

Método MeDiNa: Avanços e Perspectivas

Professor Márcio Muniz de Farias, PhD (UnB)

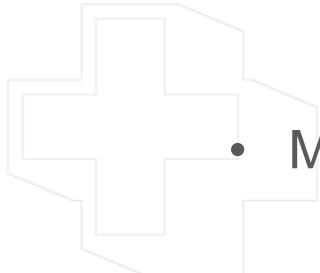
Professor Raul Tadeu Lobato Ferreira, MsC (UFMT)

Apoio: Equipe TED 352/2020



Roteiro da apresentação

- TED 352/2020;
- Princípios gerais de um método mecanístico-empírico
- MeDiNa;
- Principais limitações:
 - Base de dados;
 - Aderência entre camadas;
 - Metodologia de medição de área trincada;
 - Metodologia de ajuste proposta por Almeida *et al.* (2024).





TED 352/2020

APRIMORAMENTO E CONSOLIDAÇÃO DO MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE DIMENSIONAMENTO PARA PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS (MEDINA) E ESTUDOS COMPLEMENTARES COM GEOSSINTÉTICOS E DRENAGEM PARA PAVIMENTOS FERROVIÁRIOS



TED 352/2020: Termo de Execução Descentralizada(TED) assinado entre o DNIT e a UnB no dia 28 de maio do 2020. Duração do TED 60 meses.



Infralab:



Laboratório de hidromecânica



Laboratório de solos



Laboratório de ligantes



Laboratório de misturas

Infralab:

Laboratório de partículas



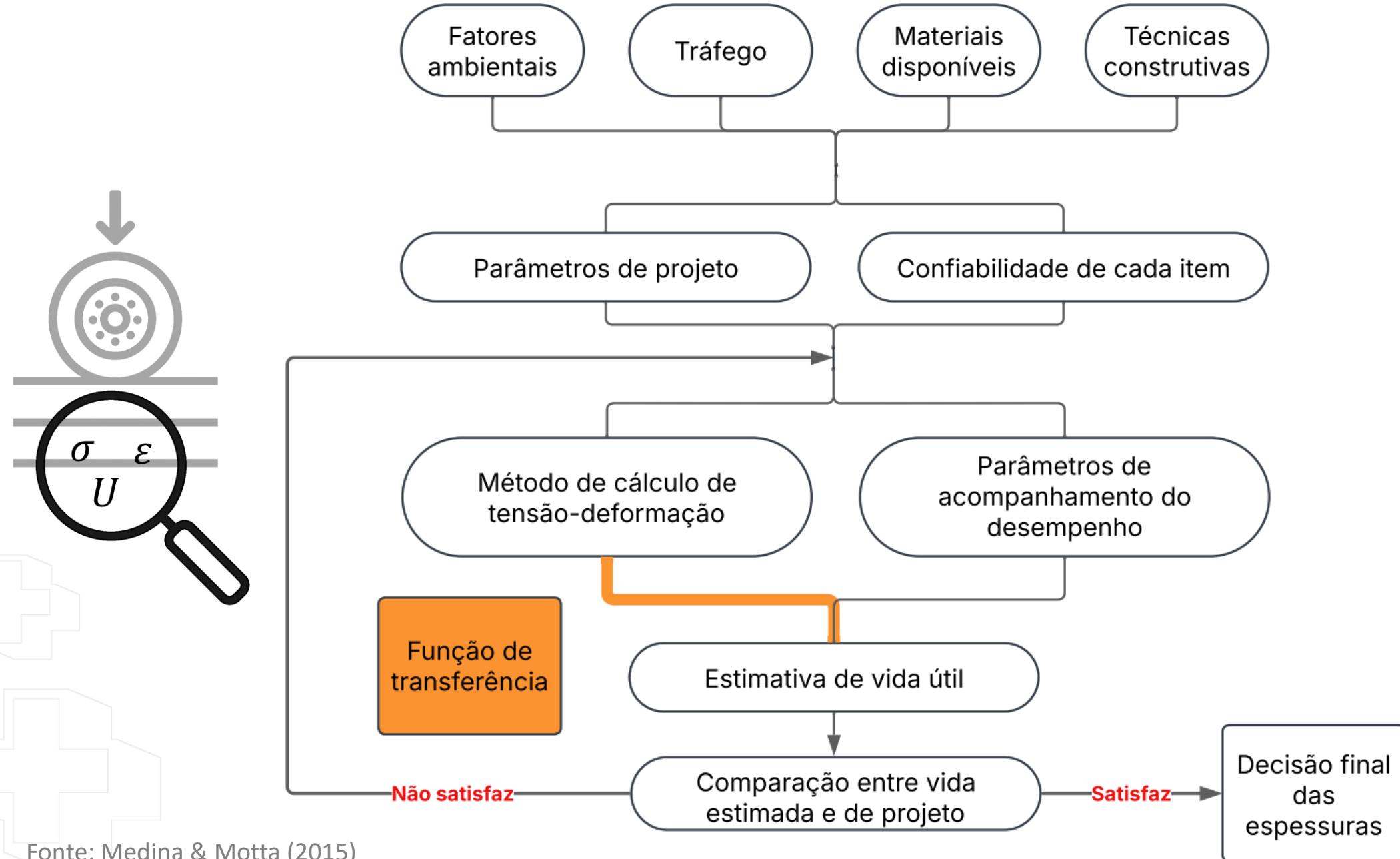
Infralab:

Laboratório de ensaios especiais



Princípios gerais de um método de dimensionamento mecanístico-empírico

Princípios gerais de um método mecanístico-empírico:



Fonte: Medina & Motta (2015)



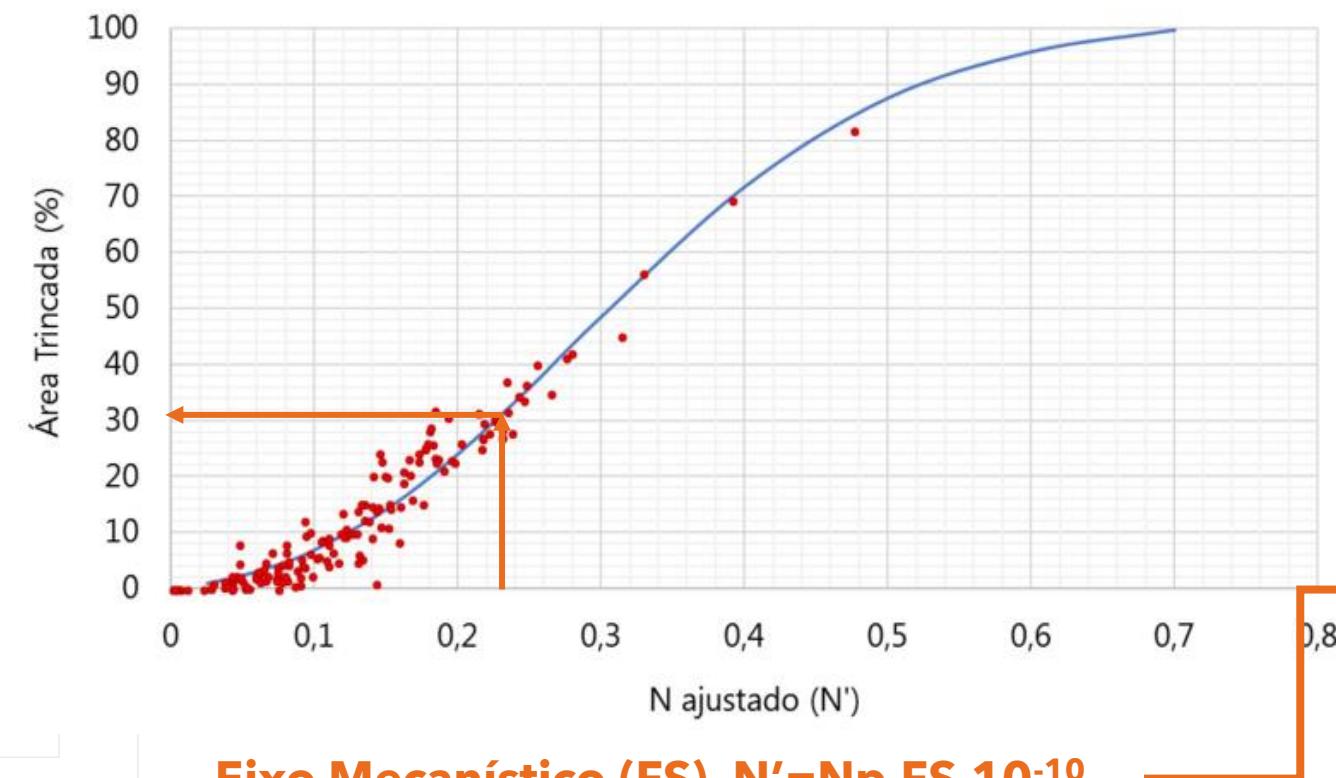
MeDiNa

- MeDiNa: Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos
- TED 682/2014 (**COPPE/UFRJ**, CENPES e diversas outras instituições brasileiras de ensino e pesquisa);
- Evoluiu a partir do programa **SiSPav** (FRANCO, 2007);
- Ferramenta em Visual C++ 6.0 para modelagem do comportamento de pavimentos;
- **Três programas computacionais: MeDiNa, BackMeDiNa, AEMC.**



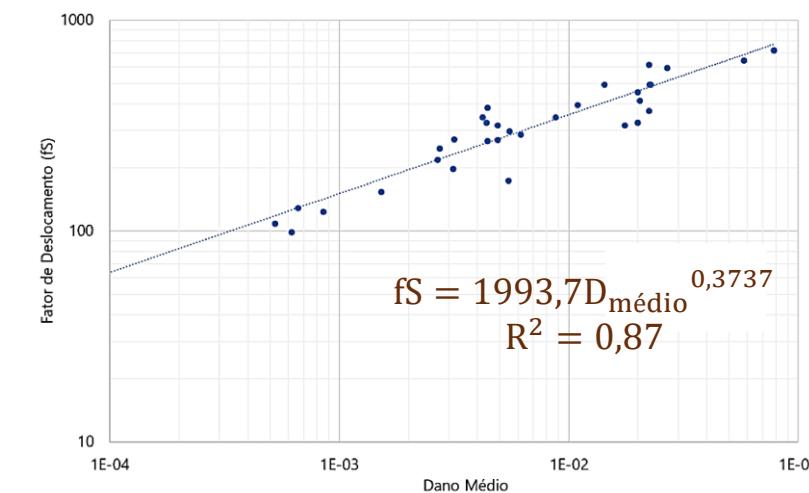
Método MeDiNa (In a Nutshell)

- Tudo se resume a este gráfico a tal de **FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA**
- E um critério de **DESEMPENHO** (Neste caso a Área Trincada)



Fonte: Adaptado de Fritzen *et al.* (2019)

- FS (Shift Factor) depende da estrutura (módulos dos materiais e espessuras das camadas) e do carregamento (1 ESP).
- É necessário um programa (AEMC) para calcular este fator com base na **Teoria da Elasticidade**



MeDiNa: estimativa de área trincada



$$\bullet AT(\%) = \frac{e^{-A} - e^{-B}}{1 - e^{-B}}$$

$$A = \left(\frac{N' - 1}{Z - 1} \right)^n$$

$$B = \left(\frac{-1}{Z - 1} \right)^n$$

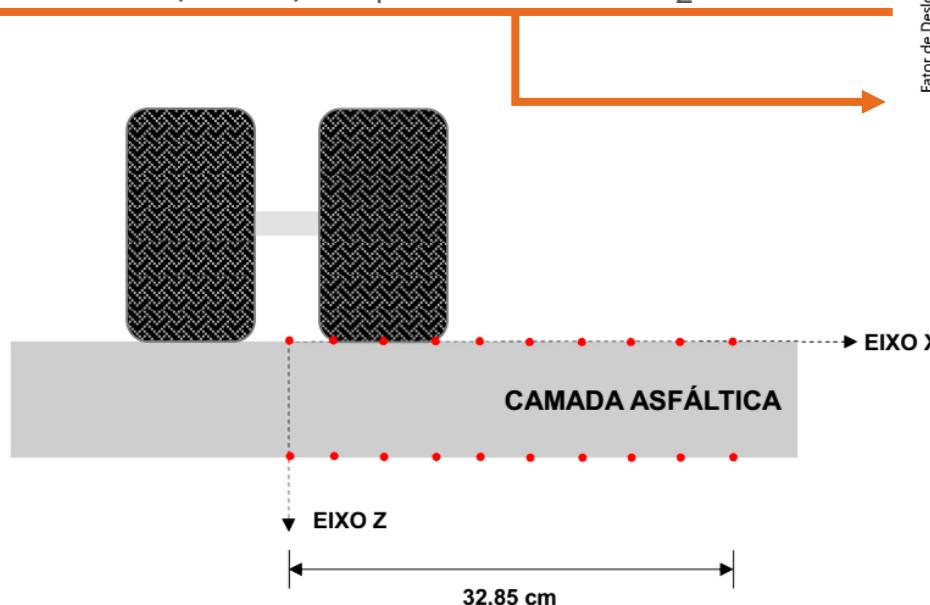
$$\bullet N' = (N \cdot fS) \cdot 10^{-10}$$

Fritzen *et al.* (2019): $Z = 0,25$ e $n = 5,00$

$$\bullet fS = C_1 \times (D_{\text{médio}})^{C_2}$$

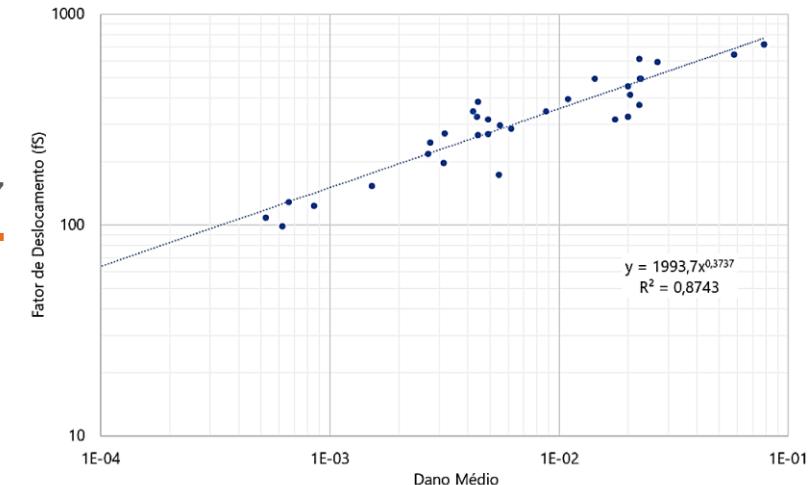
Fritzen *et al.* (2019): $C_1 = 1993,7$ e $C_2 = 0,3737$

$$\bullet D_{\text{médio}} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} \left(\frac{1}{N_{fad_i}} \right)$$



$$\bullet N_{fad} = k_1 \cdot \varepsilon_t^{k_2}$$

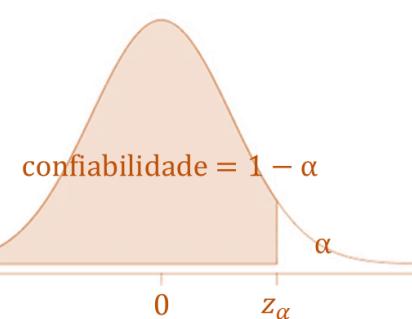
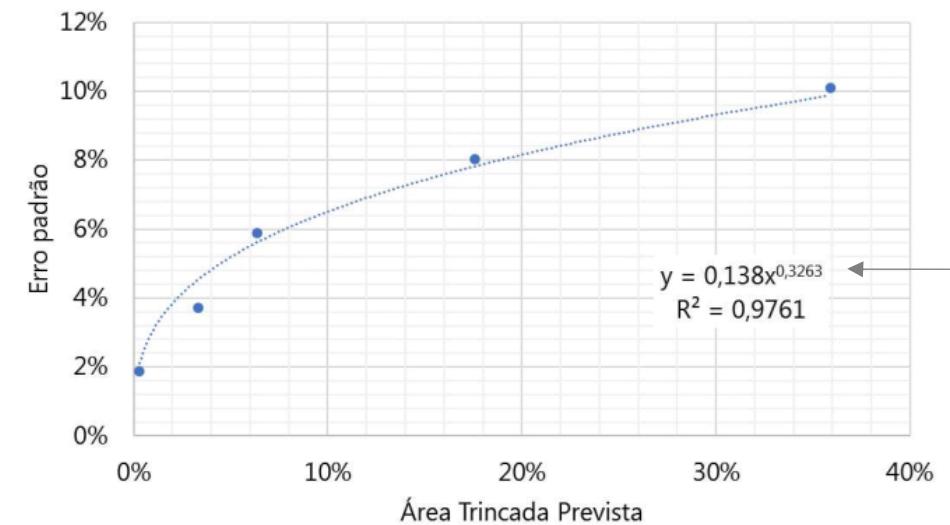
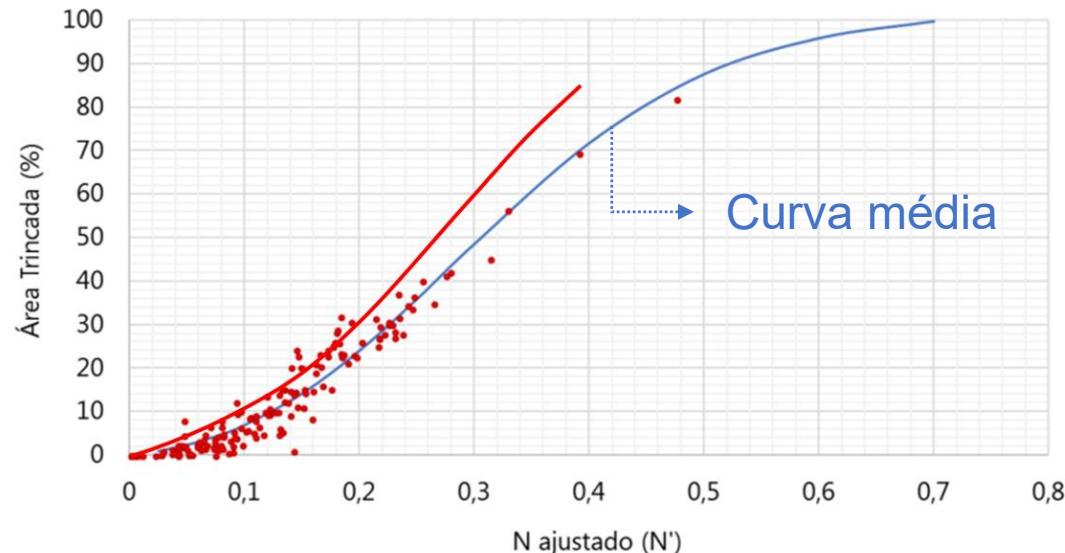
k_1 e k_2 obtidos com base em ensaios de laboratório



Fonte: Fritzen *et al.* (2019)

MeDiNa: confiabilidade

A diferença entre a área trincada prevista e a área trincada observada em cada segmento usado na calibração deu origem ao erro da função de transferência.



