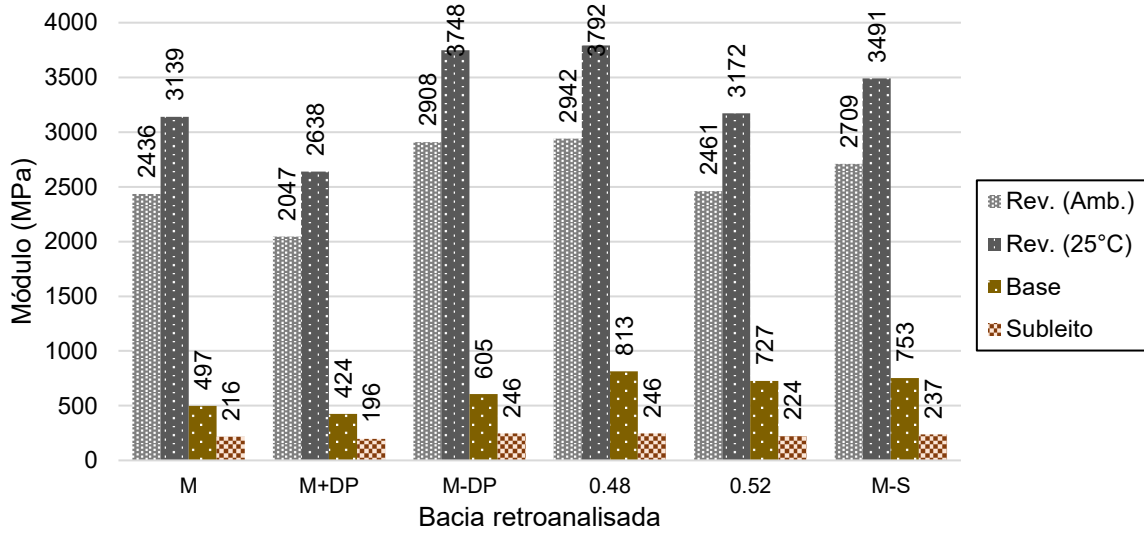
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2011	1,0	12	1,99E+06	1,07E+06	5,18E+06
2013	2,0	24	3,61E+06	1,94E+06	9,40E+06
2014	3,0	36	5,88E+06	3,13E+06	1,66E+07
2015	4,0	48	7,88E+06	4,18E+06	2,21E+07
2016	5,0	60	9,61E+06	5,09E+06	2,58E+07
2017	6,0	72	1,14E+07	6,12E+06	3,00E+07

**Tabela AP 16 – N acumulado do trecho BR020/DF/030,00/DE/PS/UA41/Flex/Imp**

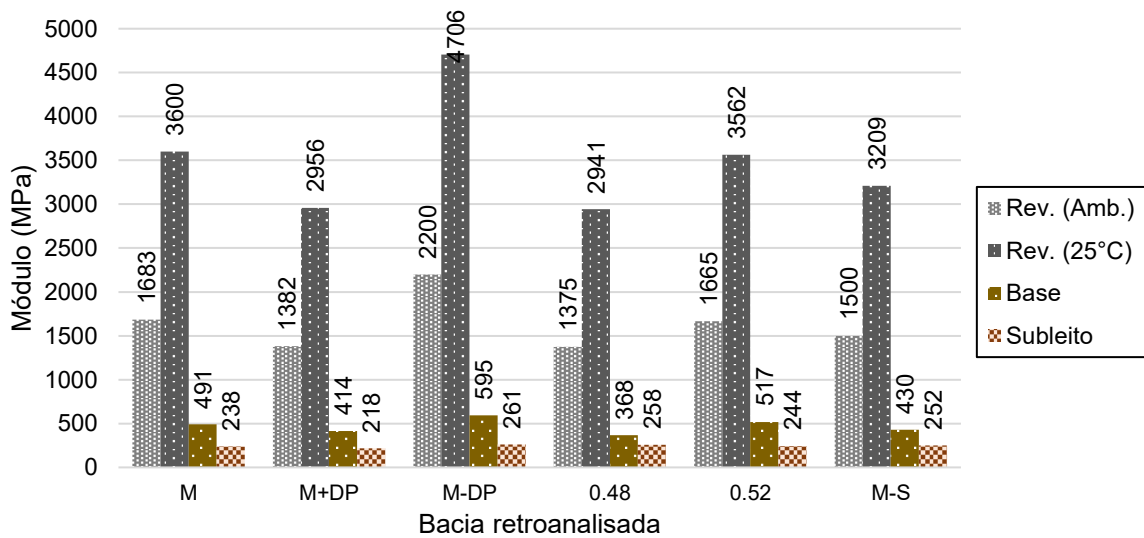
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2011	1,0	12	1,99E+06	1,07E+06	5,18E+06
2013	2,0	24	3,61E+06	1,94E+06	9,40E+06
2014	3,0	36	5,88E+06	3,13E+06	1,66E+07
2015	4,0	48	7,88E+06	4,18E+06	2,21E+07
2016	5,0	60	9,61E+06	5,09E+06	2,58E+07
2017	6,0	72	1,14E+07	6,12E+06	3,00E+07

- Retroanálise

Na Figura AP 37 (a) e (b), são apresentados os resultados da retroanálise realizada para o levantamento com FWD de 2013, referentes à pista crescente e à pista decrescente, respectivamente. As metodologias aplicadas estão detalhadas nos itens 2.2.5, relacionadas à retroanálise, e 2.2.6, abordando a correção da temperatura.