AT(%) para um determinado nível de confiabilidade C

$$AT(%)_C = AT(%) + Z_\alpha \times \delta_{AT(%)}$$

valor da distribuição normal para o nível de confiabilidade C

Valor médio esperado (curva média)

Erro padrão

MeDiNa: estimativa de afundamento de trilha de roda

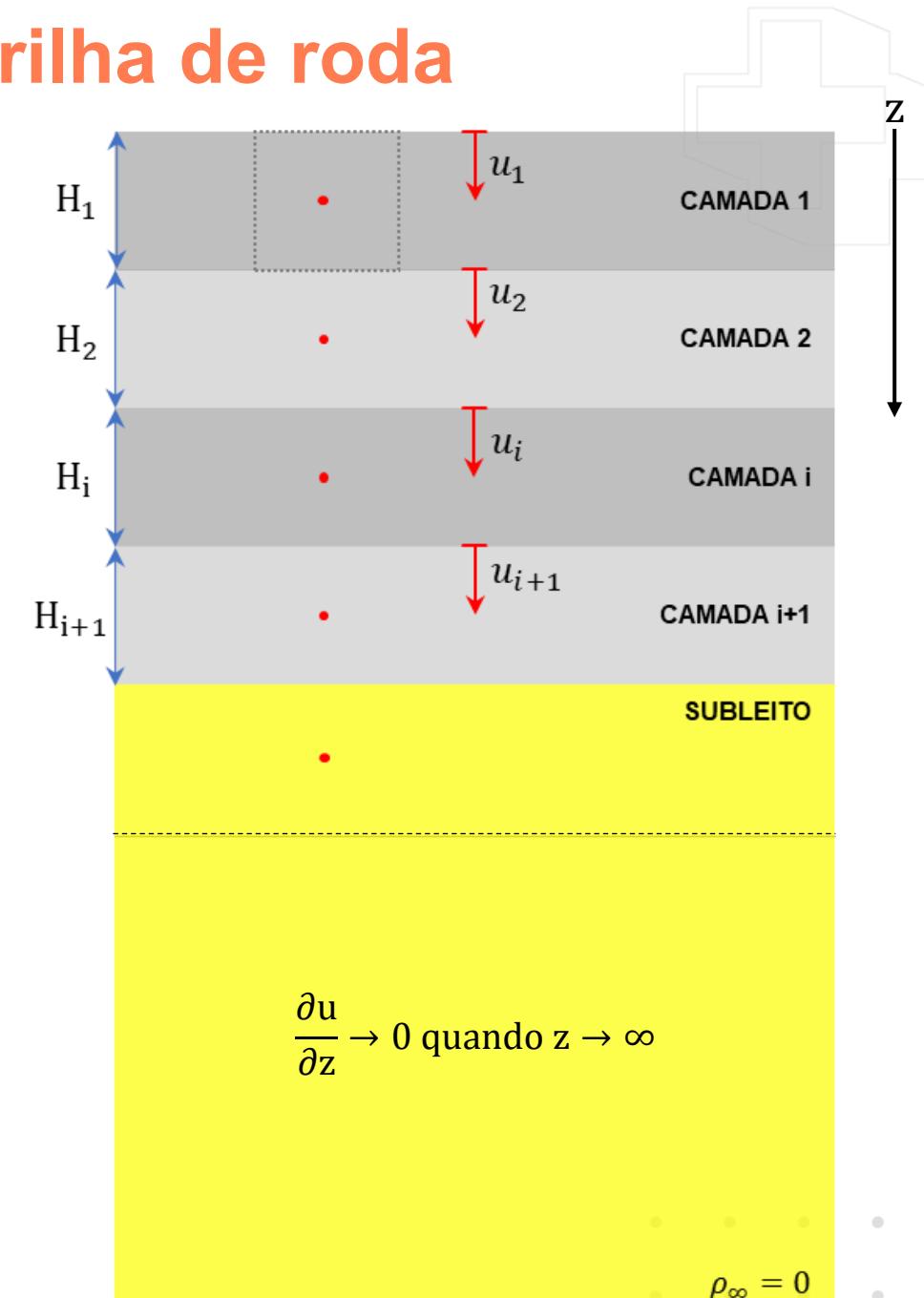
$$\varepsilon_{z,i} = \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\Delta H_i}{H_i} \rightarrow \Delta H_i = u_i - u_{i+1} = \varepsilon_{z,i} H_i$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_1 - u_2 = \varepsilon_{z,1} H_1 \\ u_2 - u_3 = \varepsilon_{z,2} H_2 \\ \dots \\ u_n - u_{n+1} = \varepsilon_{z,n} H_n \end{array} \right.$$

$$u_1 - u_{n+1} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{z,i} H_i$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} \rightarrow 0 \text{ quando } z \rightarrow \infty$$

$$u_1 - u_{n+1} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{z,i} H_i \rightarrow u_1 \approx \sum_{i=1}^n (\varepsilon_{z,i} H_i)$$



$$\frac{\partial u}{\partial z} \rightarrow 0 \text{ quando } z \rightarrow \infty$$

MeDiNa: estimativa de afundamento de trilha de roda

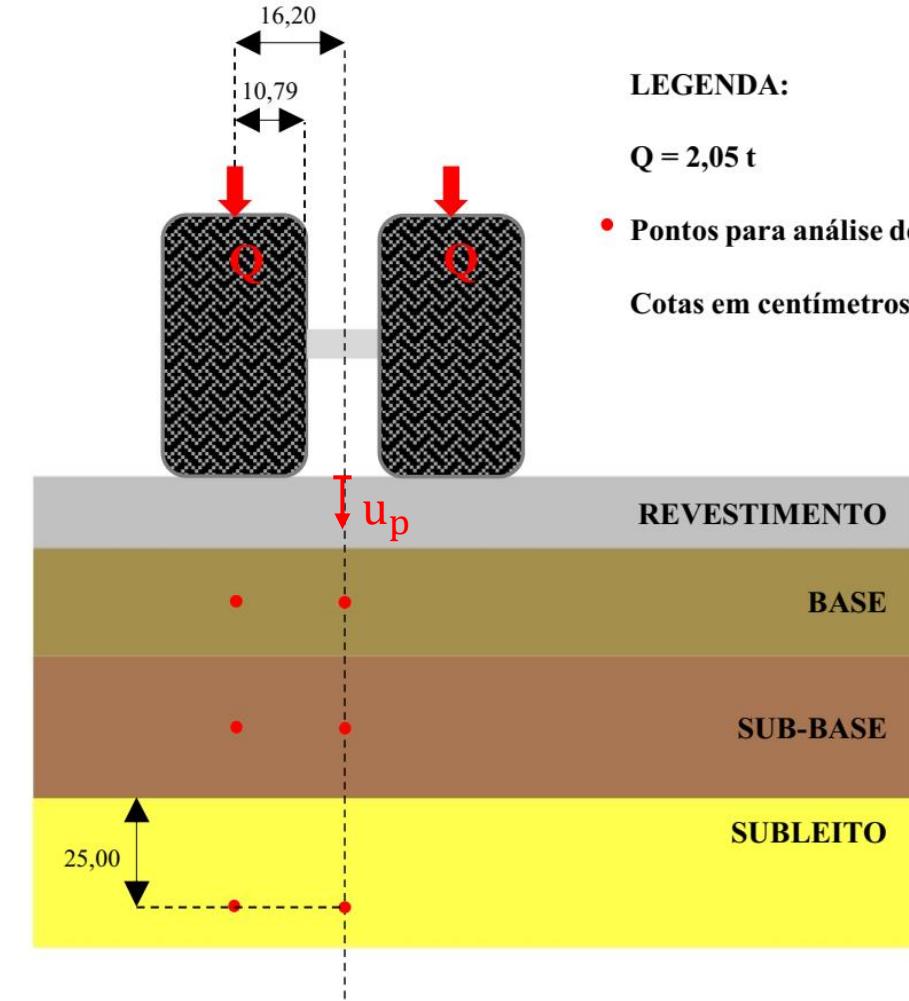
$$\bullet \varepsilon_p(\%) = \psi_1 \left(\frac{\sigma_3}{\rho_0} \right)^{\psi_2} \left(\frac{\sigma_d}{\rho_0} \right)^{\psi_3} N^{\psi_4} \quad \text{desenvolvido por Guimarães (2009)}$$

$$\bullet u_p = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_{p,i} H_i)$$

• **Subleito:** tratado como uma camada de 50 cm de espessura

• **Camada asfáltica** → critério de ***flow number*** (FN)

• **Camadas estabilizadas** → não contribuem de forma efetiva para a trilha de roda total da estrutura do pavimento (quando bem construídas e manutenidas).



Limitações

Grande divergência entre a área trincada medida em campo e a prevista pelo programa (PITANGUI, 2022; ALMEIDA *et al.*, 2024; COUSSEAU *et al.*, 2024; SANTANA *et al.*, 2025):

- Função de transferência derivada de uma **base de dados restrita**;
- Condições de contorno na calibração (**condições de aderência**);
- **Metodologia de medição de área trincada** utilizada na obtenção de dados para calibração.





Atualização da base de dados

- Incorporação de medições de área trincada pelo procedimento da norma **DNIT 433/2021-PRO**;
- Trechos com camada de revestimento composta por misturas densas em concreto asfáltico;
- Descrições detalhadas dos segmentos da BR-116: Vestena (2021) e Santos (2023);

Identificação	Rodovia/Avenida	Cidade	Estado
UFSM 2.1	Av Hélvio Basso	Santa Maria	Rio Grande do Sul
UFSM 2.2	Av Hélvio Basso	Santa Maria	Rio Grande do Sul
UFSM 6.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
UFSM 6.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
UFSM 7.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
UFSM 7.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
UFSM 8.1	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
UFSM 8.2	BR-116	Pelotas	Rio Grande do Sul
UFSM 18.1	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
UFSM 18.2	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
UFSM 19.1	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
UFSM 19.2	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
UFSM 20.1	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul
UFSM 20.2	BR-116	Barra do Ribeiro	Rio Grande do Sul

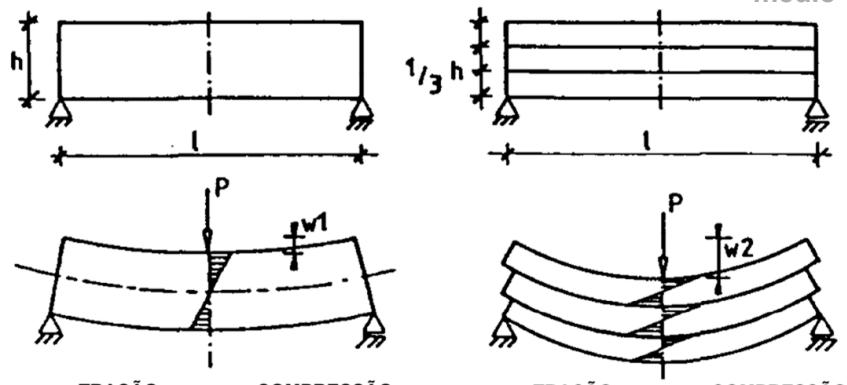
Fonte: GEPPASV (2024)

Aderência entre camadas

CALIBRAÇÃO

 DIMENSIONAMENTO
ESTRUTURA NOVA

RETROANÁLISE PARA OBTENÇÃO DOS MÓDULOS DE
ELASTICIDADE E CÁLCULO DO $D_{\text{médio}}$



Fonte: Adaptado de Tschech et al.(1995)

ADERÊNCIA ENTRE
CAMADAS

ADESÃO

ATRITO



Aderência entre camadas

Módulo de reação ao cisalhamento (K_s): parâmetro consolidado e amplamente utilizado na caracterização das interfaces em sistemas elásticos de múltiplas camadas.

$$\tau = K_s \times \Delta u$$

Quanto maior o valor de K_s maior é a **RIGIDEZ** da interface

$K_s = 0$: sem restrição ao deslizamento ou “sem aderência”

$K_s \rightarrow \infty$: deslizamento totalmente restrito ou interface “totalmente aderida”

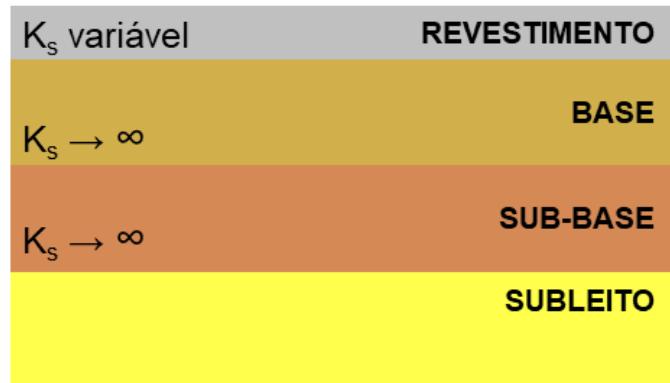
Uzan (1976):

$$K_s = \frac{l}{1-l} \quad \begin{aligned} l &= 0 \quad (K_s = 0) \\ l &= 1 \quad (K_s \rightarrow \infty) \end{aligned}$$

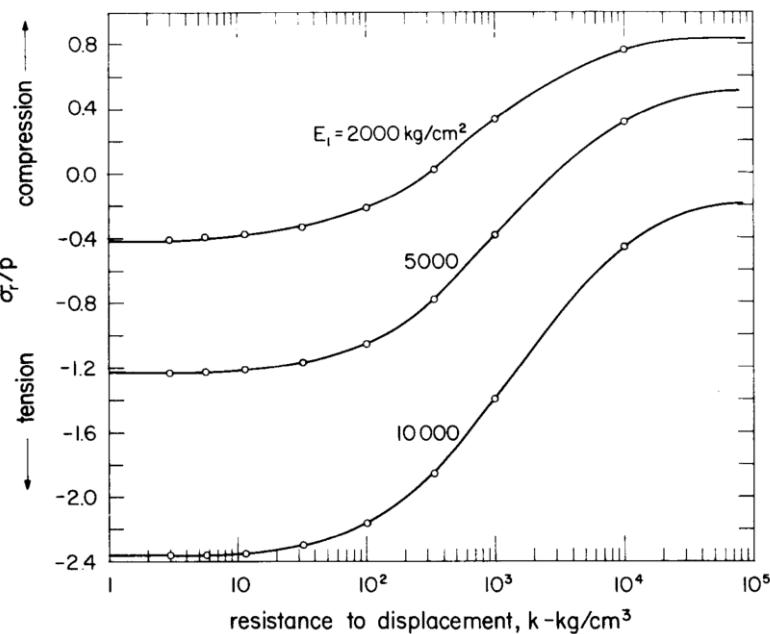
ABORDAGEM
MeDiNa

Nessa expressão, o valor de K_s é dado em kgf/cm³

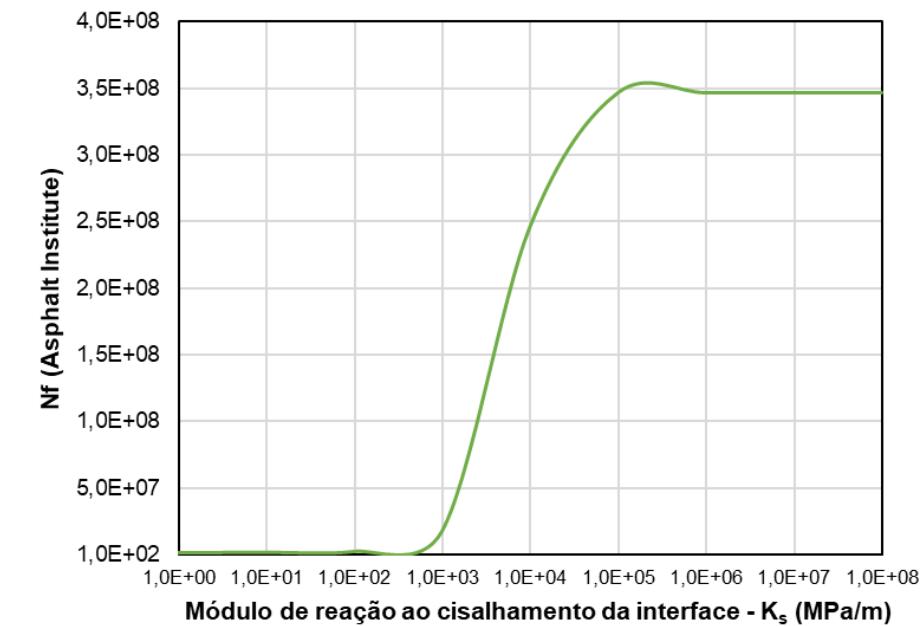




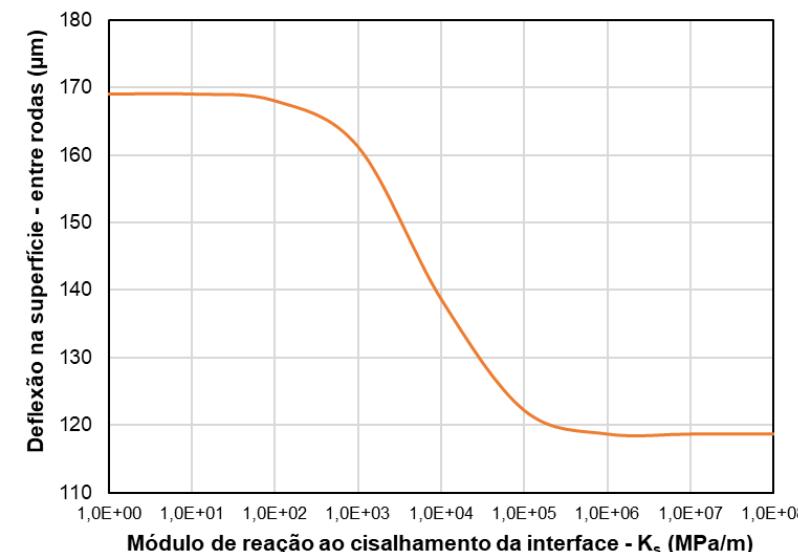
principais variações na tensão horizontal de tração o ocorre quando K_s varia entre 100 e 10000 kgf/cm³