(a) BR020/DF/030,00/CR/PS/UA41/Flex/Imp

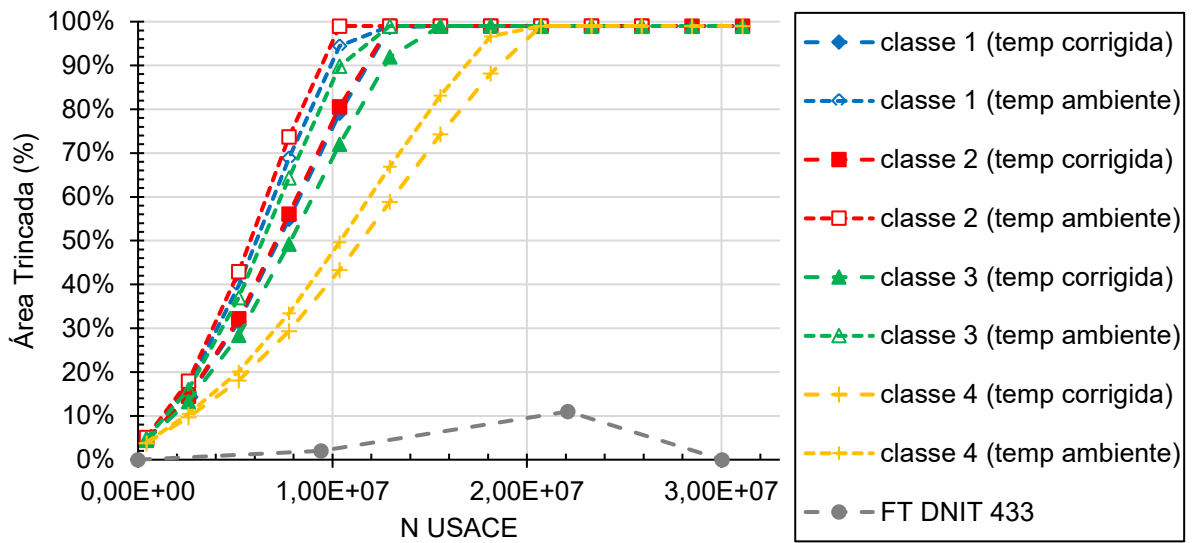


(b) BR020/DF/030,00/DE/PS/UA41/Flex/Imp

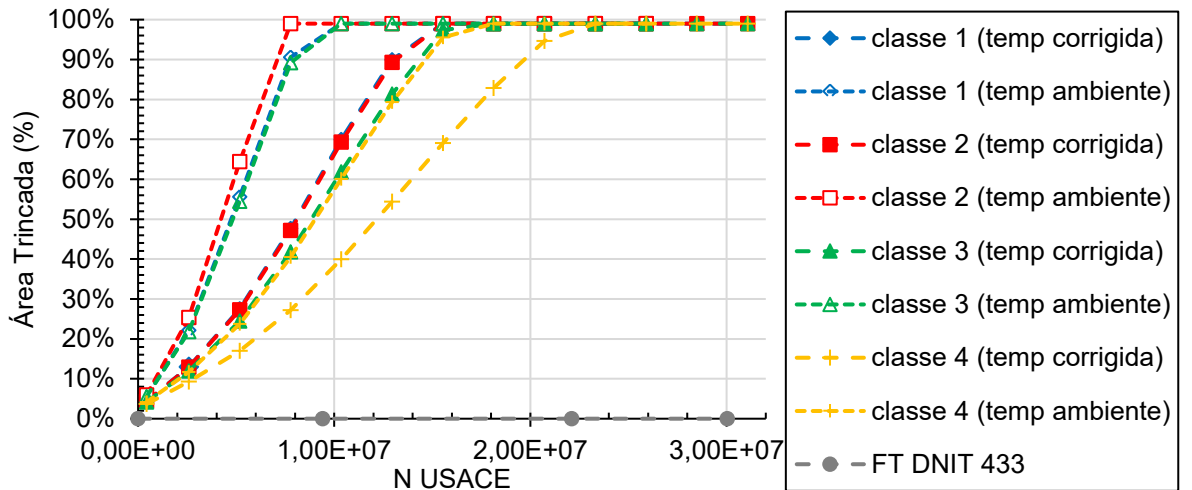
Figura AP 37 – Módulos retroanalizados para UA41

- Simulação de desempenho MeDiNa

Na Figura AP 38, são apresentados os resultados das simulações de evolução da área trincada utilizando o *software* MeDiNa, conforme explicado no item 2.2. São mostradas as curvas considerando as quatro classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperaturas ambiente e corrigida, juntamente com os resultados dos levantamentos da Área Trincada segundo as três metodologias.



(a) BR020/DF/030,00/CR/PS/UA41/Flex/Imp

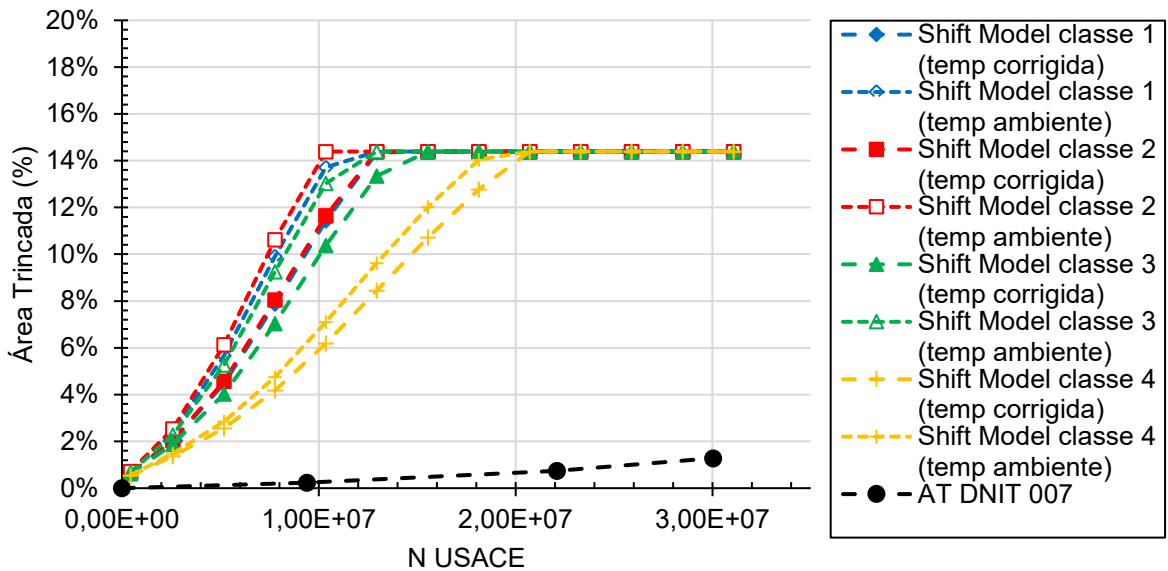


(b) BR020/DF/030,00/DE/PS/UA41/Flex/Imp

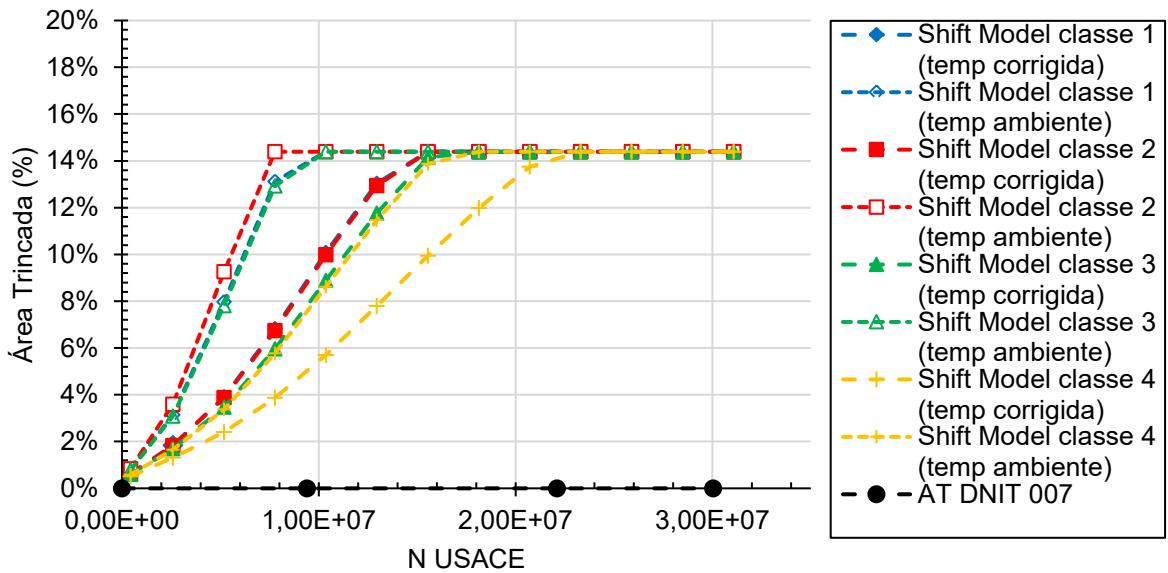
Figura AP 38 – Previsão de frequência de trincamento para UA41

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Os resultados da simulação, conduzida com o MeDiNa e aplicando o *Shift Model* da Equação 4, foram consolidados na Figura AP 39 (a) para a pista crescente e na Figura AP 39 (b) para a pista decrescente.



(a) BR020/DF/030,00/CR/PS/UA41/Flex/Imp

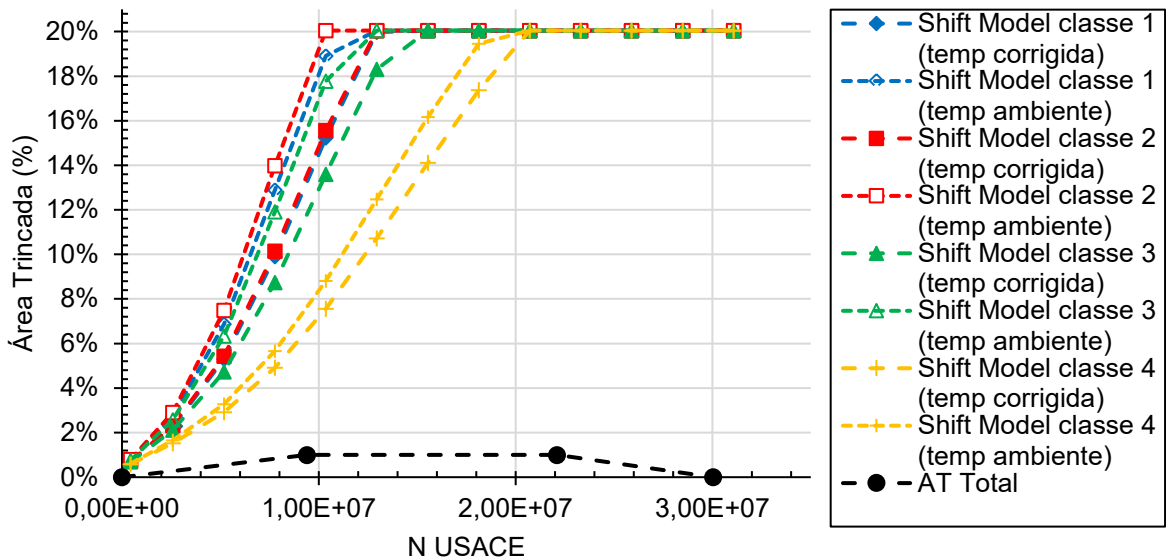


(b) BR020/DF/030,00/DE/PS/UA41/Flex/Imp

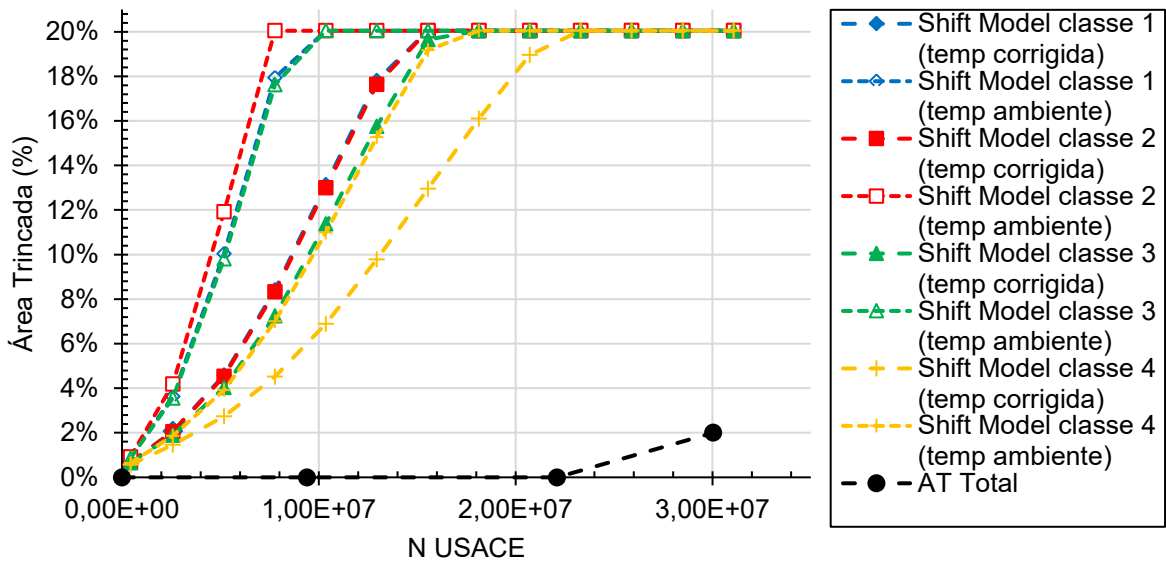
Figura AP 39 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA41

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Os resultados da simulação, conduzida com o MeDiNa e aplicando o *Shift Model* da Equação 5, foram consolidados na Figura AP 40 (a) para a pista crescente e na Figura AP 40 (b) para a pista decrescente.



(a) BR020/DF/030,00/CR/PS/UA41/Flex/Imp



(b) BR020/DF/030,00/DE/PS/UA41/Flex/Imp

Figura AP 40 – Previsão de Área Trincada Total para UA41

### 1.9 BR282/SC/343,000/PS/UA48/FLEX/IMP

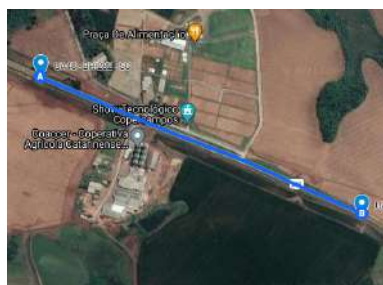
- Localização e espessura

Com um quilômetro de extensão, a UA48 está situada na unidade local de Joaçaba, no estado de Santa Catarina. Na Figura AP 41, são exibidas fotografias do local realizadas durante o primeiro ano do levantamento, em 2013, e são apresentados dados relativos à localização geográfica do trecho, às imagens das sondagens efetuadas em campo durante o levantamento de 2014, bem como às espessuras das camadas e aos materiais correspondentes.



Unidade de Amostragem 48:  
 Km 343+000 – Km 344+000  
 BR 282  
 Unidade Federal: Santa Catarina  
 Unidade Local: Joaçaba  
 Data do levantamento: 07 de Outubro de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho



(c) Sondagem realizada



(d) Sondagem realizada

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	10
Base	BGS	45
Subleito	Solo	-

(e) Estrutura levantada

Figura AP 41 – Trecho experimental BR282/SC/343,000/PS/UA48/Flex/IMP

- Tráfego

As Tabela AP 17, para a pista crescente, e Tabela AP 18, para a pista decrescente, apresentam a evolução do tráfego entre os anos de 2007 e 2017, com os levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 17 – N acumulado do trecho BR382/CS/343,000/CR/PS/UA48/Flex/Imp**

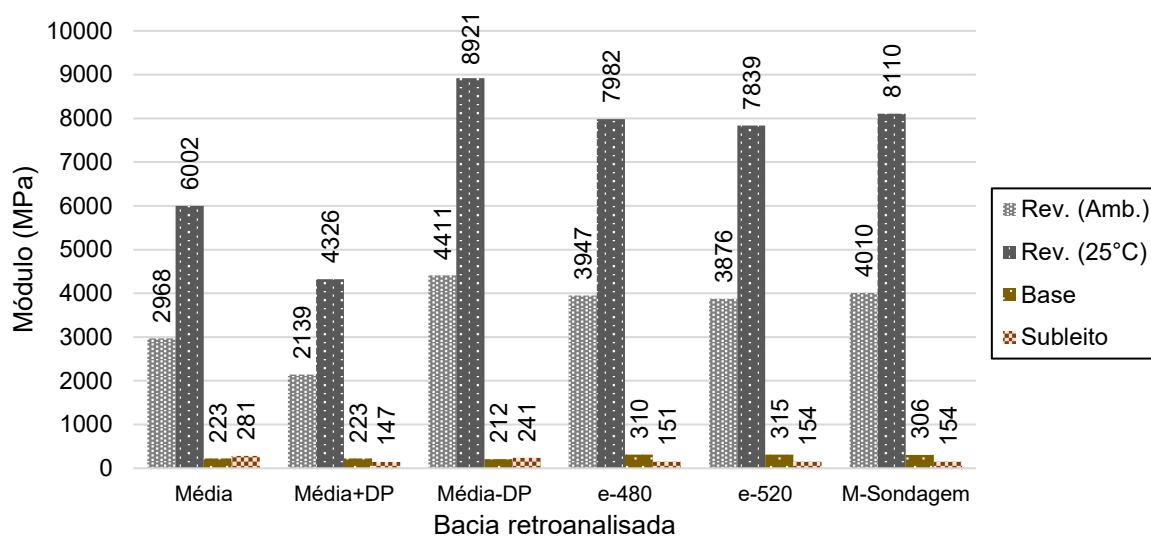
Ano	Tempo (anos)		N Anual (ESALF)	N Anual (AASHTLO)	N Anual (USACE)
2007	1,0	12	9,48E+05	5,12E+05	2,22E+06
2013	6,0	72	5,62E+06	3,03E+06	1,32E+07
2014	7,0	84	6,79E+06	3,62E+06	1,63E+07
2015	8,0	96	7,67E+06	4,09E+06	1,84E+07
2016	9,0	108	8,25E+06	4,44E+06	1,95E+07
2017	10,0	120	9,22E+06	4,96E+06	2,17E+07