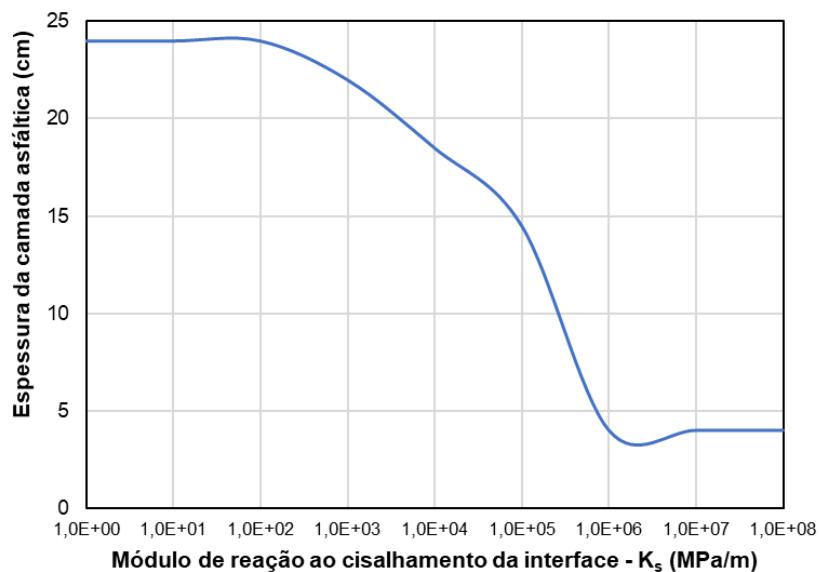
Fonte: Uzan, Livneh e Eshed (1978)



Fonte: Adaptado de Toffoli (2021)

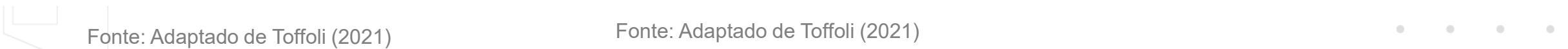


Fonte: Adaptado de Toffoli (2021)



Fonte: Adaptado de Toffoli (2021)

- **Uzan (1976):** K_s determinado para a interface entre blocos de concreto asfáltico a 25°C, entre 500 e 1000 kgf/cm³;
- **Scherer et al. (2022):** K_s determinado para a interface entre concreto asfáltico e material granular (diferentes temperaturas e tratamentos da interface), entre 190 e 590 kgf/cm³.



Aderência entre camadas

Fatores de influência:

- Taxa de aplicação
- Tipo de material
- Temperatura
- Rugosidade
- Umidade
- Aspectos construtivos

Interfaces
envolvendo
camadas asfálticas

Formas de avaliação:

- Ensaios laboratoriais ou de campo:
 - **Cisalhamento;**
 - Torção;
 - Tração;
- Métodos não destrutivos:
 - *Portable Seismic Pavement Analyser (PSPA);*
 - *Colibri test;*
 - *Hammer test;*
 - *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

Amostra e
carregamento

métricas baseadas em deflexões

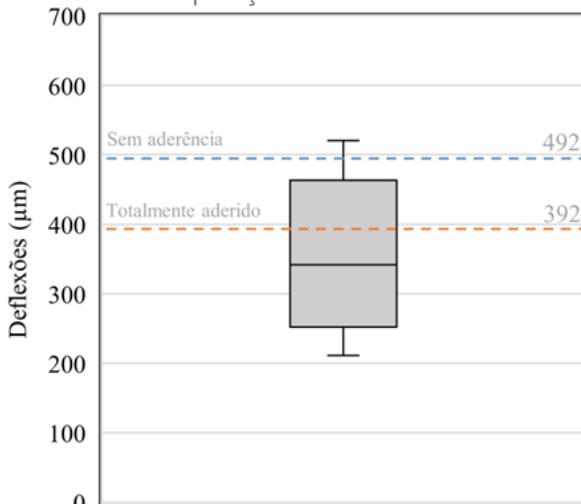
Aderência entre camadas

Pista experimental construída nas dependências da UL do DNIT em Santa Maria - DF

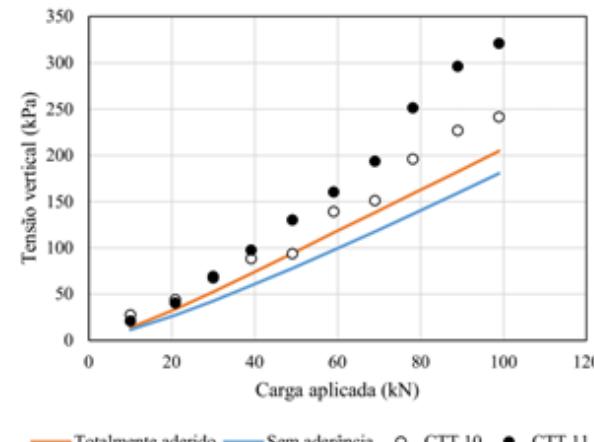


Aderência entre camadas

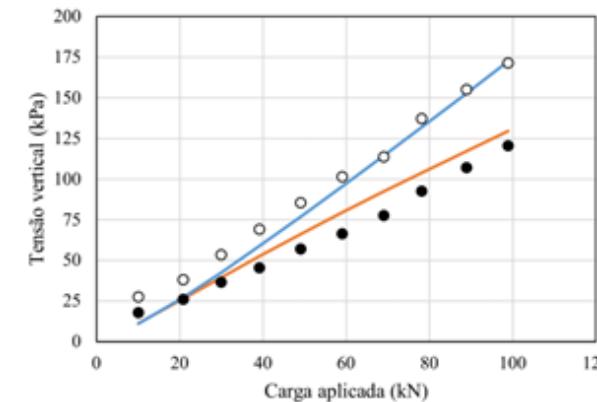
Distribuição das deflexões medidas em campo e comparação com valores teóricos



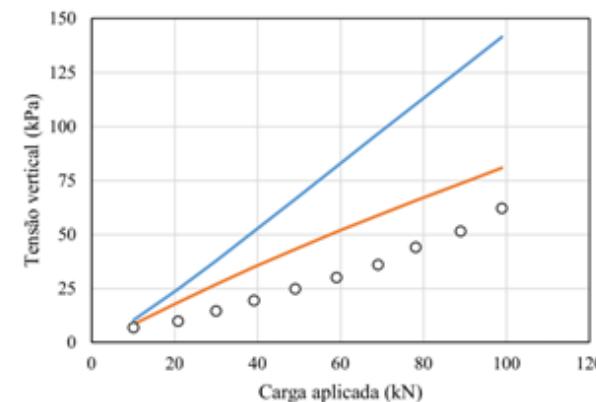
Tensões verticais medidas e calculadas: (a) topo da base, (b) topo da sub-base e (c) topo do subleito



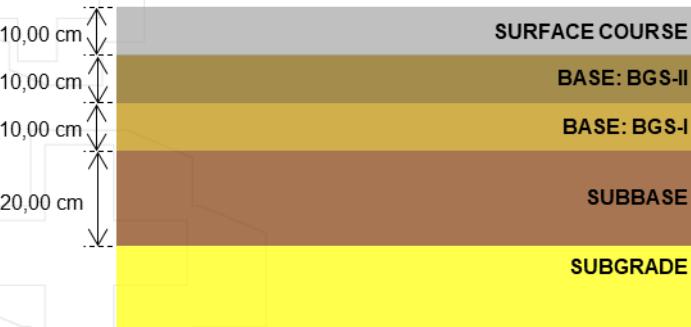
(a)



(b)



(c)



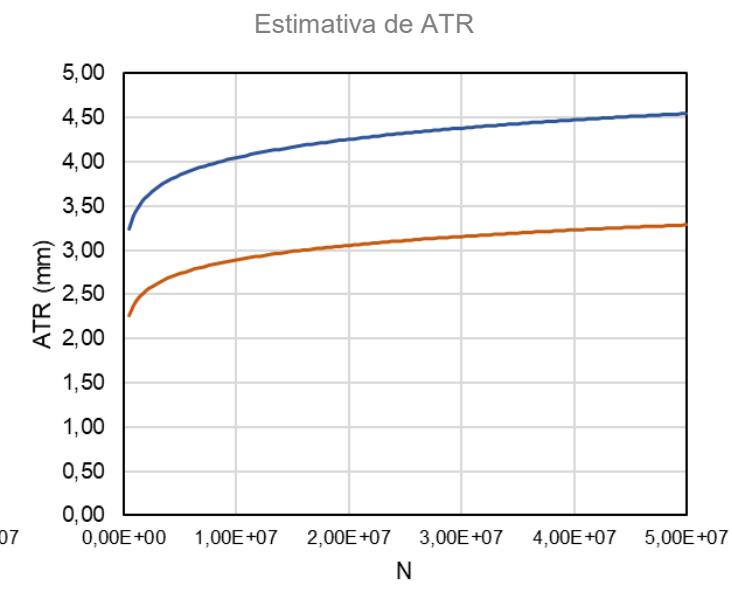
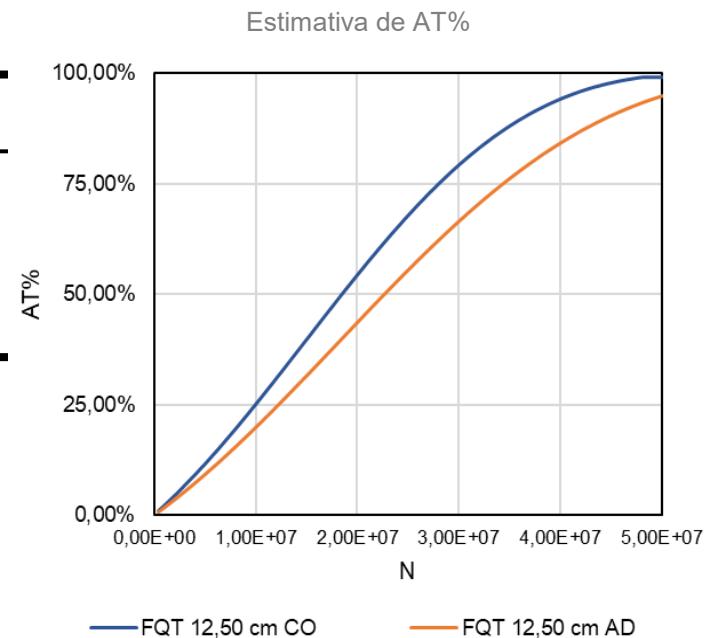
Aderência entre camadas

Dados da estrutura de referência

Camada	Espessura (cm)	Material da base de dados do MeDiNa	MR (MPa)	Coeficiente de Poisson
Revestimento	12,50	Classe 1	5764	0,30
Base	20,00	Brita Graduada – Gnaisse C5	381	0,35
Sub-base	25,00	Solo Argiloso LG'(1)	250	0,45
Subleito	-	Solo Siltoso NS'	189	0,45

Nota: assumiu-se comportamento elástico linear para todas as camadas

N Total = 5×10^7

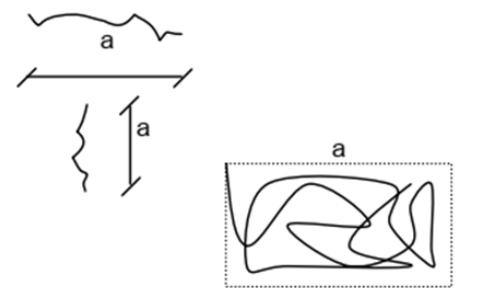


Com a calibração de funções de transferência para cada caso

Metodologia de medição de AT(%)

DNIT 007/2003 - PRO

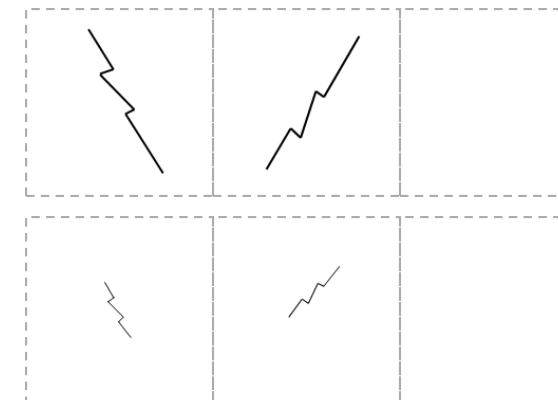
Trincas isoladas Longitudinais - comprimento a
Transversais - comprimento a
Trincas interligadas área a x b



DNIT 433/2021 - PRO



EXEMPLO 1

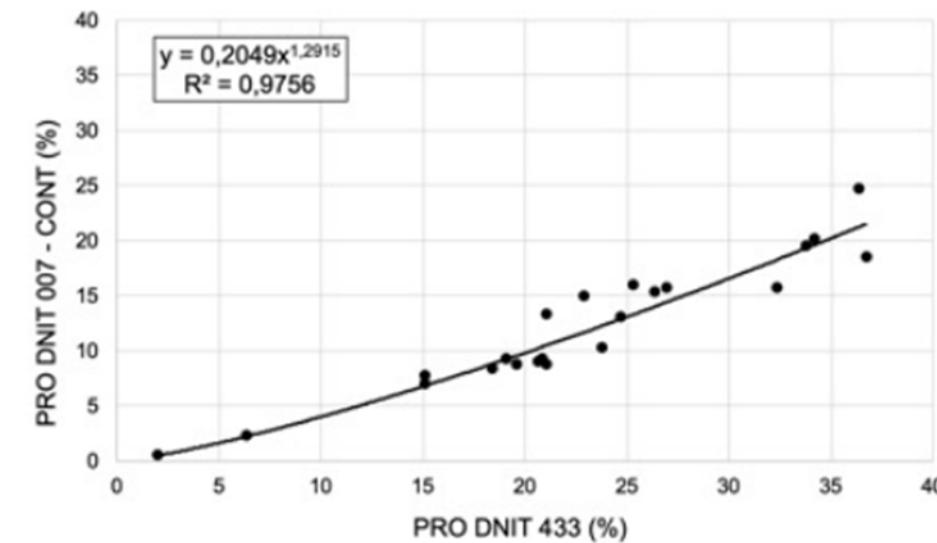
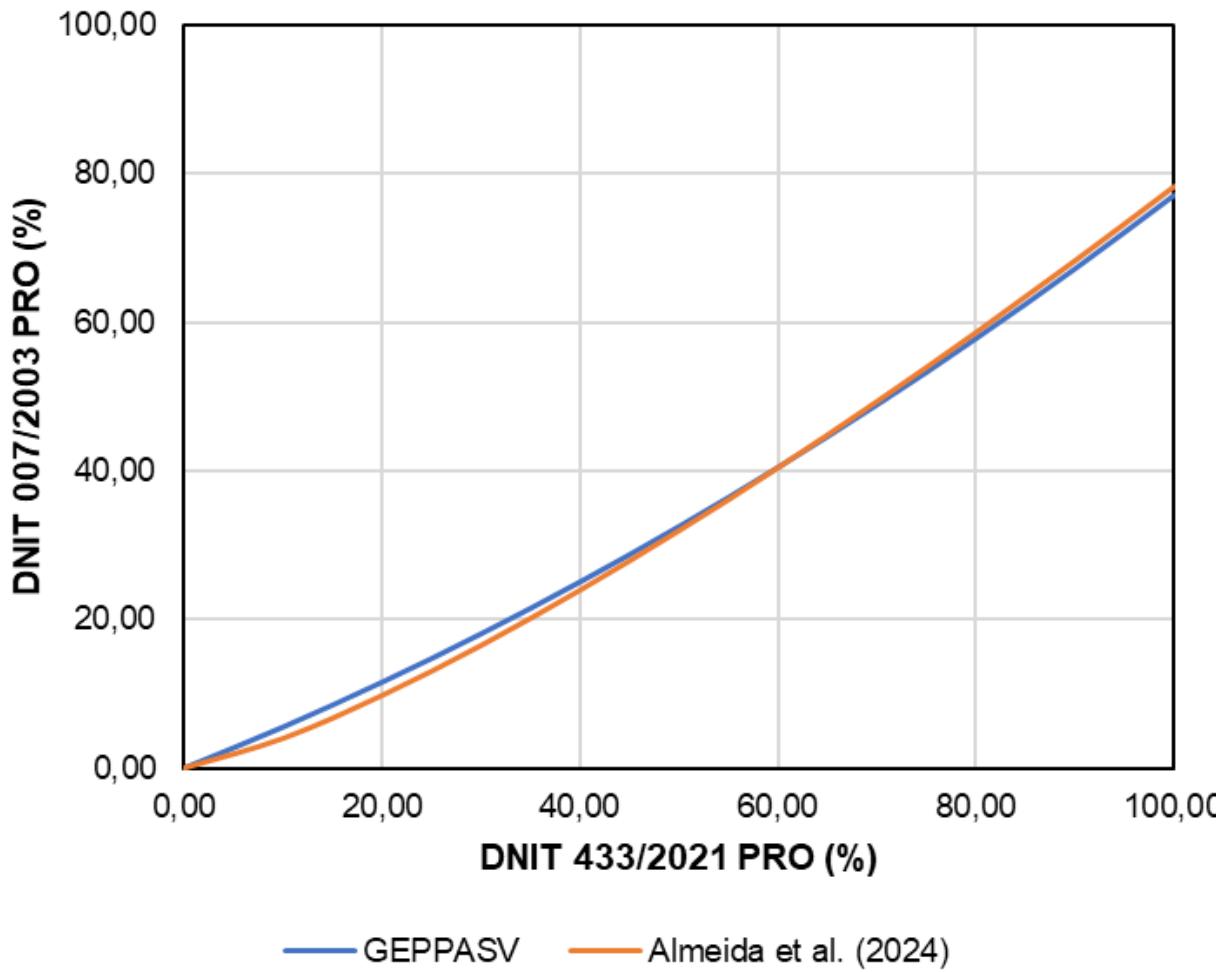