**Tabela AP 18 – N acumulado do trecho BR382/CS/343,000/DE/PS/UA48/Flex/Imp**

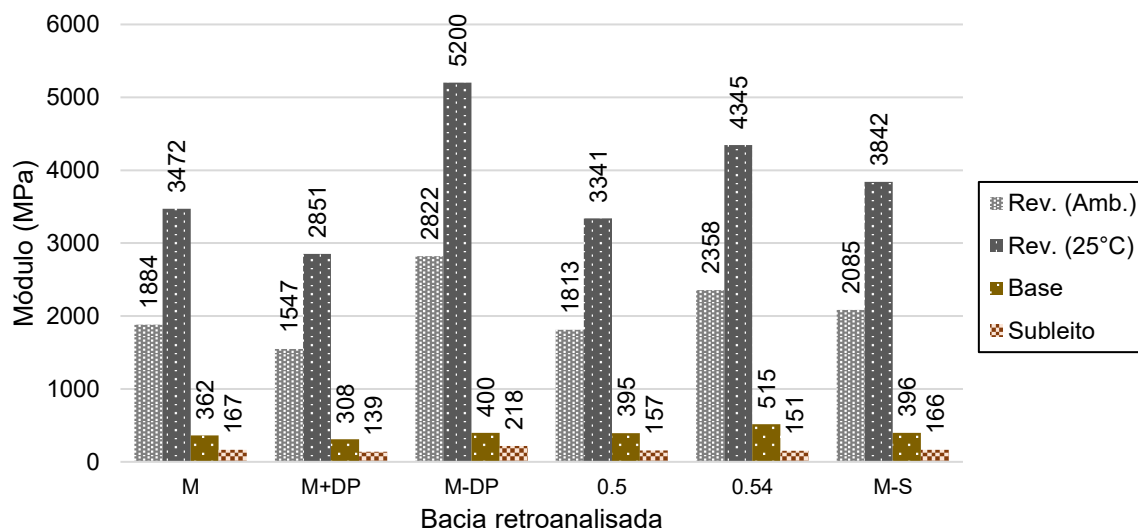
ANO	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2007	1,0	12	9,48E+05	5,12E+05	2,22E+06
2013	6,0	72	5,62E+06	3,03E+06	1,32E+07
2014	7,0	84	6,79E+06	3,62E+06	1,63E+07
2015	8,0	96	7,67E+06	4,09E+06	1,84E+07
2016	9,0	108	8,25E+06	4,44E+06	1,95E+07
2017	10,0	120	9,22E+06	4,96E+06	2,17E+07

• Retroanálise

Os resultados da retroanálise efetuada para o levantamento com FWD do ano de 2013 são evidenciados na Figura AP 42 (a), relativa à pista crescente, e na Figura AP 42 (b), correspondente à pista decrescente. Tais resultados são obtidos seguindo as metodologias discutidas nos itens 2.2.5, concernente à retroanálise, e 2.2.6, enfocando a correção da temperatura.



(a) BR382/CS/343,000/CR/PS/UA48/Flex/Imp

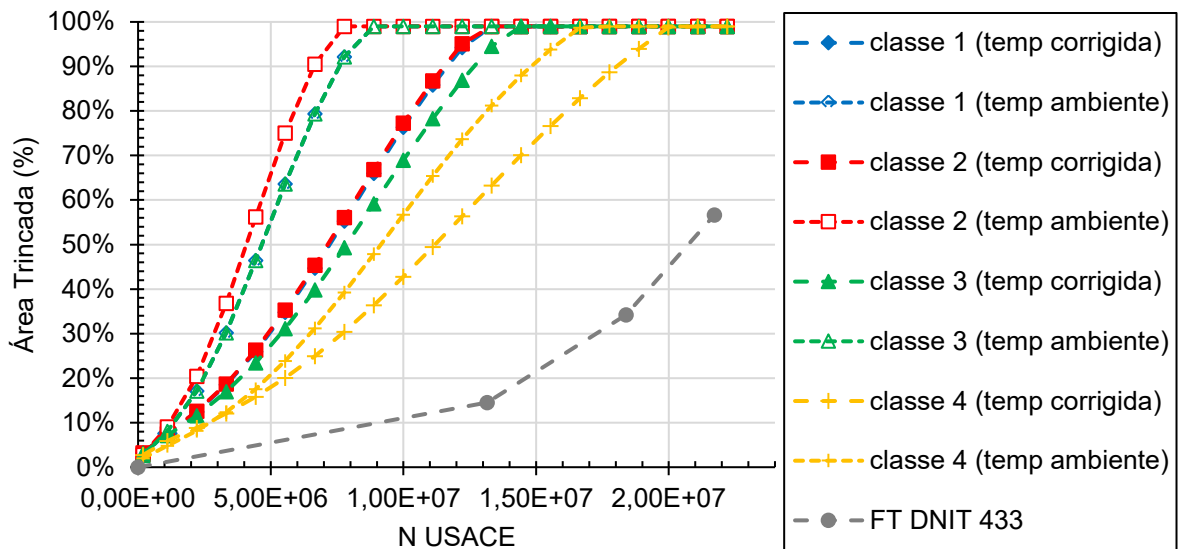


(b) BR382/CS/343,000/DE/PS/UA48/Flex/Imp

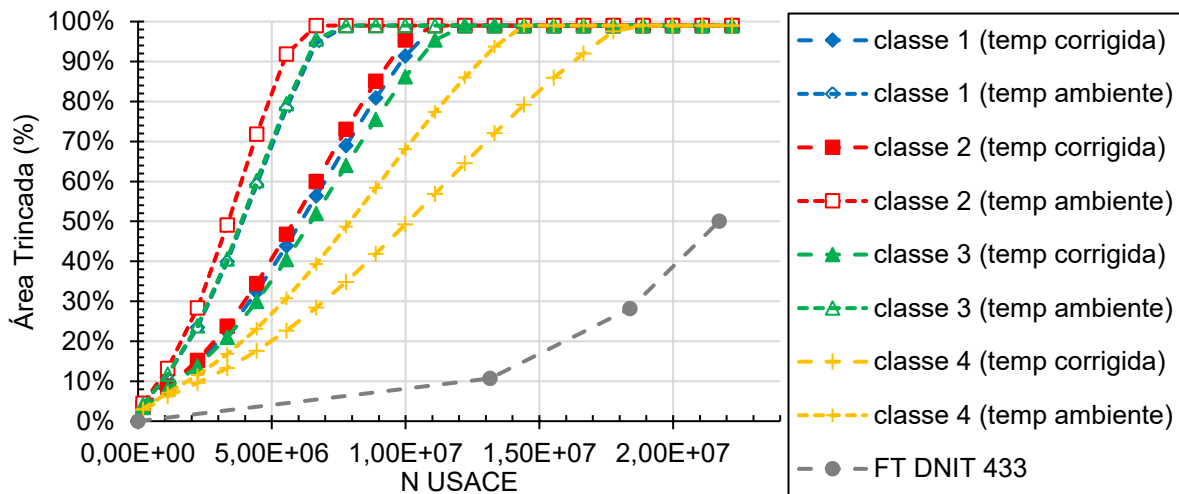
Figura AP 42 – Módulos retroanalizados para UA48

- Simulação de desempenho MeDiNa

Os resultados das simulações referentes à progressão da área trincada, realizadas por meio do *software* MeDiNa conforme descrito no item 2.2, estão detalhados na Figura AP 43. Estão representadas as curvas considerando as quatro Classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperaturas ambiente e corrigida, juntamente com os resultados dos levantamentos da Área Trincada conforme as três metodologias.