EXEMPLO 2

$$AT(\%) = \frac{n_{def}}{n_{total}}$$



Metodologia de medição de AT(%)

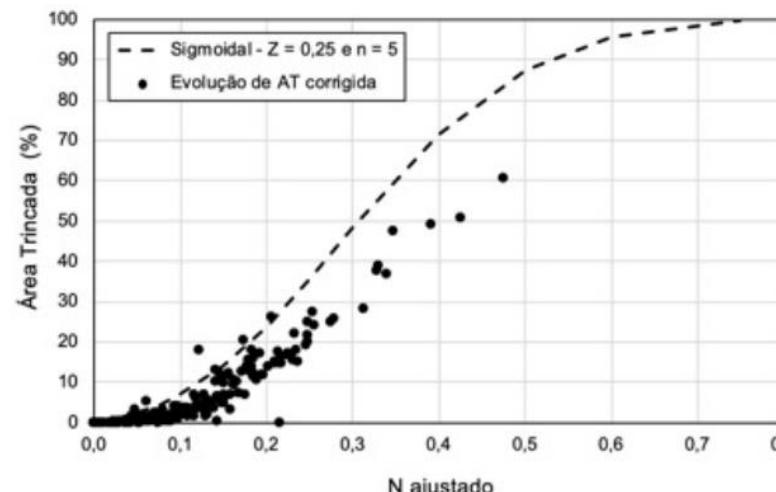
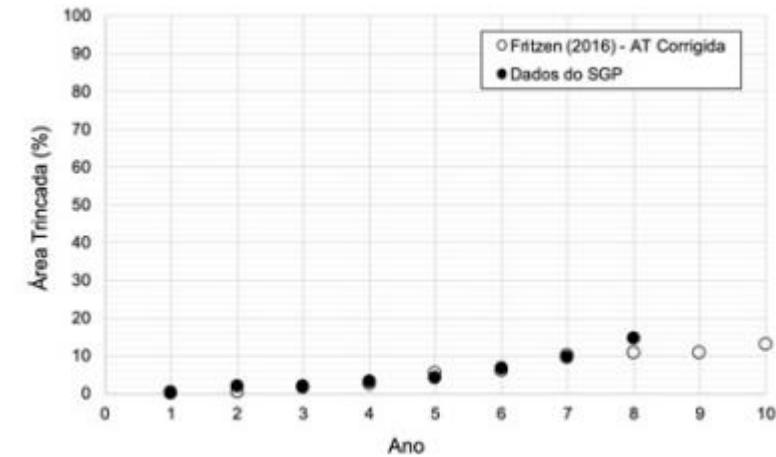


Fonte: Almeida *et al.* (2024)

Metodologia de ajuste proposta por Almeida *et al.* (2024)

Principais observações

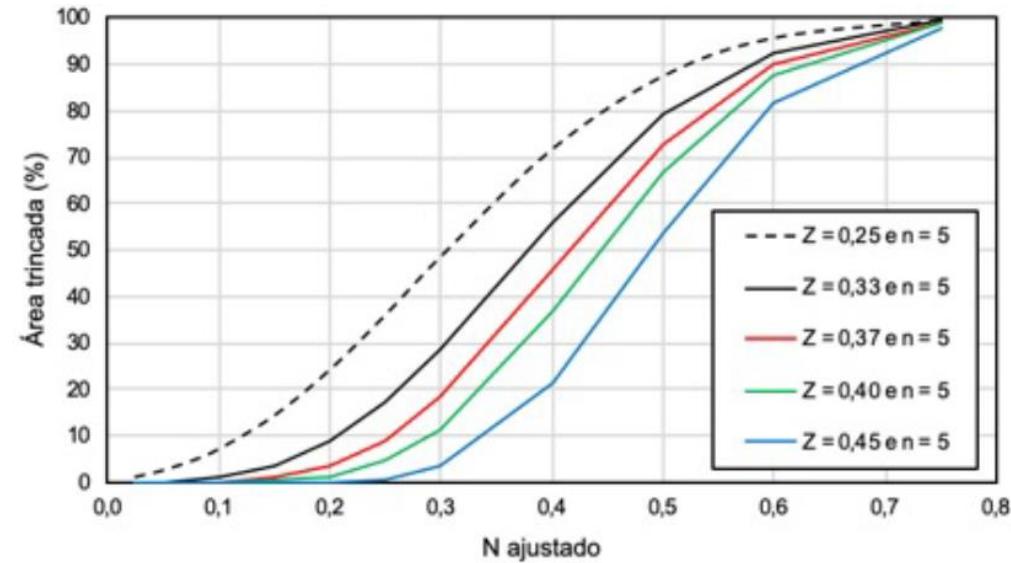
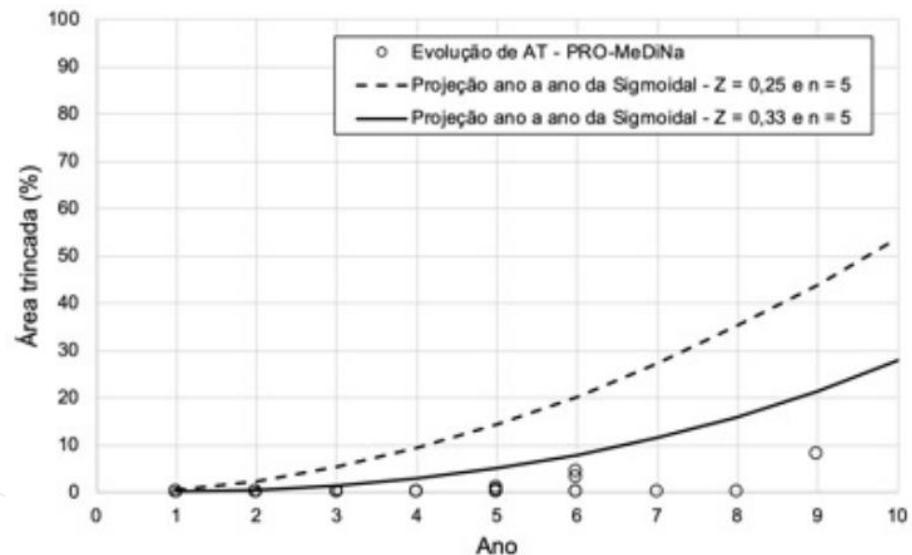
- Para qualquer estrutura simulada (robusta ou não), o programa MeDiNa (versão 1.1.9) apresenta estimativas de área trincada já no primeiro mês;
- Grande divergência entre a área trincada medida em campo e a prevista pelo programa (PITANGUI, 2022; ALMEIDA *et al.*, 2024; COUSSEAU *et al.*, 2024; SANTANA *et al.*, 2025);
- **Almeida *et al.* (2024):** banco de dados do Sistema de Gerenciamento de Pavimento da malha rodoviária federal (SGP) e de segmentos do programa PRO-MeDiNa como referência para definir o ajuste necessário na sigmoidal do MeDiNa



Fonte: Almeida *et al.* (2024)

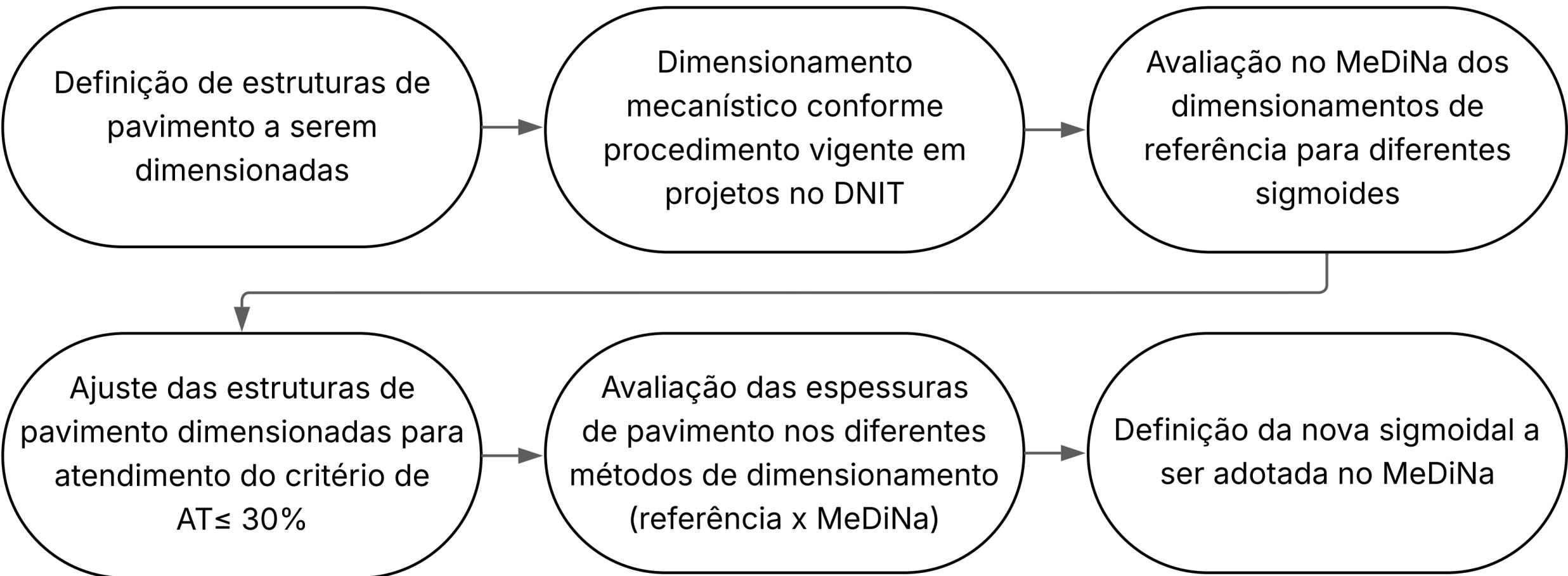
Principais observações

- **Almeida et al. (2024):** os dados parciais dos segmentos PRO-MeDiNa apontam uma tendência de prolongamento da fase elástica do pavimento, em comparação aos dados do SGP, sobretudo em relação ao comportamento de referência adotado na calibração do MeDiNa



Fonte: Almeida et al. (2024)

Proposta de ajuste



Estruturas de pavimento

ESTRUTURA	CAMADA	MATERIAL				ESPESSURA
A	Revestimento	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	em função do número N
	Base	Brita Graduada - Gnaisse C1				mínima construtiva
	Sub-base	Solo Areo-argiloso LG'(2)				mínima construtiva
	Reforço	Solo Argiloso LG'(5)				mínima construtiva*
	Subleito	Solo Siltoso NS'				-
B	Revestimento	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	em função do número N
	Base	Brita Graduada Tratada com Cimento – Balbo, 1993				mínima construtiva
	Sub-base	Brita Graduada - Gnaisse C5				mínima construtiva
	Reforço	Solo Argiloso LG'(5)				mínima construtiva*
	Subleito	Solo Siltoso NS'				-
C	Revestimento	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	em função do número N
	Base	Solo Cimento – Ceratti, 1991 (Mistura 5 CD)				mínima construtiva
	Sub-base	Brita Graduada - Gnaisse C5				mínima construtiva
	Reforço	Solo Argiloso LG'(5)				mínima construtiva*
	Subleito	Solo Siltoso NS'				-

Estruturas de pavimento

ESTRUTURA	CAMADA	MATERIAL				ESPESSURA
D	Revestimento	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	em função do número N
	Base	Brita Graduada - Gnaisse C1				mínima construtiva
	Sub-base	Solo Areno-argiloso LG'(2)				mínima construtiva
	Reforço	Solo Argiloso LG'(5)				mínima construtiva*
	Subleito	Solo Fino NA				-
E	Revestimento	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	em função do número N
	Base	Brita Graduada Tratada com Cimento – Balbo, 1993				mínima construtiva
	Sub-base	Brita Graduada - Gnaisse C1				mínima construtiva
	Reforço	Solo Argiloso LG'(5)				mínima construtiva*
	Subleito	Solo Fino NA				-
F	Revestimento	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	em função do número N
	Base	Solo Cimento – Ceratti, 1991 (Mistura 5 CD)				mínima construtiva
	Sub-base	Brita Graduada - Gnaisse C1				mínima construtiva
	Reforço	Solo Argiloso LG'(5)				mínima construtiva*
	Subleito	Solo Fino NA				-

Camada de revestimento

N	ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO
$N \leq 10^6$	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS BETUMINOSOS
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	REVESTIMENTOS BETUMINOSOS COM 5,0 CM DE ESPESSURA
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	CONCRETO BETUMINOSO COM 7,5 CM DE ESPESSURA
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	CONCRETO BETUMINOSO COM 10,0 CM DE ESPESSURA
$N > 5 \times 10^7$	CONCRETO BETUMINOSO COM 12,5 CM DE ESPESSURA

N avaliados:

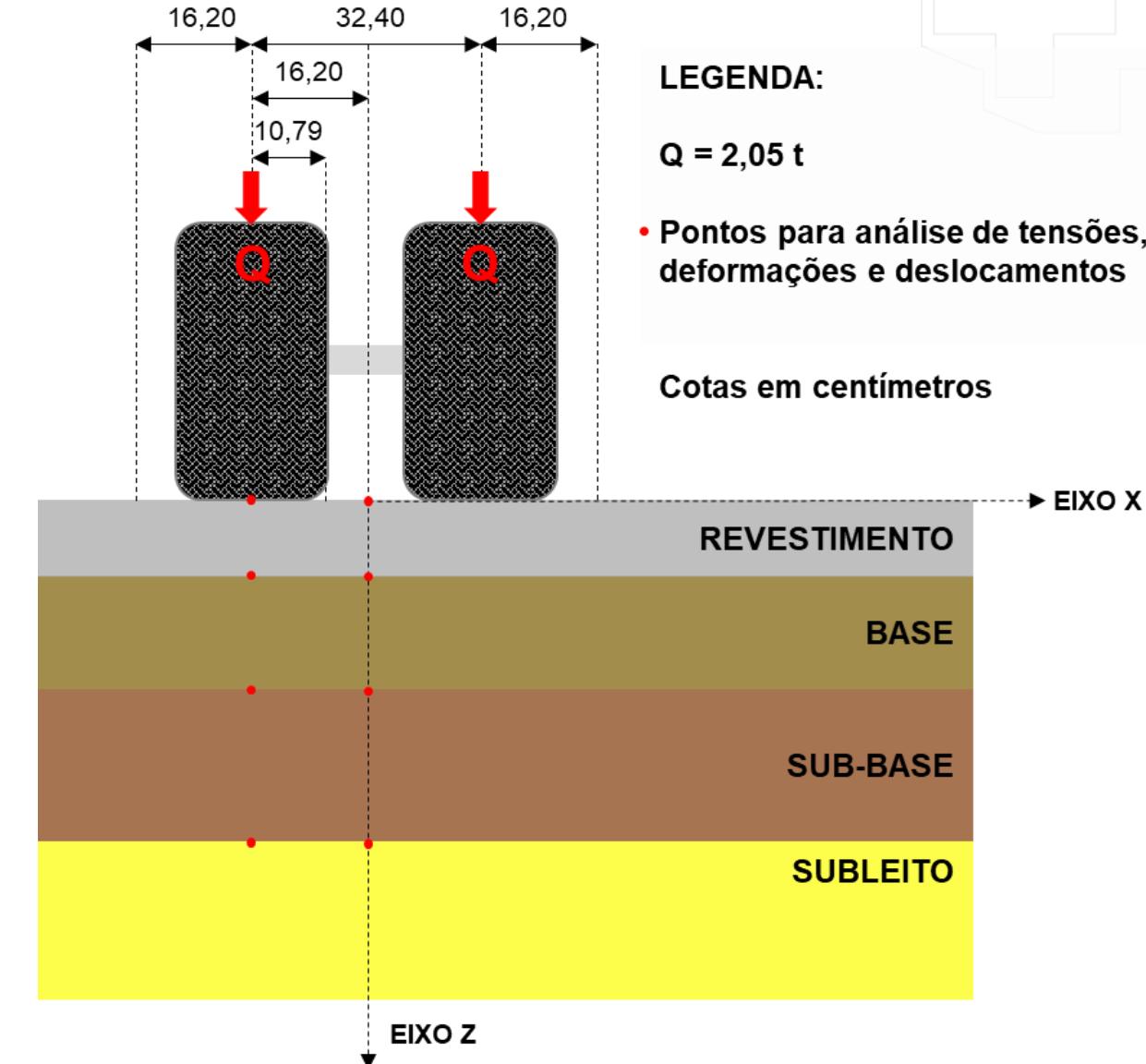
- 1×10^6 ;
- 5×10^6 ;
- 1×10^7 ;
- 2×10^7 ;
- 3×10^7 ;
- 4×10^7 ;
- 5×10^7 ;
- 1×10^8 ;

Totalizando 192 dimensionamentos de referência

Dimensionamento mecanístico (prática atual DNIT)

Carregamento e pontos de análise

Nestas análises usualmente considera-se o eixo padrão de 8,2 t. As variáveis mecanísticas (tensões, deformações e deslocamentos) são obtidas **ENTRE AS DUAS RODAS E SOB A RODA DO SEMI-EIXO PADRÃO**. Em todas as análises, o **VALOR MAIS CRÍTICO** será aquele considerado na avaliação do desempenho da estrutura.