(a) BR382/CS/343,000/CR/PS/UA48/Flex/Imp

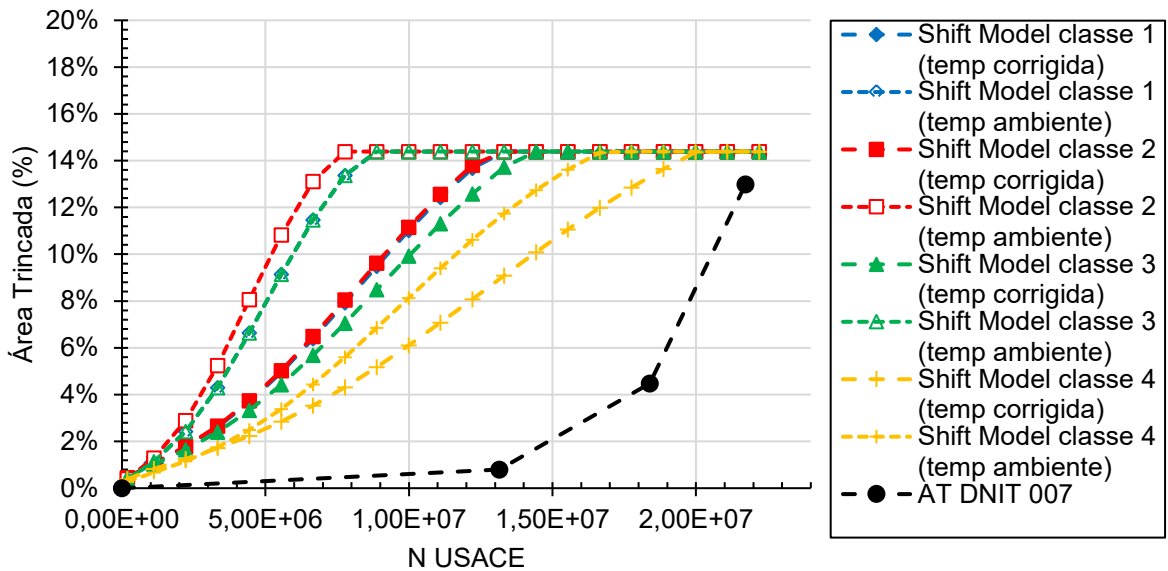


(b) BR382/CS/343,000/DE/PS/UA48/Flex/Imp

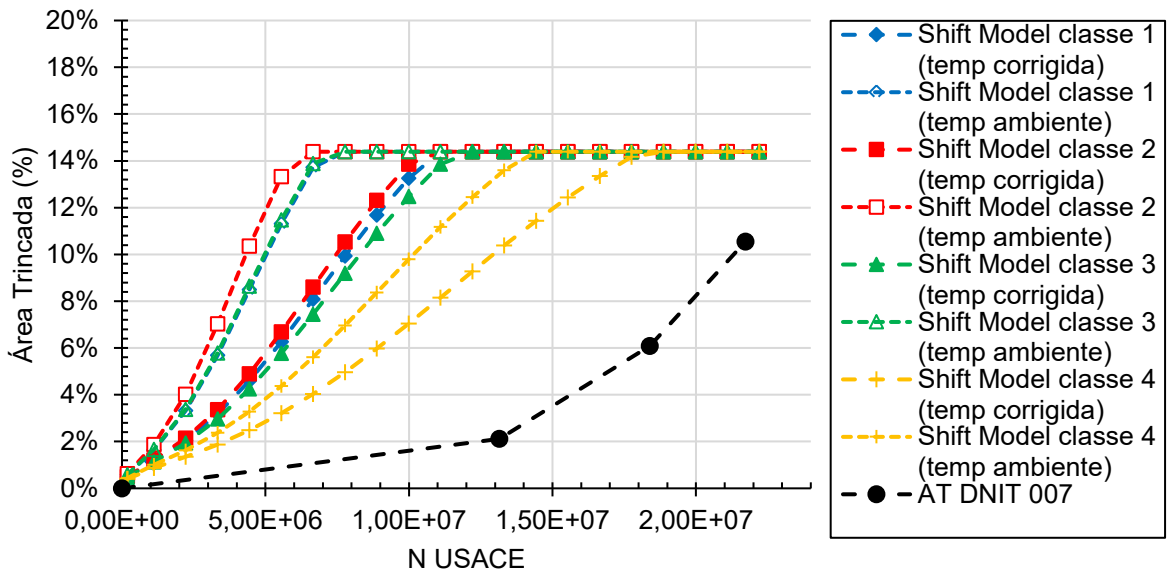
Figura AP 43 – Previsão de frequência de trincamento para UA48

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Na Figura AP 44 (a), encontram-se os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 4 para a pista crescente, ao passo que na Figura AP 44 (b) estão os resultados correspondentes à pista decrescente.



(a) BR382/CS/343,000/CR/PS/UA48/Flex/Imp

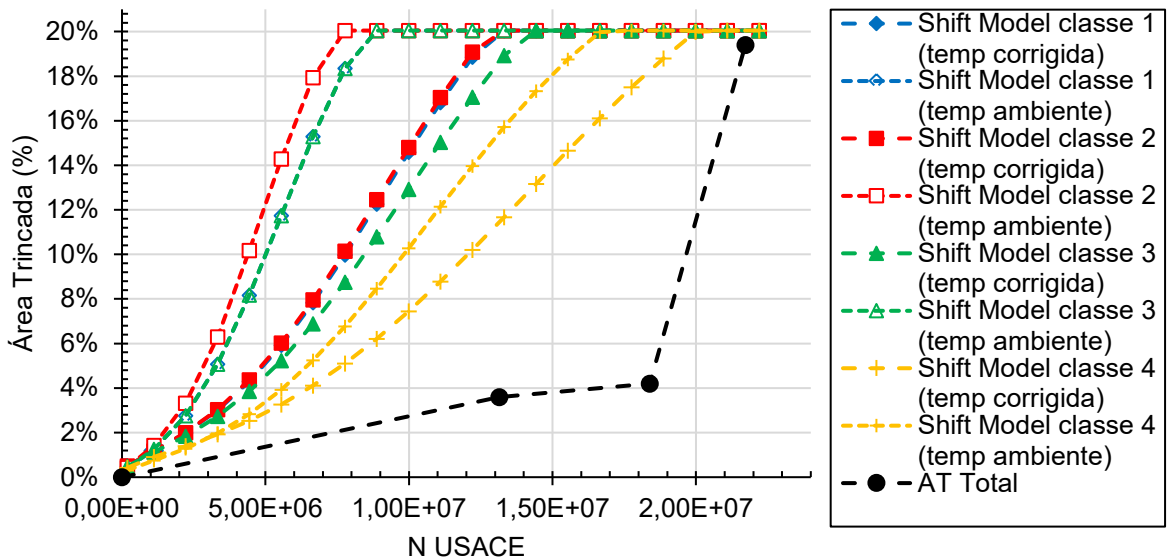


(b) BR382/CS/343,000/DE/PS/UA48/Flex/Imp

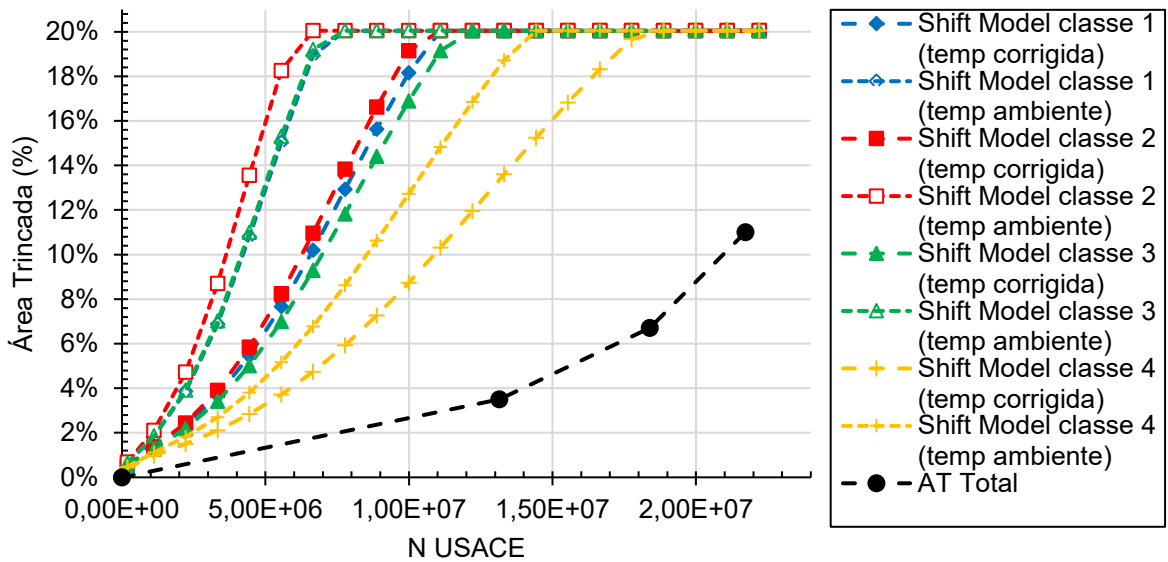
Figura AP 44 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA48

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Na Figura AP 45 (a), encontram-se os resultados da simulação realizada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 5 para a pista crescente, ao passo que na Figura AP 45 (b) estão os resultados correspondentes à pista decrescente.