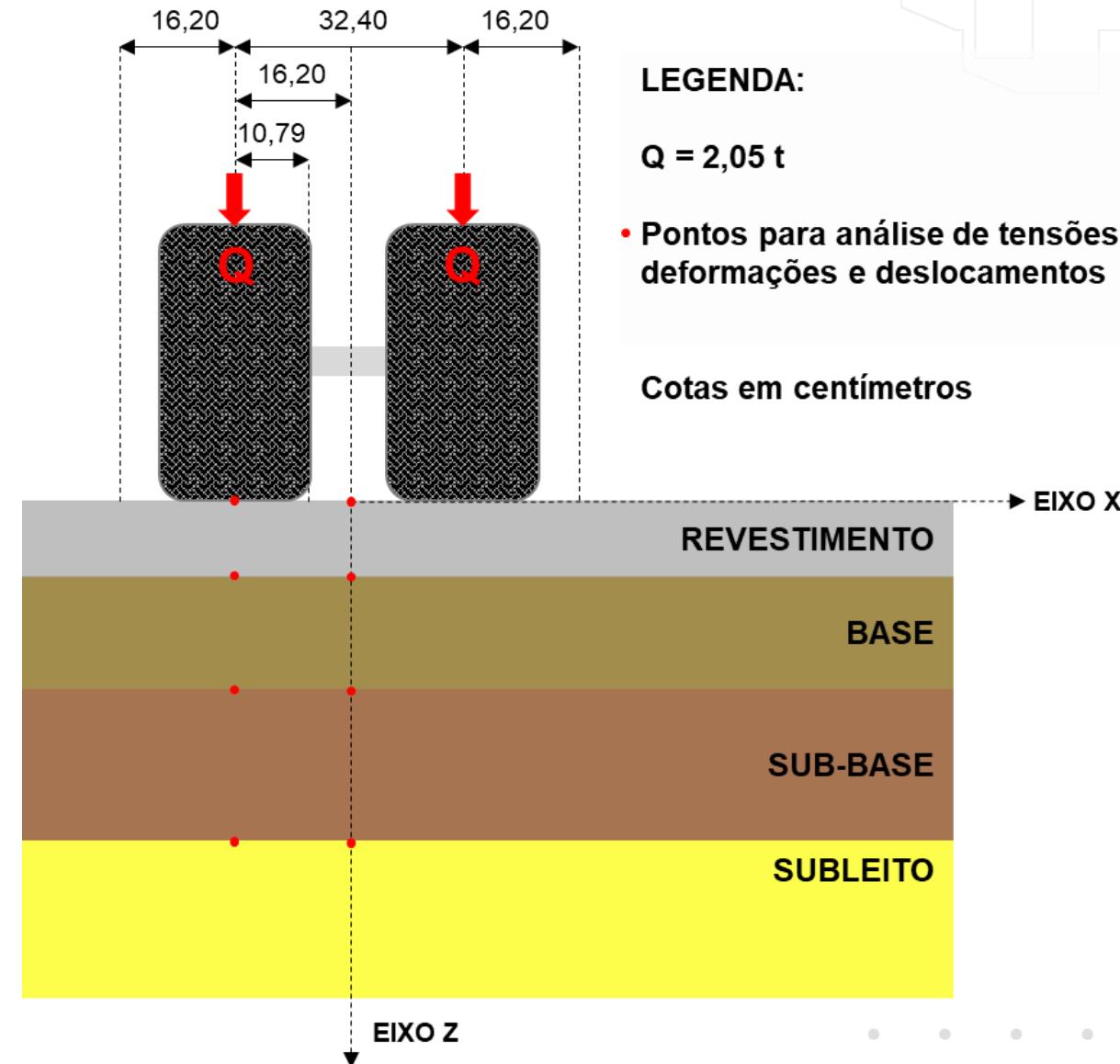


VARIÁVEIS CALCULADAS PARA CONDIÇÃO DE INTERFACES ADERIDAS

Verificação mecanicista

1. Cálculo dos valores críticos das variáveis mecanísticas (deformações, tensões e deslocamentos);
2. Estimativa da vida útil da estrutura pelos modelos preditivos (N_{fi});
3. Comparação com o N de projeto.

$$N_{fi} \geq N_{projeto}$$





Modelos

POSIÇÃO	VARIÁVEL MECANÍSTICA	EQUAÇÃO	REFERÊNCIA
Topo do revestimento	U_z	$N_{adm,1} = 10^{\left(\frac{3,01 - \log U_z}{0,176}\right)}$	DNER-PRO 011/79
Fibra inferior do revestimento	ϵ_t	$N_{adm,2} = 1,092 \times 10^{-6} \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{3,512}$	FHWA (1976) ¹
Fibra inferior da camada cimentada	σ_t	$N_{adm,3a} = 10^{(17,14 - 19,61 \frac{\sigma_t}{1,25})}$	Balbo (1993) ²
		$N_{adm,3b} = 10^{(82,37 - 112,36 \frac{\sigma_t}{0,92})}$	Ceratti (1991) ²
Topo do subleito	ϵ_v	$N_{adm,4} = 6,069 \times 10^{-10} \left(\frac{1}{\epsilon_v}\right)^{4,762}$	Dormon & Metcalf (1965) ¹

¹ Maiores detalhes na IP – DE – P00/001 (DER/SP, 2006)

² Maiores detalhes no programa MeDiNa (v.1.1.9.0)

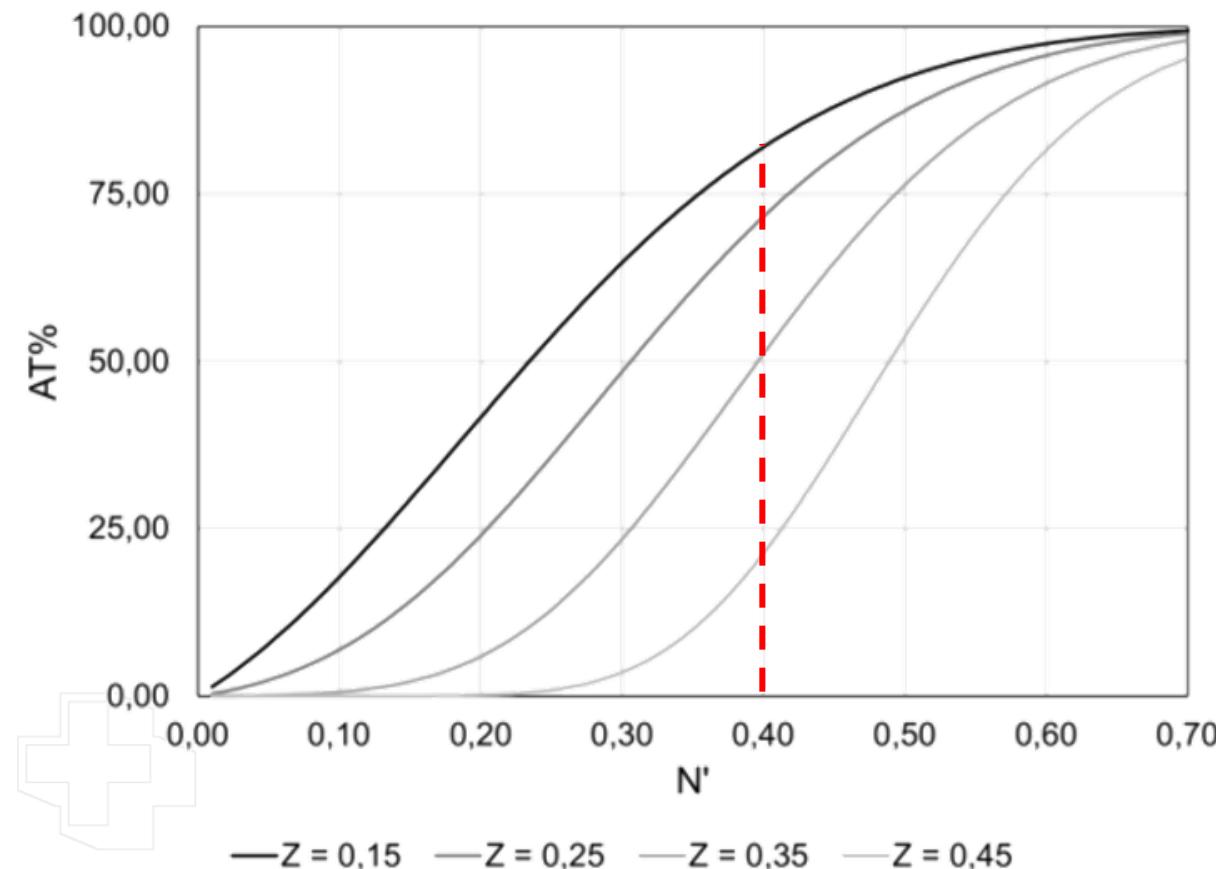




- Aporte inicial na camada de revestimento (estruturas flexíveis);
- Aporte inicial na camada de base (estruturas semirrígidas);
- Critérios do MeDiNa:
 - Área trincada $\leq 30\%$;
 - Deformação permanente ≤ 5 mm (subleito) e $\leq 5\%$ (demais camadas)*;
 - Perda de rigidez da camada cimentada e deflexão da camada subjacente;
- 95% de confiabilidade;
- Função de transferência fixa ($C_1 = 1993,7$ e $C_2 = 0,3737$), independentemente do $D_{\text{médio}}$;
- Condição de aderência no programa MeDiNa: Hipóteses de Fritzen (2016)
- Parâmetros da curva sigmoide: $n = 5,00$ (fixo) e $Z = 0,25, 0,33, 0,37, 0,40$ e $0,45$

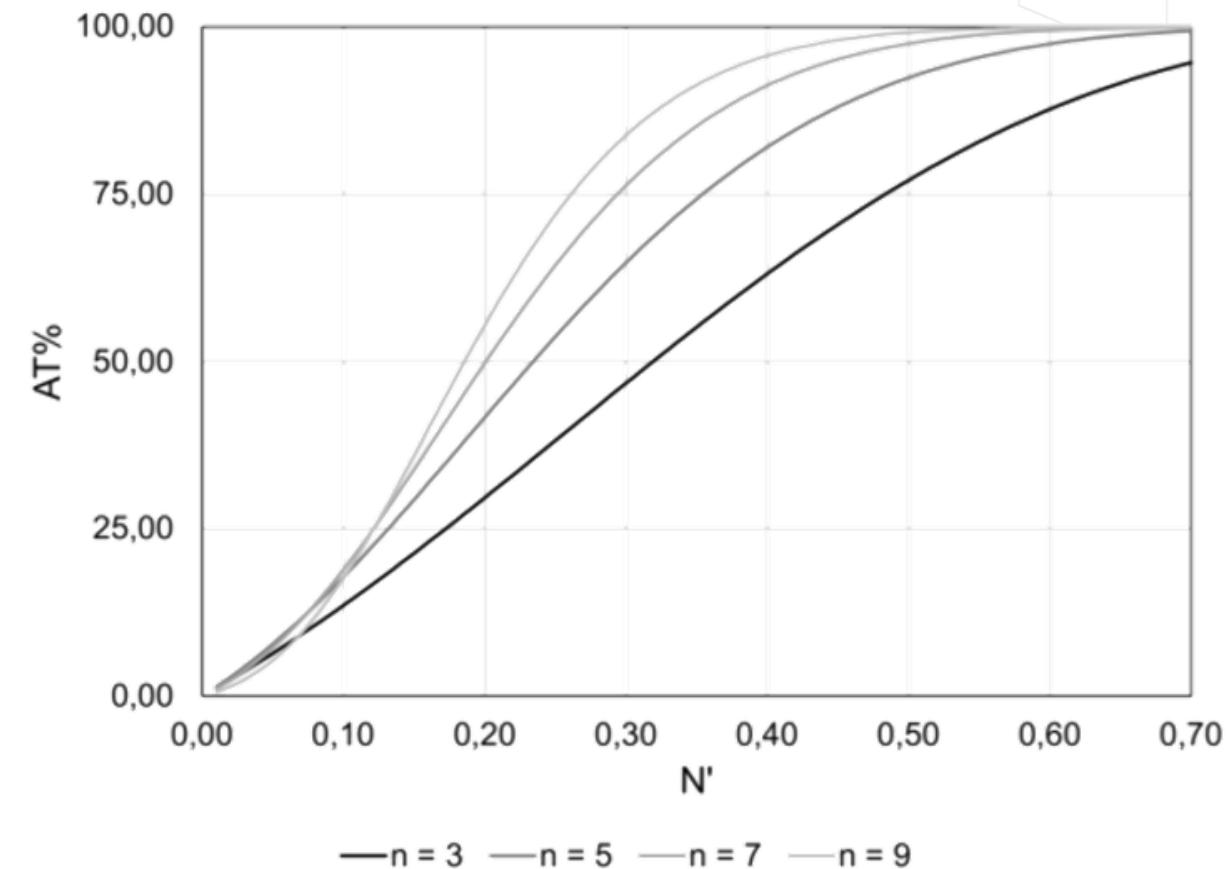


Influência dos parâmetros Z e n



(a)

Variação de Z com n fixo em 5

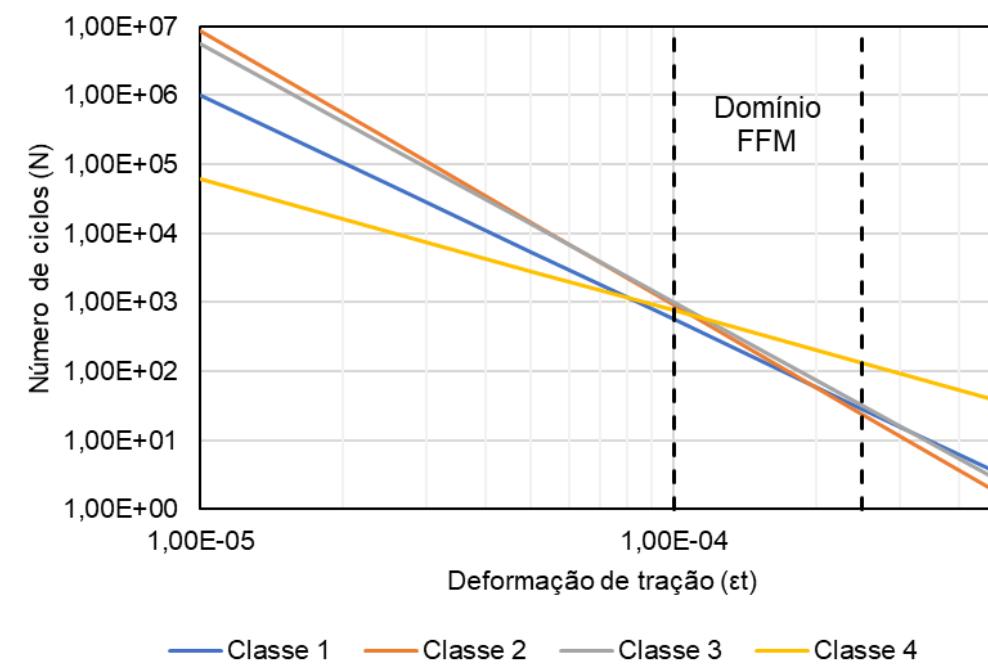
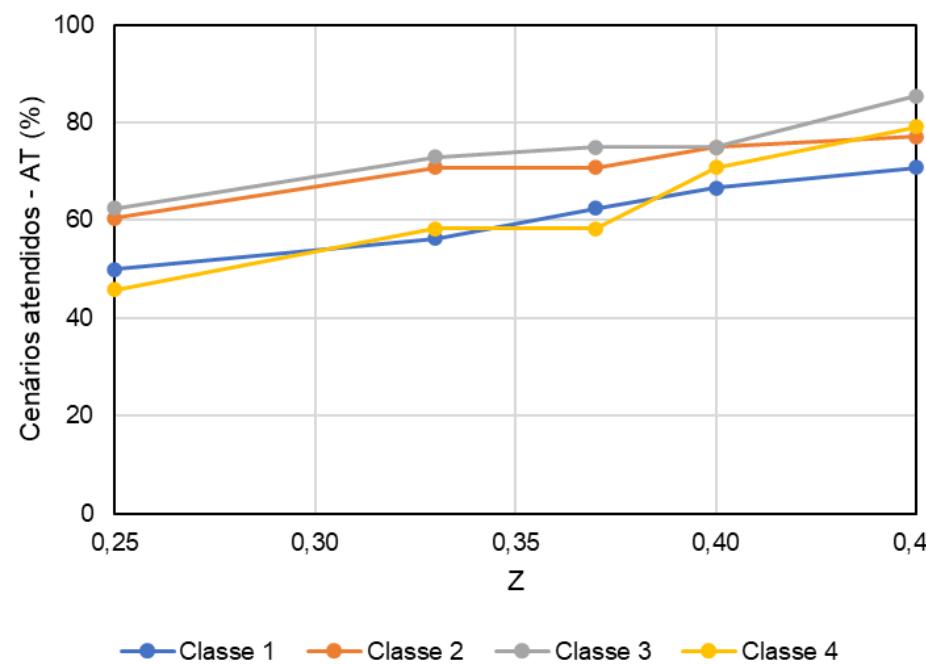
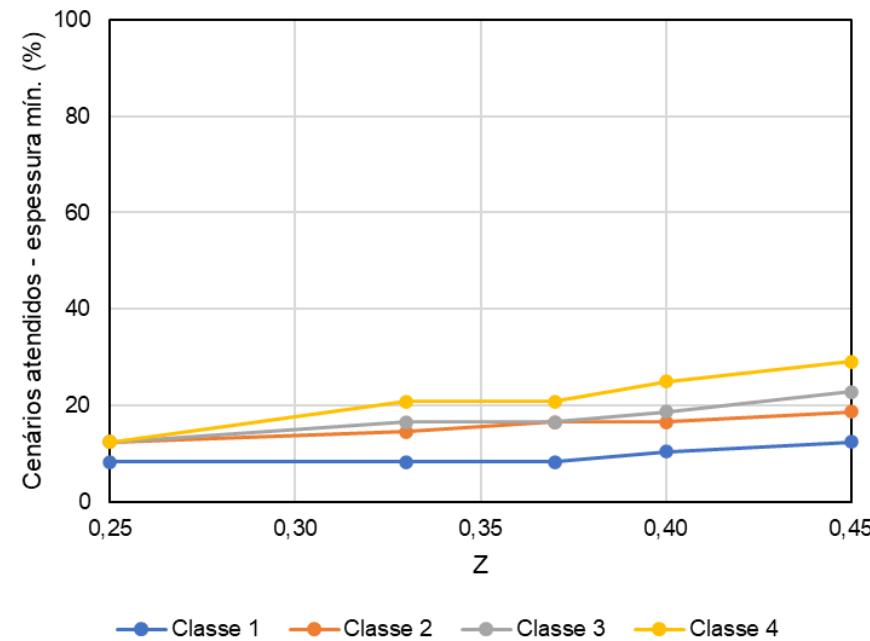


(b)

Variação de n com Z fixo em 0,25

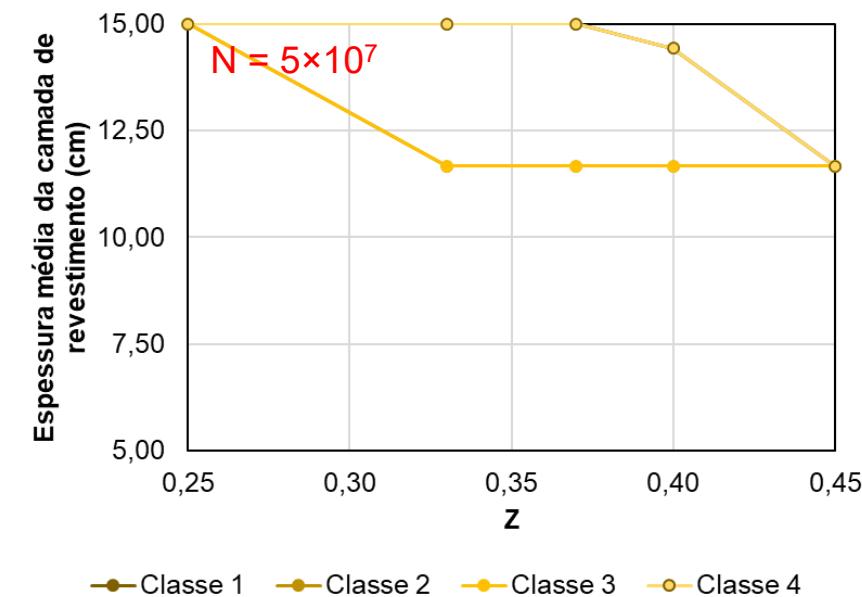
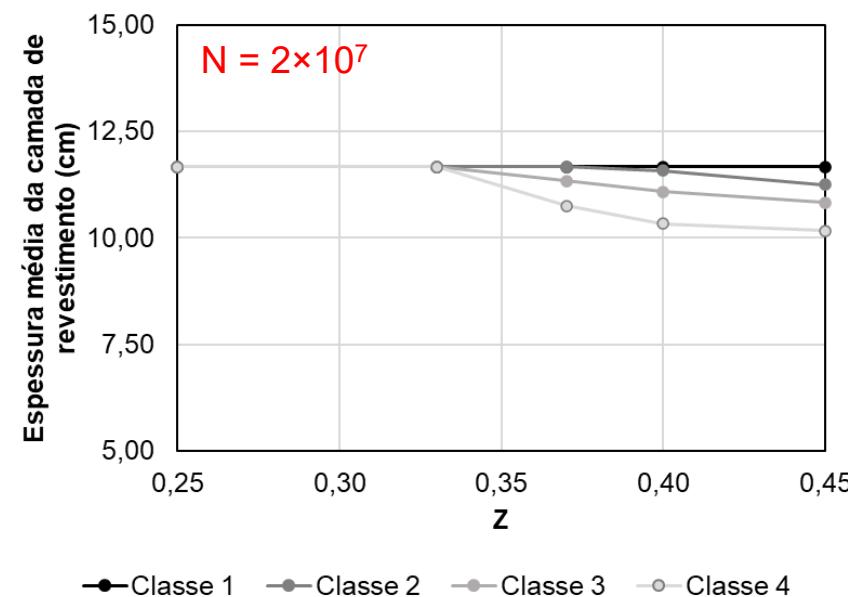
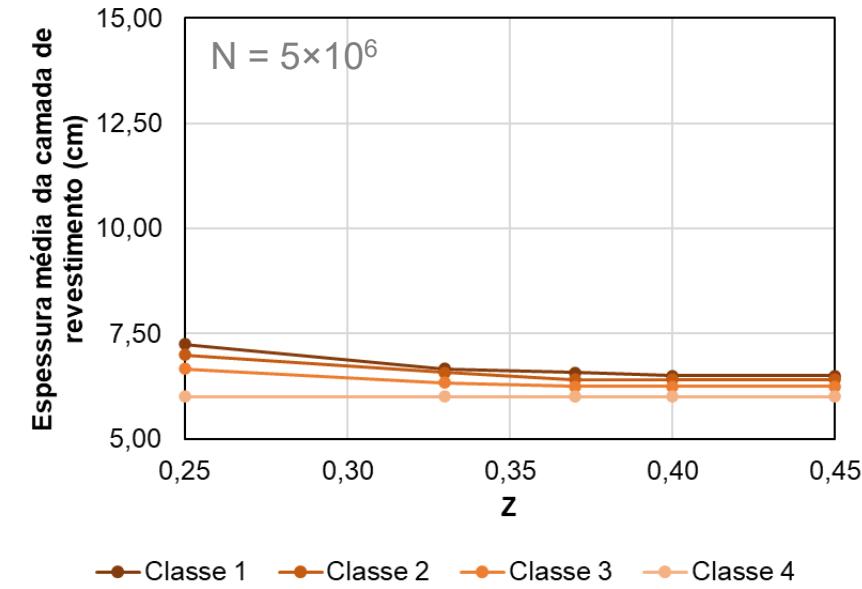
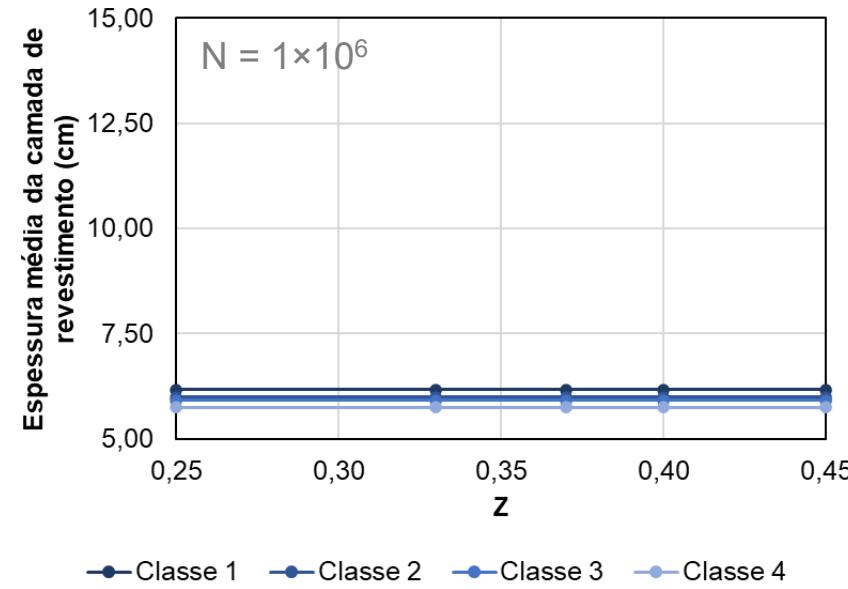
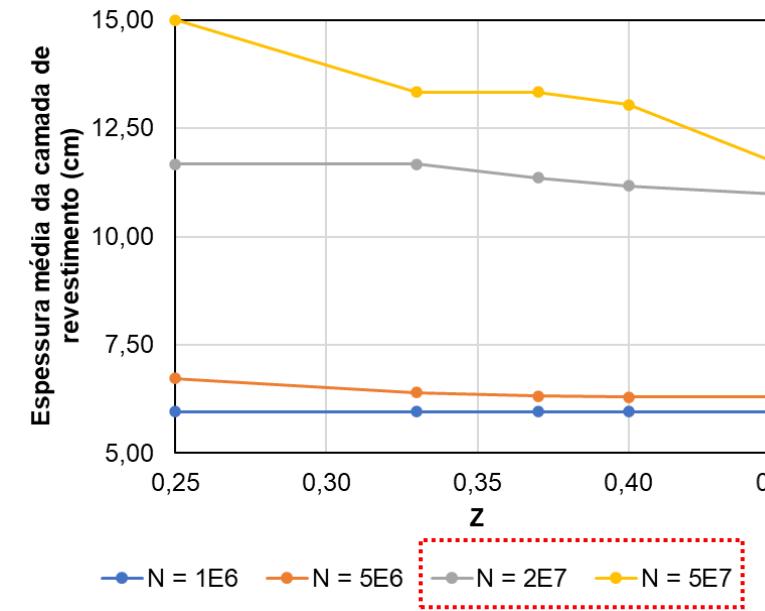
ESTRUTURA	N	CLASSE 1					CLASSE 2					CLASSE 3					CLASSE 4				
		Z = 0,25	Z = 0,33	Z = 0,37	Z = 0,40	Z = 0,45	Z = 0,25	Z = 0,33	Z = 0,37	Z = 0,40	Z = 0,45	Z = 0,25	Z = 0,33	Z = 0,37	Z = 0,40	Z = 0,45	Z = 0,25	Z = 0,33	Z = 0,37	Z = 0,40	Z = 0,45
A	1,00E+06	10,60	4,10	2,10	1,10	0,20	11,40	4,40	2,30	1,20	0,20	9,40	3,70	1,80	0,90	0,20	6,10	2,40	2,40	0,50	0,10
	5,00E+06	29,70	29,10	21,80	17,50	8,10	29,30	26,80	24,90	17,30	8,00	28,10	21,60	15,70	10,20	4,30	21,20	8,80	8,80	2,80	0,80
	1,00E+07	40,00	27,90	26,70	26,10	25,90	29,80	29,50	27,40	30,00	28,60	28,60	27,10	24,90	27,20	25,20	27,80	21,90	21,90	8,50	3,50
	2,00E+07	94,80	78,80	67,60	57,80	39,50	71,50	49,40	36,60	27,20	29,50	53,80	31,50	27,50	28,30	24,50	50,50	29,70	29,70	29,60	21,20
	3,00E+07	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	95,50	87,40	79,80	63,60	88,40	70,20	57,90	47,60	30,00	84,20	64,70	64,70	41,70	26,80
	4,00E+07	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	96,40	90,30	76,70	99,00	98,00	98,00	83,40	68,00
	5,00E+07	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
	1,00E+08	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
B	1,00E+06	4,60	1,80	0,90	0,40	0,10	4,20	1,70	0,80	0,40	0,00	4,00	1,60	0,70	0,30	0,00	4,30	1,70	1,70	0,30	0,00
	5,00E+06	10,90	4,20	2,10	1,10	0,20	10,10	3,90	2,00	1,00	0,20	9,30	3,60	1,80	0,90	0,20	10,00	3,90	3,90	1,00	0,20
	1,00E+07	26,20	13,90	8,00	4,90	0,00	26,40	11,60	11,60	3,90	1,30	21,80	9,10	5,00	2,90	0,90	21,10	8,80	8,80	2,80	0,80
	2,00E+07	27,70	24,50	28,40	29,30	20,50	28,70	27,80	23,60	16,20	7,40	27,80	24,00	14,90	9,70	4,10	29,30	24,80	24,80	10,10	4,30
	3,00E+07	39,10	27,80	27,70	27,10	20,60	28,30	29,50	27,90	19,80	26,40	28,60	28,40	25,70	25,60	19,30	38,90	29,00	29,00	25,00	19,90
	4,00E+07	58,10	35,50	28,90	28,20	29,20	30,90	27,00	26,30	23,10	18,20	28,60	27,10	29,80	21,30	28,60	57,70	35,20	35,20	27,80	27,10
	5,00E+07	77,10	55,90	42,90	33,00	27,80	41,80	28,60	27,60	26,30	29,00	36,50	27,60	27,00	26,40	26,70	76,70	55,40	55,40	32,60	29,60
	1,00E+08	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	97,40	82,60	72,00	62,50	44,30	89,00	71,00	58,80	48,60	30,80	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
C	1,00E+06	3,30	1,40	0,70	0,30	0,00	3,00	1,20	0,60	0,20	0,00	2,90	1,20	0,50	0,20	0,00	3,50	1,40	1,40	0,30	0,00
	5,00E+06	7,10	2,80	1,30	0,60	0,10	6,10	2,40	1,10	0,50	0,10	5,80	2,30	1,10	0,50	0,10	7,60	2,90	2,90	0,70	0,10
	1,00E+07	13,90	5,50	2,90	1,70	0,40	10,70	4,20	2,10	1,10	0,20	9,90	3,80	1,90	1,00	0,20	13,60	5,30	5,30	1,50	0,30
	2,00E+07	29,80	16,90	9,90	6,20	2,40	24,60	10,60	5,90	3,50	1,10	19,50	8,00	4,30	2,50	0,70	29,20	14,80	14,80	5,80	2,20
	3,00E+07	35,20	27,70	26,70	18,70	8,80	29,90	22,00	13,50	8,70	3,60	29,90	15,00	8,70	5,40	2,00	36,30	28,90	28,90	15,10	8,00
	4,00E+07	52,30	30,20	28,30	27,90	27,50	29,10	28,80	28,30	20,10	9,60	29,00	26,30	16,70	11,00	4,70	53,90	31,60	31,60	27,20	24,80
	5,00E+07	70,20	48,00	35,30	28,70	28,10	36,50	29,00	29,00	29,10	23,50	32,20	27,70	29,70	21,30	10,30	72,70	50,20	50,20	29,40	28,00
	1,00E+08	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	89,00	71,00	58,80	48,60	30,80	80,60	60,10	47,30	37,10	28,90	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
D	1,00E+06	6,50	2,50	1,20	0,60	0,10	6,10	2,40	1,10	0,50	0,10	5,60	2,20	1,00	0,50	0,10	5,00	2,00	2,00	0,40	0,10
	5,00E+06	21,80	9,10	5,00	2,90	0,90	18,50	7,50	4,10	2,30	0,60	15,50	6,10	3,30	1,80	0,40	13,30	5,20	5,20	1,40	0,30
	1,00E+07	38,90	28,80	18,60	12,40	5,40	28,90	20,80	12,60	8,10	3,30	29,60	17,00	10,00	6,30	2,40	27,10	12,00	12,00	4,10	1,40
	2,00E+07	93,00	76,30	64,80	54,70	36,50	69,20	46,80	34,20	28,80	25,10	51,90	29,80	29,20	25,30	16,50	49,30	27,60	27,60	24,80	12,50
	3,00E+07	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	92,60	83,80	75,70	58,80	86,00	67,00	54,40	44,20	24,70	82,60	62,70	62,70	39,70	27,70
	4,00E+07	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	93,10	86,40	71,70	99,00	96,20	96,20	80,80	64,80
	5,00E+07	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
	1,00E+08	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
E	1,00E+06	4,20	1,70	0,80	0,40	0,00	3,70	1,50	0,70	0,30	0,20	3,50	1,40	0,70	0,30	0,00	3,90	1,60	1,60	0,30	0,00
	5,00E+06	11,40	4,50	2,30	1,20	0,20	9,40	3,60	1,80	0,90	0,20	8,70	3,40	1,70	0,80	0,10	9,60	3,70	3,70	0,90	0,20
	1,00E+07	27,80	12,30	7,00	4,20	1,50	20,30	8,40	4,60	2,60	0,80	17,20	6,90	3,70	2,10	0,50	18,40	7,50	7,50	2,30	0,60
	2,00E+07	28,50	27,20	22,70	21,70	10,50	28,10	22,60	13,90	9,00	3,70	29,70	16,20	9,50	5,90	2,20	28,30	20,70	20,70	8,00	3,30
	3,00E+07	38,80	29,30	27,40	26,20	24,50	29,50	27,30	22,20	22,00	17,80	28,60	25,20	26,90	18,90	8,90	38,60	27,40	27,40	26,30	13,50
	4,00E+07	57,60	35,00	29,20	28,10	29,20	29,50	27,00	26,10	28,00	22,10	28,90	26,60	27,50	25,00	19,10	57,30	34,70	34,70	27,60	26,30
	5,00E+07	76,50	55,20	42,30	32,40	29,70	41,30	28,30	27,50	25,50	26,60	36,10	27,40	26,30	26,10	22,50	76,10	54,70	54,70	32,00	27,20
	1,00E+08	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00	96,80	81,70	70,80	61,20	43,00	88,30	70,00	57,70	47,40	29,80	99,00	99,00	99,00	99,00	99,00
F	1,00E+06	3,40	1,40	0,60	0,30	0,00	2,90	1,20	0,60	0,20	0,00	2,80	1,20	0,50	0,20	0,00	3,40	1,40	1,40	0,30	0,00
	5,00E+06	7,40	2,90	1,40	0,70	0,10	5,80	2,30	1,10	0,50	0,10	5,60	2,20	1,10	0,50	0,10	7,40	2,90	2,90	0,70	0,10
	1,00E+07	14,60	5,80	3,00	1,70	0,40	10,60	4,10	2,10	1,10	0,20	9,80	3,80	1,90	1,00	0,20	13,50	5,30	5,30	1,60	0,40
	2,00E+07	29,90	18,90	11,30	7,10	2,80	26,90	11,90	6,70	4,00	1,40	26,60	11,70	6,60	4,00	1,30	29,30	18,90	18,90	7,20	2,80
	3,00E+07	34,90	27,80	27,20	22,50	11,00	30,00	25,50	16,10	10,50	4,50	28,10	25,60	16,10	10,60	4,50	36,00	28,90	28,90	22,60	11,10
	4,00E+07	51,80	28,60	28,20	28,10	28,20	29,00	29,20	26,10	24,90	8,60	28,90	26,70	24,50	28,60	15,00	53,50	31,20	31,20	29,80	28,40
	5,00E+07</																				