(a) BR382/CS/343,000/CR/PS/UA48/Flex/Imp



(b) BR382/CS/343,000/DE/PS/UA48/Flex/Imp

Figura AP 45 – Previsão de Área Trincada Total para UA48

### 1.10 BR282/SC/203,000/PS/UA49/FLEX/IMP

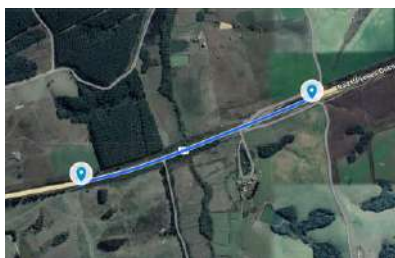
- Localização e espessura

A UA49 está localizada na unidade local de Joaçaba, em Santa Catarina, e abrange um trecho com um quilômetro de extensão. A Figura AP 46 contém fotografias do local capturadas no primeiro ano do levantamento, em 2013, além de informações sobre a localização geográfica do trecho, as imagens das sondagens realizadas em campo durante o levantamento do ano de 2014 e os detalhes das espessuras das camadas e os respectivos materiais.



Unidade de Amostragem 49:  
 Km 203+000 – Km 204+000  
 BR 282  
 Unidade Federal: Santa Catarina  
 Unidade Local: Joaçaba  
 Data do levantamento: 08 de Outubro de 2013

(a) Imagem do trecho experimental em 2013



(b) Localização do trecho

Camada	Descrição	Espessura (cm)
Revestimento	CBUQ	10
Base	BGS	33
Subleito	Solo	-

(c) Estrutura levantada

**Figura AP 46 – Trecho experimental BR282/SC/203,000/PS/UA49/Flex/IMP**

- Tráfego

As Tabela AP 19, para a pista crescente, e Tabela AP 20, para a pista decrescente, apresentam a evolução do tráfego entre os anos de 2007 e 2017, com os levantamentos de contagem de veículos e pesagens realizados nos anos de 2014, 2016 e 2017.

**Tabela AP 19 – N acumulado do trecho BR282/SC/203,000/CR/PS/UA49/Flex/Imp**

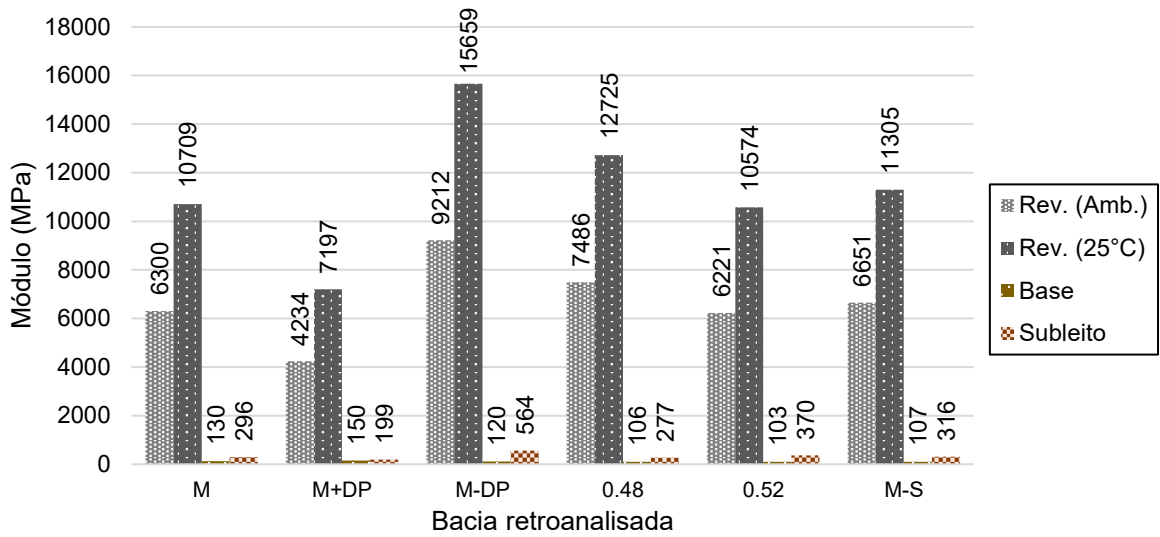
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2007	1,0	12	3,79E+05	2,08E+05	1,12E+06
2013	6,0	72	1,52E+06	8,36E+05	4,51E+06
2014	7,0	84	2,11E+06	1,17E+06	6,17E+06
2015	8,0	96	2,85E+06	1,58E+06	8,35E+06
2016	9,0	108	3,75E+06	2,07E+06	1,11E+07
2017	10,0	120	4,51E+06	2,48E+06	1,34E+07

**Tabela AP 20 – N acumulado do trecho BR282/SC/203,000/DE/PS/UA49/Flex/Imp**

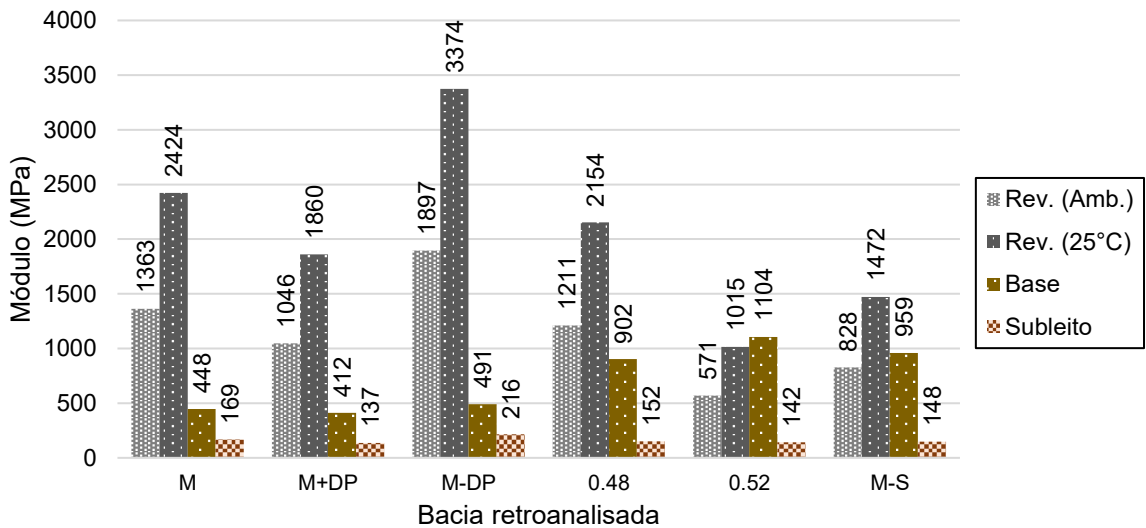
Ano	Tempo (anos)	Tempo (meses)	N Acumulado (ESALF)	N Acumulado (AASHTO)	N Acumulado (USACE)
2007	1,0	12	3,79E+05	2,08E+05	1,12E+06
2013	6,0	72	1,52E+06	8,36E+05	4,51E+06
2014	7,0	84	2,11E+06	1,17E+06	6,17E+06
2015	8,0	96	2,85E+06	1,58E+06	8,35E+06
2016	9,0	108	3,75E+06	2,07E+06	1,11E+07
2017	10,0	120	4,51E+06	2,48E+06	1,34E+07

- Retroanálise

Na Figura AP 47 (a) e (b), encontram-se os resultados da retroanálise efetuada para o levantamento com FWD realizado no ano de 2013, contemplando, respectivamente, a pista crescente e a pista decrescente. A obtenção desses resultados está em conformidade com as metodologias delineadas nos itens 2.2.5, abordando a retroanálise, e 2.2.6, enfocando a correção da temperatura.



(a) BR282/SC/203,000/CR/PS/UA49/Flex/Imp

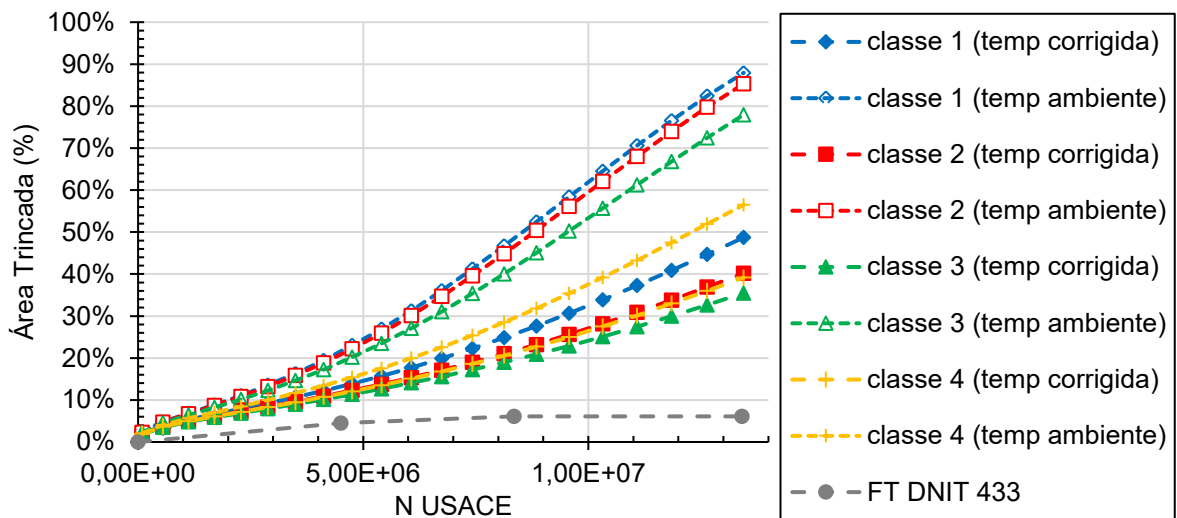


(b) BR282/SC/203,000/DE/PS/UA49/Flex/Imp

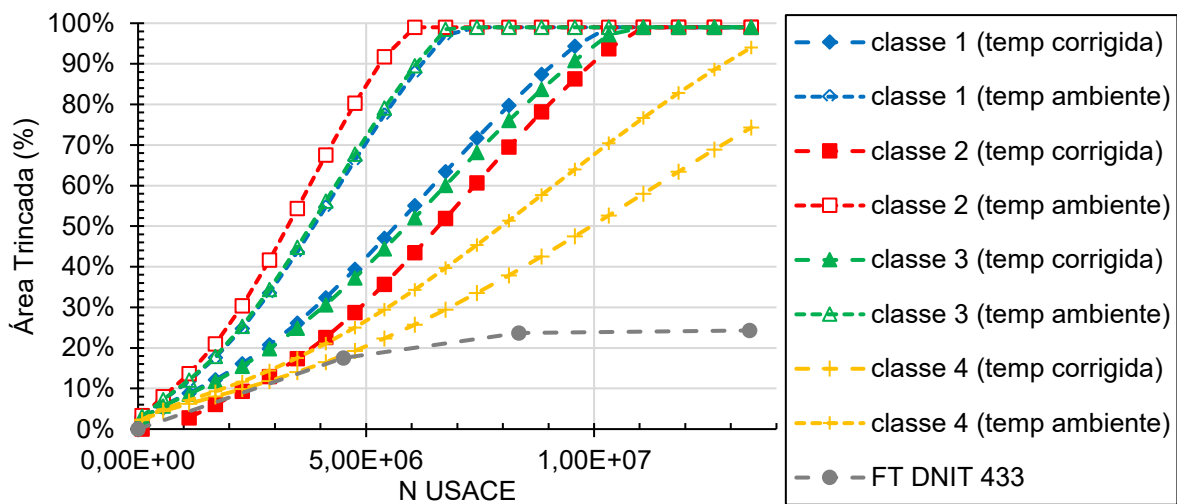
Figura AP 47 – Módulos retroanalizados para UA49

- Simulação de desempenho MeDiNa

Na Figura AP 48, estão expostos os resultados das simulações de expansão de área trincada realizadas por meio do *software* MeDiNa, conforme detalhado no item 2.2. As representações gráficas exibem as curvas relacionadas às quatro classes de mistura asfáltica do MeDiNa para temperaturas ambiente e corrigida. Além disso, são fornecidos os desempenhos dos levantamentos de Área Trincada de acordo com as três metodologias.



(a) BR282/SC/203,000/CR/PS/UA49/Flex/Imp

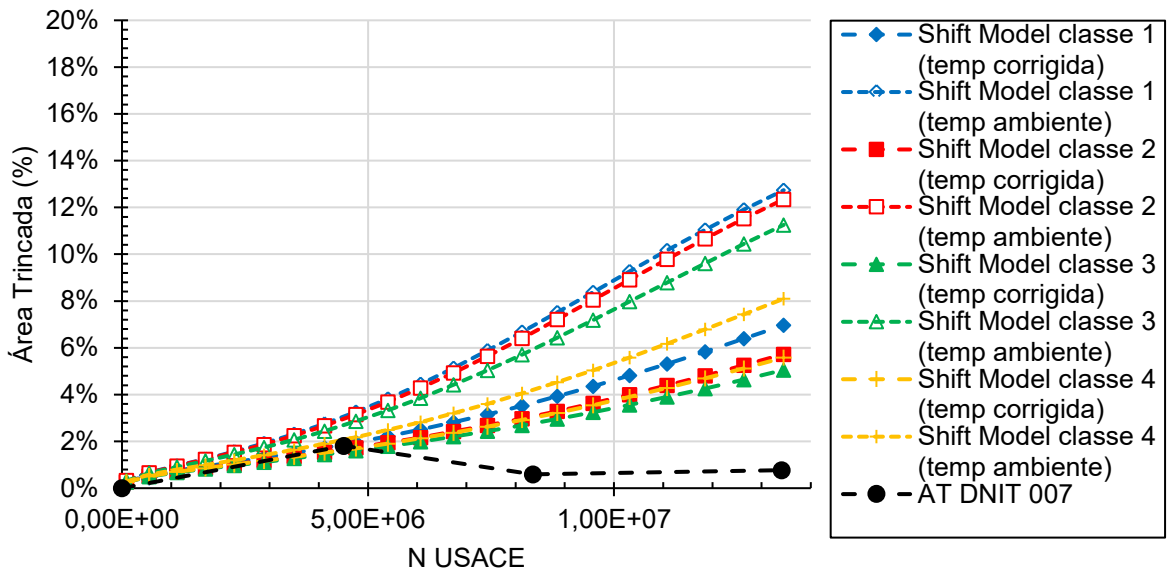


(b) BR282/SC/203,000/DE/PS/UA49/Flex/Imp

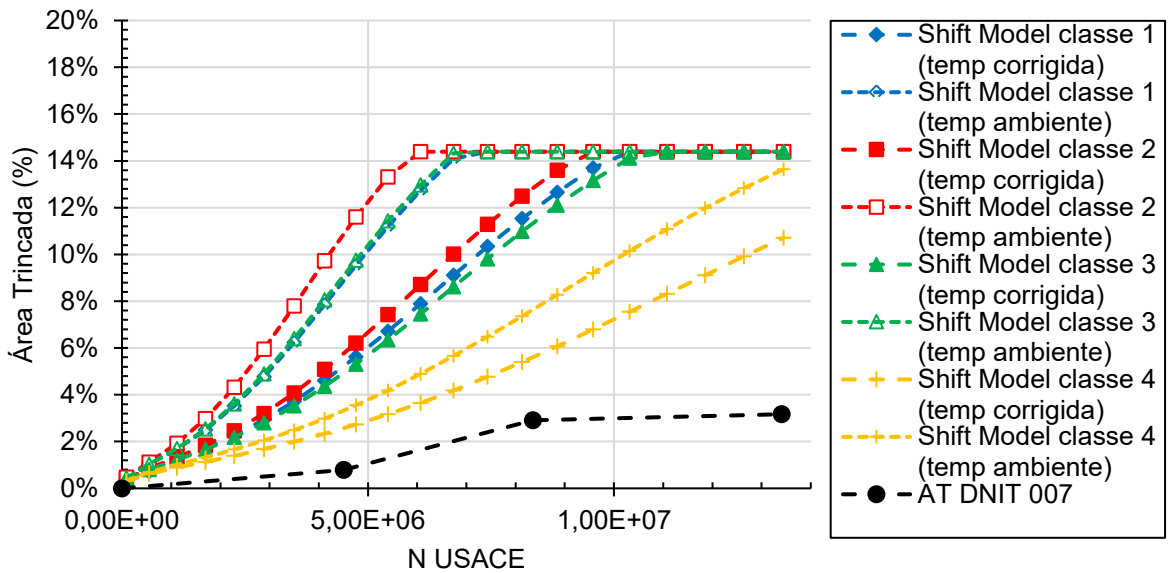
Figura AP 48 – Previsão de frequência de trincamento para UA49

• Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada DNIT 007/2003 – PRO

Os resultados da simulação efetuada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 4 estão disponíveis na Figura AP 49 (a) para a pista crescente, e na Figura AP 49 (b) para a pista decrescente.