Dimensionamentos

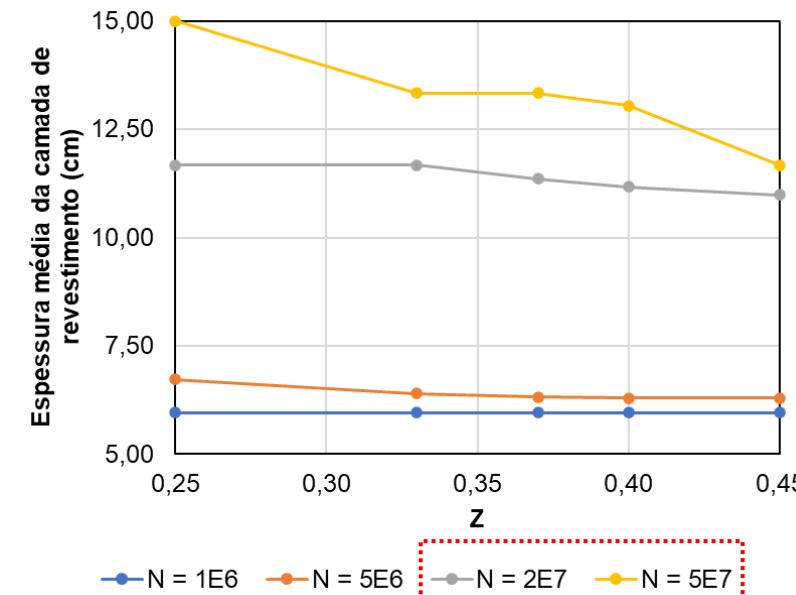


Espessura do revestimento

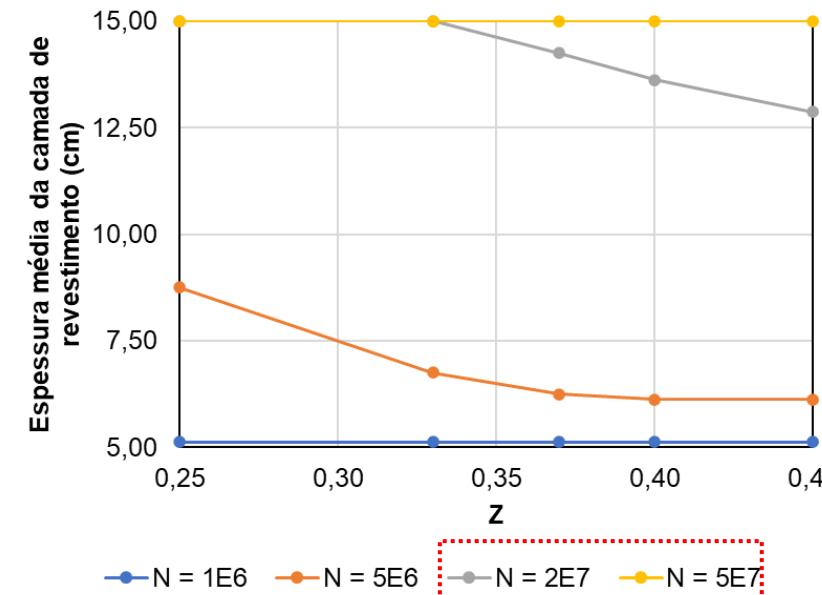
Comportamento médio



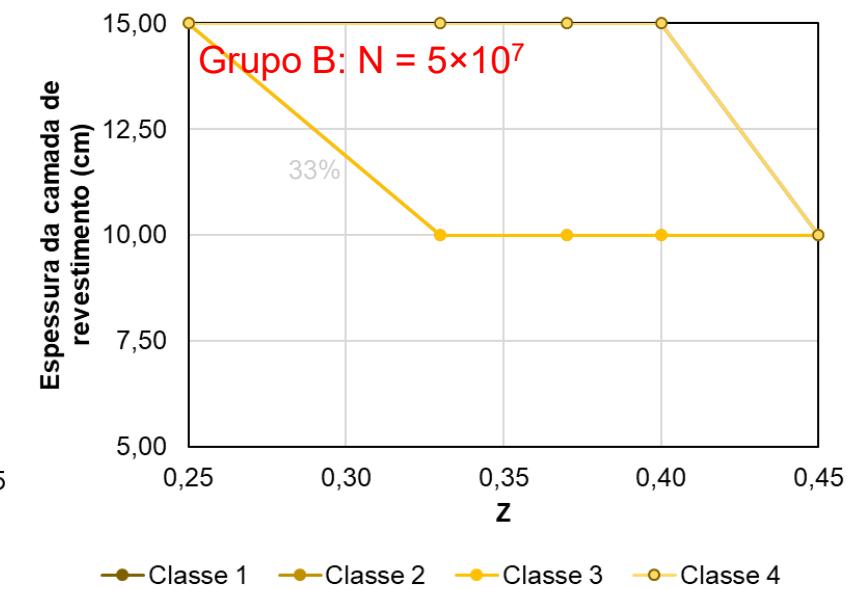
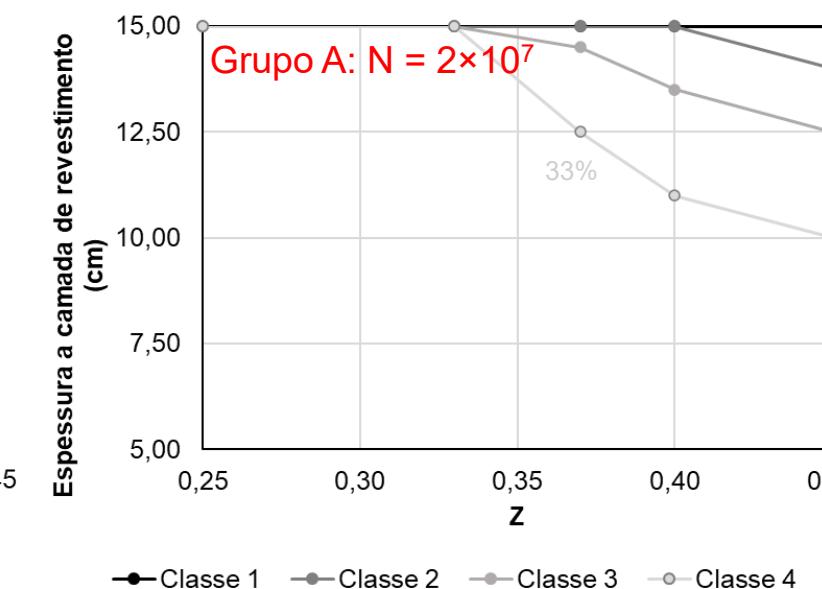
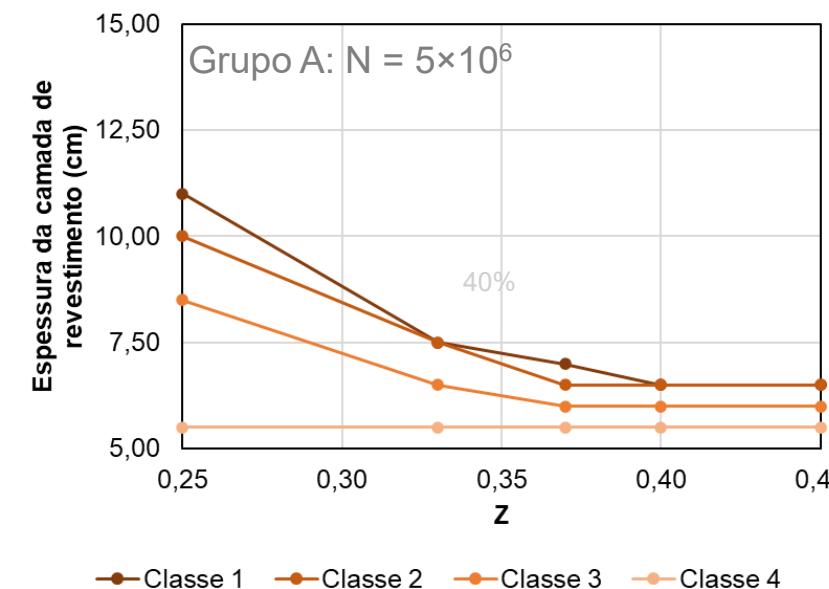
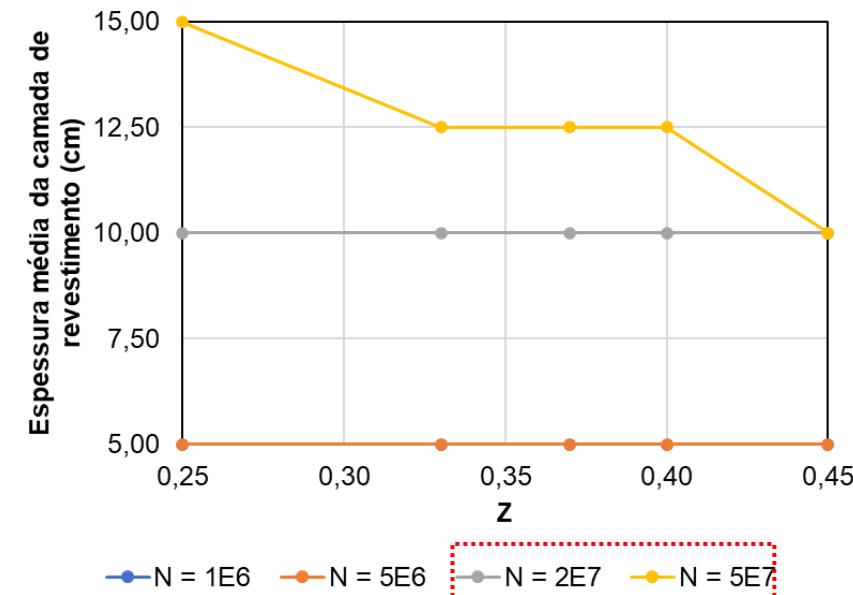
Comportamento médio



Grupo A

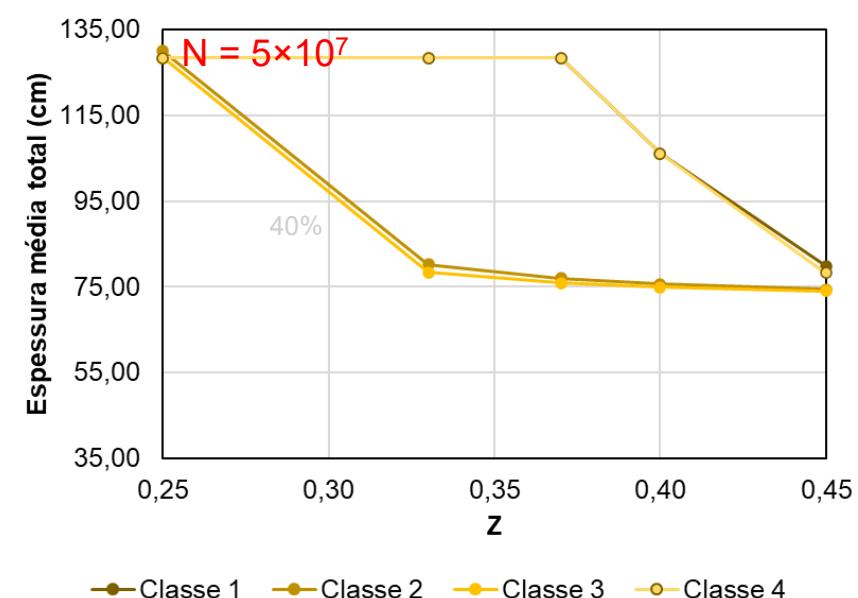
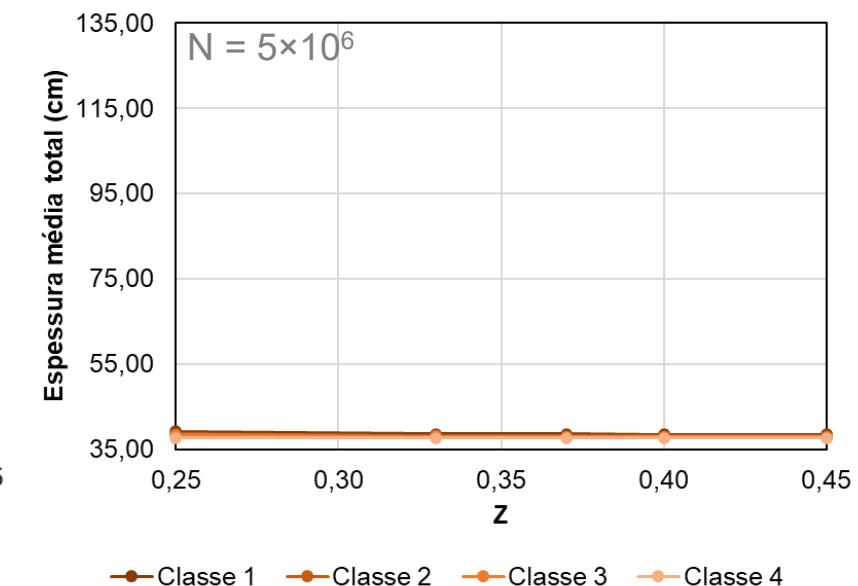
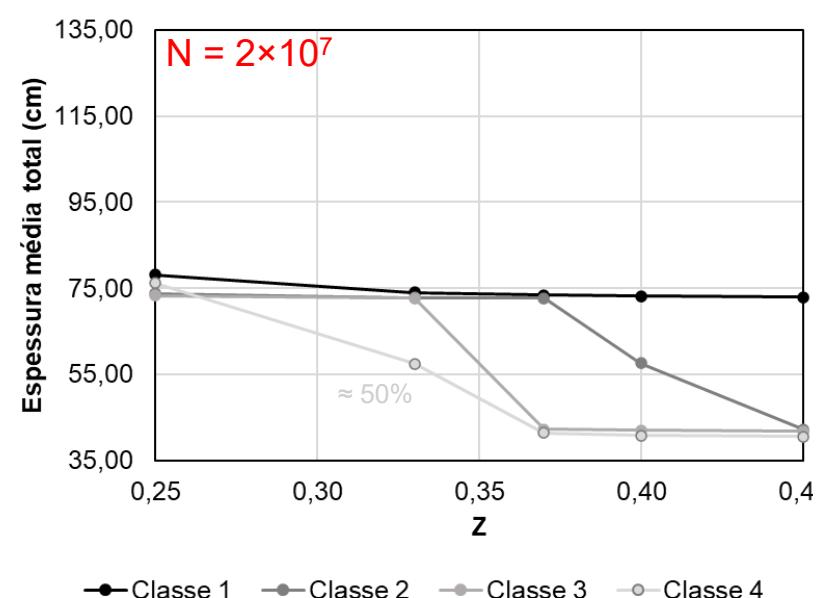
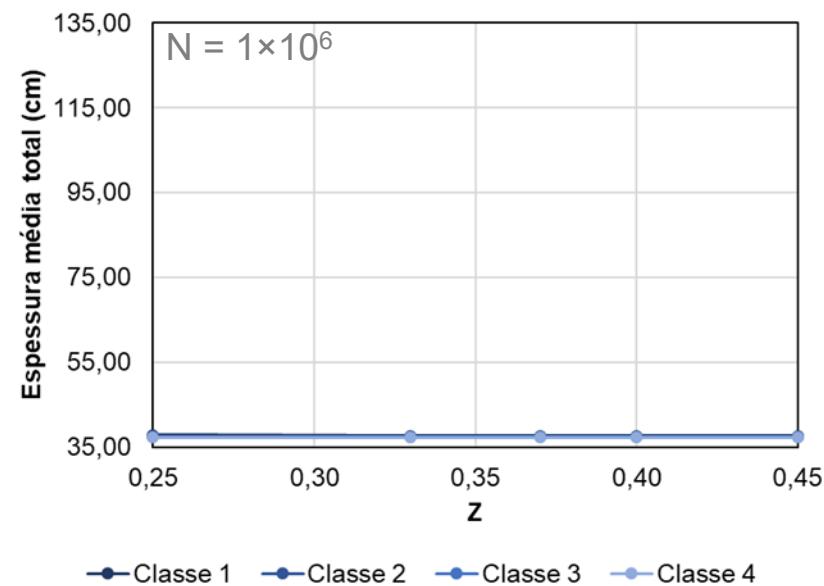
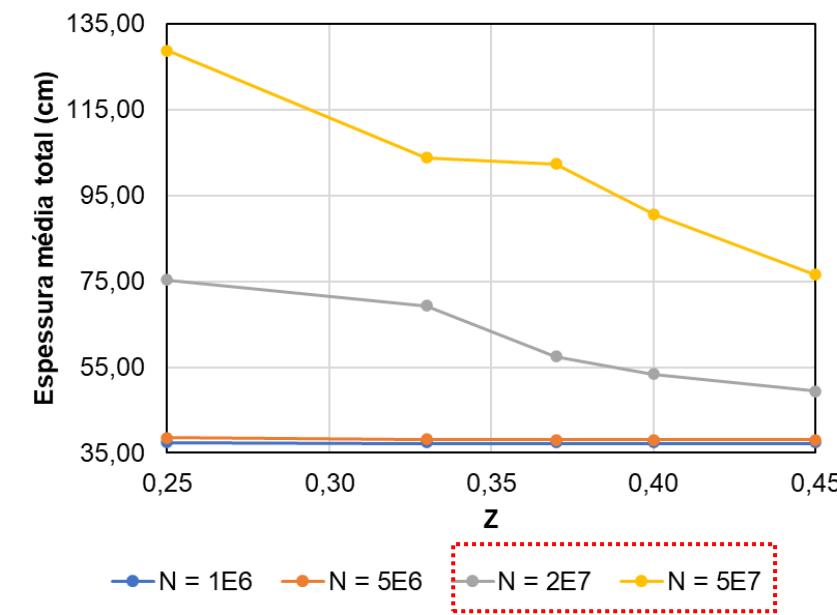