(a) BR282/SC/203,000/CR/PS/UA49/Flex/Imp

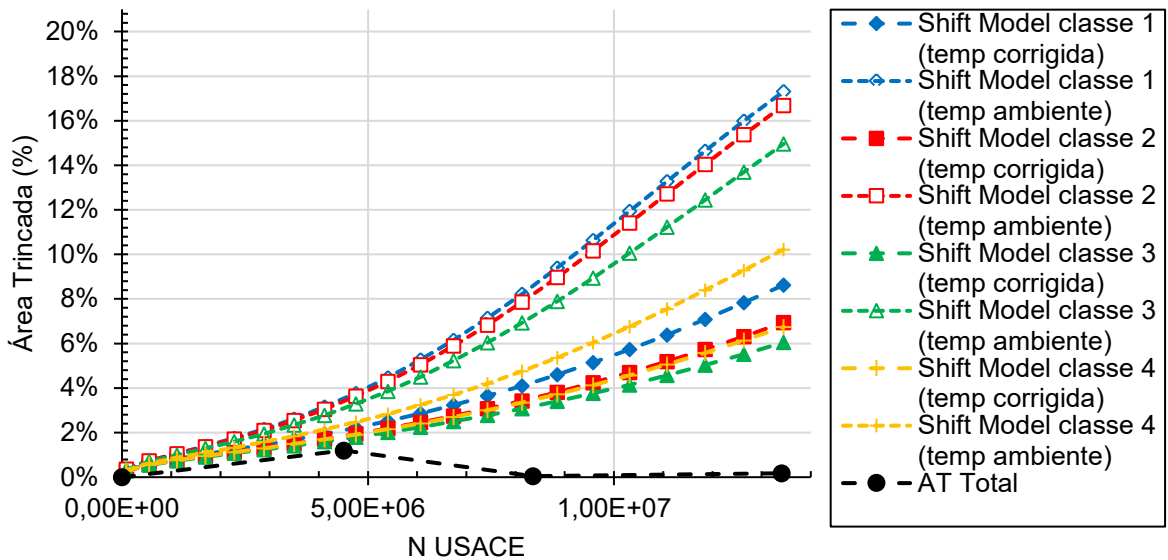


(b) BR282/SC/203,000/DE/PS/UA49/Flex/Imp

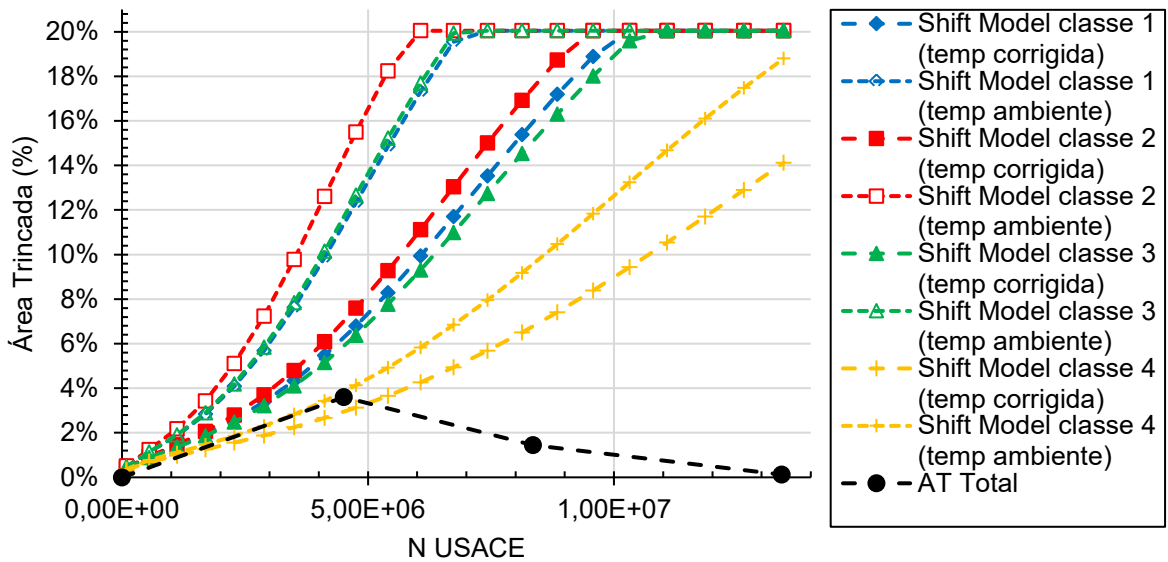
Figura AP 49 – Previsão de Área Trincada DNIT 007/2003 para UA49

- Aplicação do *Shift Model* para Área Trincada Total

Os resultados da simulação efetuada pelo MeDiNa com a aplicação do *Shift Model* da Equação 5 estão disponíveis na Figura AP 50 (a) para a pista crescente, e na Figura AP 50 (b) para a pista decrescente.



(a) BR282/SC/203,000/CR/PS/UA49/Flex/Imp



(b) BR282/SC/203,000/DE/PS/UA49/Flex/Imp

Figura AP 50 – Previsão de Área Trincada Total para UA4

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- a) BUENO, L. D. Contribuição Para a Previsão Empírico-Mecanicista Da Irregularidade Longitudinal E Seus Desdobramentos Econômicos Em Pavimentos Asfálticos. UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2019.
- b) CHANG, C., SAENZ, D., ABDALLAH, I.N., WIMSATT, A., FREEMAN, T., FERNANDO, E. G.. TxDOT Guidelines to Assign PMIS Treatment Levels. FHWA/Tx-14/0-6673-P1. Austin, Texas, 2014.
- c) ANDRADE, L.R., BESSA, I.S., VASCONCELOS, K.L., BERNUCCI, L. L. Structural Performance Using Deflection Basin Parameters of Asphalt Pavements with Different Base Materials Under Heavy Traffic. Int. J. Pavement Res. Technol. 17, 1353–1366 (2024). <https://doi.org/10.1007/s42947-023-00307-w>.
- d) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 005/2003 - TER - Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia. Rio de Janeiro. 2003. 12 p.
- a) 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 semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos - Procedimento. Rio de Janeiro. 2003. 11 p.
- e) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Calibração e Aferição dos do Modelo HDM-4 para as Condições da Rede de Rodovias do Brasil Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR. Brasília.
- f) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 134/2018 - ME – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2018. 18 p.
- g) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 183/2018 - ME – Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2018. 15 p.

- h) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 135/2018 - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2018. 13 p.
- i) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. NORMA DNIT 184/2018 - ME – Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio. Rio de Janeiro. 2018. 15 p.
- j) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 433/2021 - PRO - Levantamento do percentual de área trincada e afundamento de trilha de roda de pavimentos asfálticos em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão. Brasília - DF. 2021. 9 p.
- k) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Brasil. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Guia para Execução de Segmentos Experimentais – PRO - MeDiNa. 1ª Edição – Brasília- DF. – 2020. 65. (IPR.Publicação – 749).
- l) FRITZEN, M. A. Desenvolvimento e validação de função de transferência para previsão do fano por fadiga em pavimentos asfálticos. UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- m) MOHSENI, A. LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperature Models. v. 7, 199.
- n) NASCIMENTO, L. A. H. Implementation and Validation of the Viscoelastic Continuum Damage Theory for Asphalt Mixture and Pavement Analysis in Brazil. North Carolina State University, 2015.