Grupo B

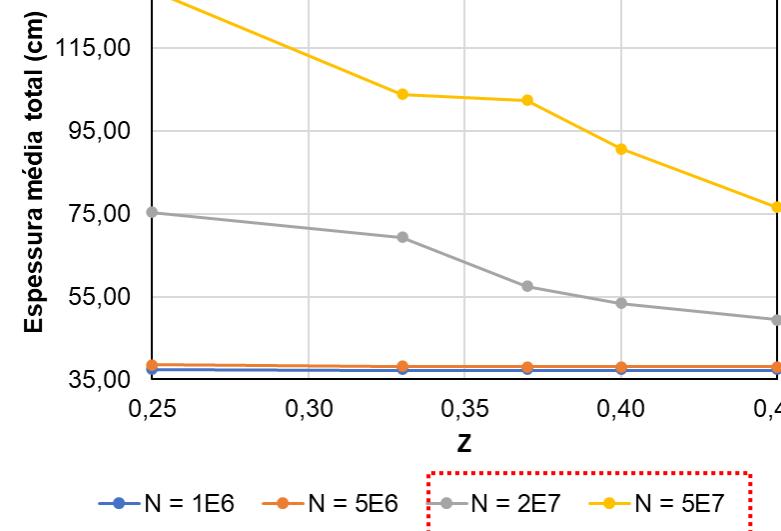


Espessura total

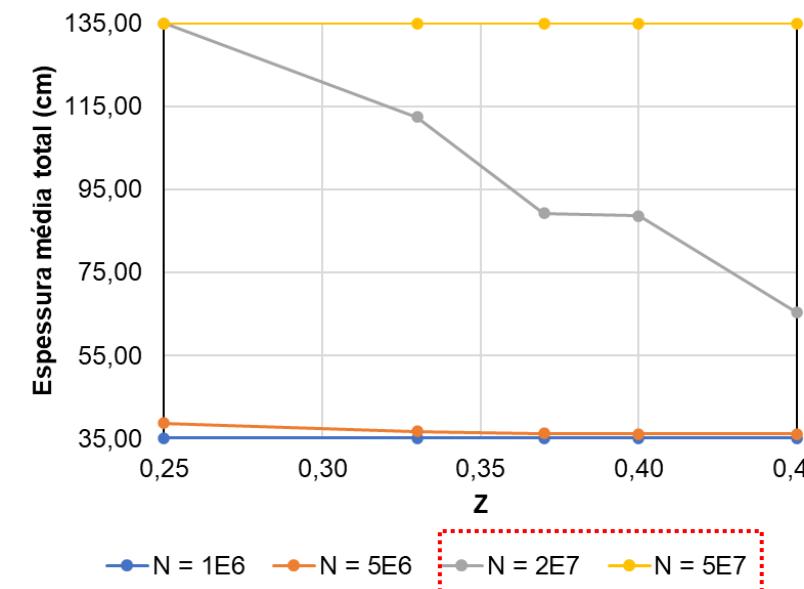
Comportamento médio



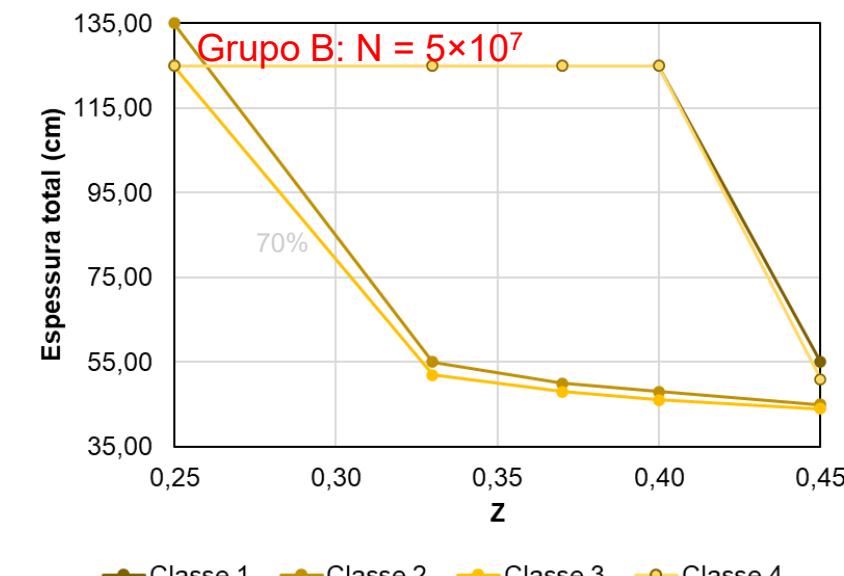
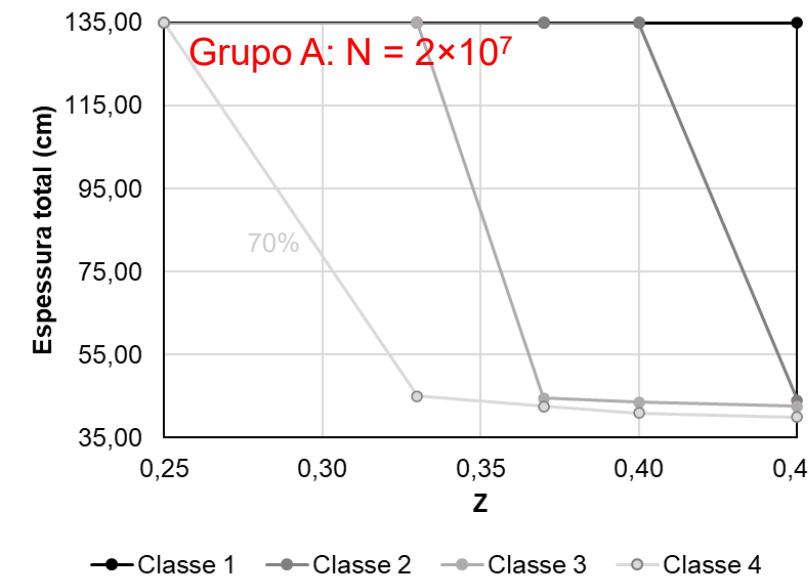
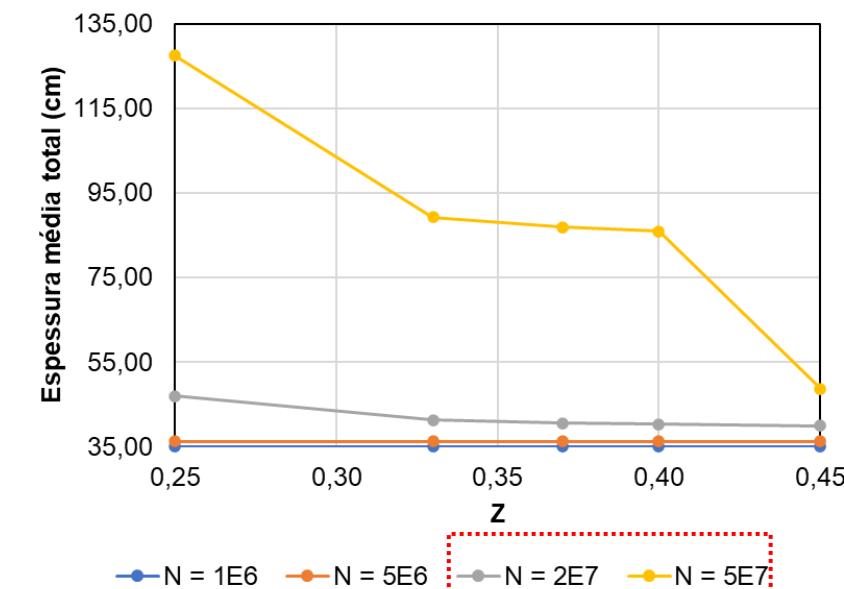
Comportamento médio



Grupo A



Grupo B



Principais observações

Considerando a proposta de ajuste apresentada por Almeida et al. (2024):

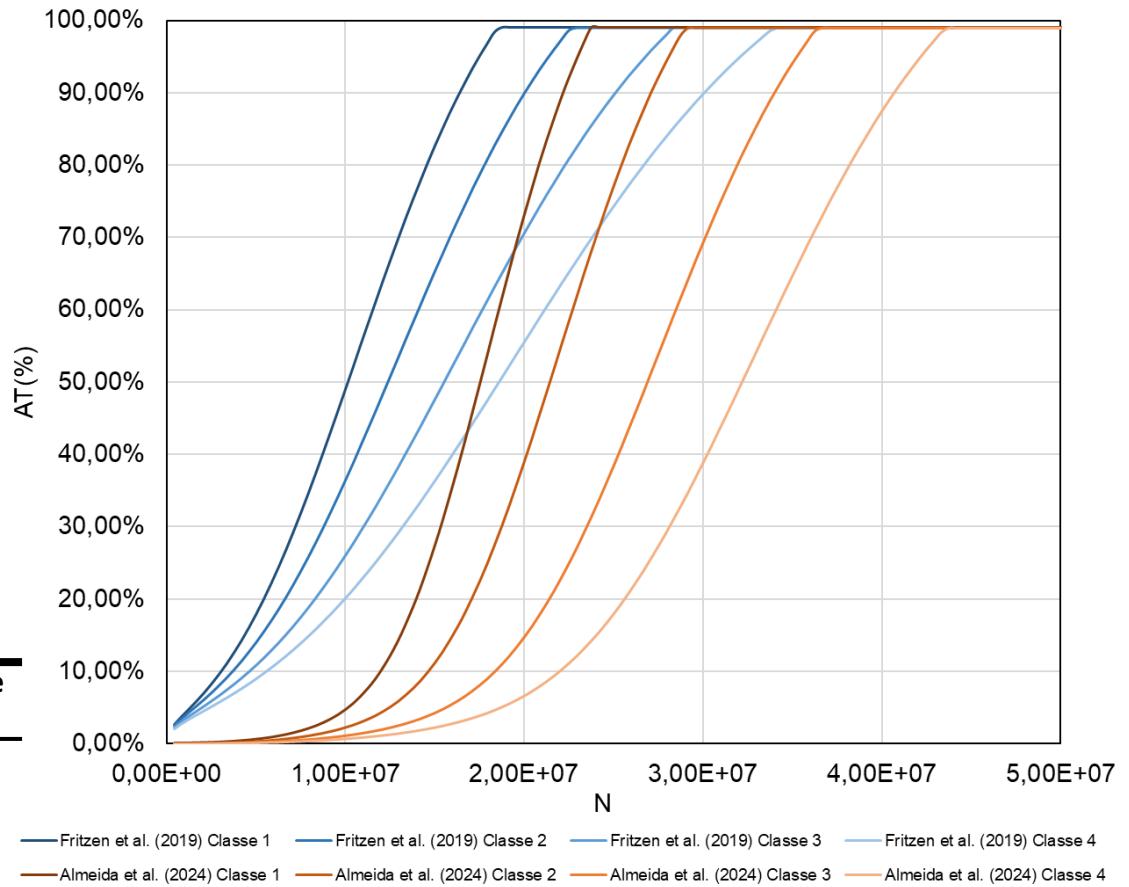
- O aumento de Z e do FFM (fator de fadiga da mistura) aumenta o número de cenários que atendem ao critério de área trincada do MeDiNa;
- Em alguns cenários, o aumento de Z e do FFM reduz a espessura mínima necessária do revestimento para atender aos critérios do MeDiNa. Em outros casos a espessura se mantém constante;
- A análise da espessura total evidencia variações adicionais relacionadas ao aporte em camadas inferiores, especialmente em estruturas semirrígidas.

Dados da estrutura de referência

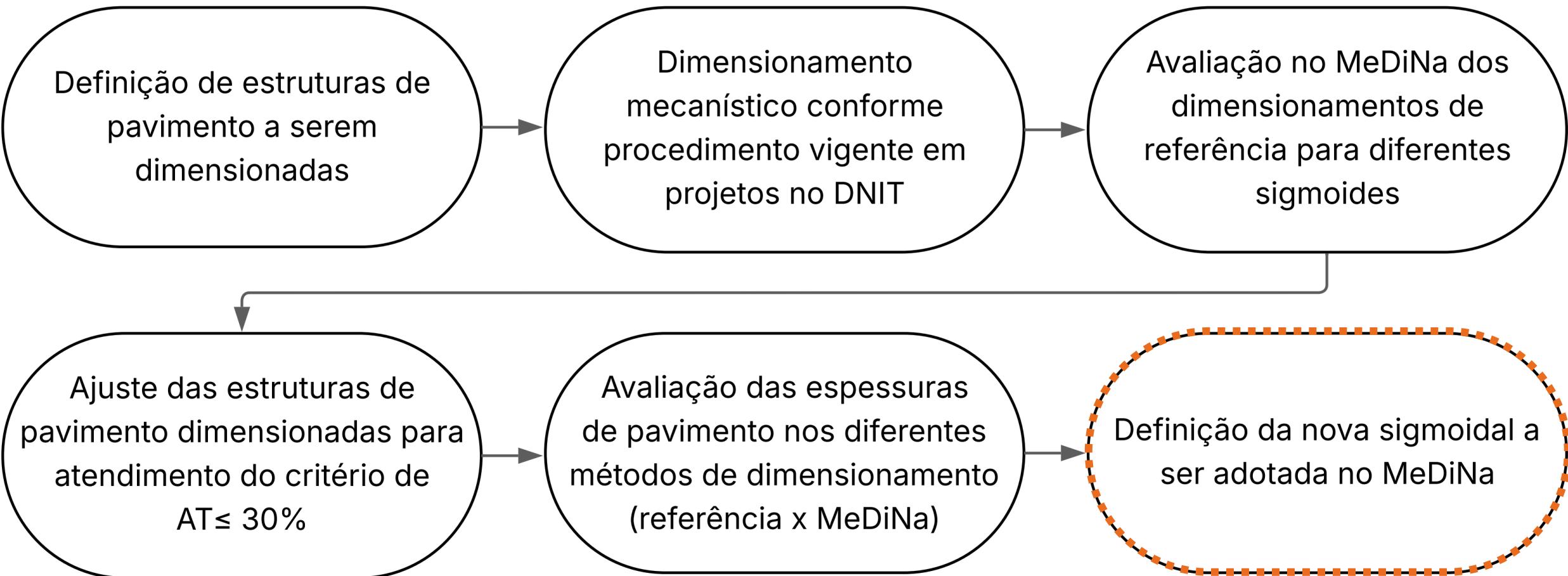
Camada	Espessura (cm)	Material da base de dados do MeDiNa	MR (MPa)	Coeficiente de Poisson
Revestimento	12,50	Classe 1 – Classe 2 – Classe 3 – Classe 4	5764	0,30
Base	20,00	Brita Graduada – Gnaisse C5	381	0,35
Sub-base	25,00	Solo Argiloso LG'(1)	250	0,45
Subleito	-	Solo Siltoso NS'	189	0,45

Nota: assumiu-se comportamento elástico linear para todas as camadas

N Total = 5×10^7



Proposta de ajuste



REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S. de S.; COSTA, W. G. S.; BRESSANIN, H. W.; WARGHA FILHO, N.; MELLO, L. G. R. (2024) Proposta de ajuste da função sigmoidal e área trincada do MeDiNa usando dados da gerência de pavimentos e de segmentos experimentais. ENINFRA, 3(3): 35-52.

COUSSEAU, J. F.; SCHUSTER, S. L.; SPECHT, L. P.; RAMOS, V. N.; COELHO, H. O. (2024). Estabelecimento de Segmento Rodoviário Monitorado na ERS 516: Descrição e previsão de área trincada pelo método MeDiNa. XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, COBRAMSEG, Balneário Camboriú, SC: 5556-5565.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2006). IP-DE-P00/001: Projeto de Pavimentação. São Paulo: Secretaria de Transportes, 53 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2003a). 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, RJ, 11 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. (2021). DNIT 433/2021 – PRO. Pavimentação – Levantamento do percentual de área trincada e de afundamento de trilha de roda de pavimento asfáltico em trechos experimentais, monitorados ou trechos homogêneos de curta extensão – Procedimento. Brasília, DF, 9 p.

FRANCO, F. A. C. P. (2007). Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 294 p.

FRITZEN, M. A. (2016). Desenvolvimento e validação de função de transferência para previsão do dano por fadiga em pavimentos asfálticos. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 262 p.

FRITZEN, M. A.; FRANCO, F. A. C. P.; MOTTA, L. M. G.; UBALDO, M. O. (2019). Atualização da função de transferência do dano de fadiga para a área trincada do programa MeDiNa. 9º Congresso Rodoviário Português, CRP, Lisboa, Portugal, 10 p.

REFERÊNCIAS

GUIMARÃES, A. C. R. (2009). Um método mecanístico-empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 352 p.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. (2015). Mecânica dos Pavimentos. Interciência, Rio de Janeiro, RJ, 620 p.

OZER, H.; AL-QADI, I. L.; LENG, Z. (2008). Fracture-Based Friction Model for Pavement Interface Characterization. *Journal of the Transportation Research Board*, 2057(1): 54-63.

PITANGUI, L. C. (2022). Desempenho de pavimento sustentável com camada de base de mistura reciclada estabilizada com espuma de asfalto. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 120 p.

ROMANOSCHI, S. A.; METCALF, J. B. (2001). Characterization of Asphalt Concrete Layer Interfaces. *Transportation Research Record*, 1778(1): 132-139.

SANTANA, V. R.; ALMEIDA, M. S. S.; SÃO MATEUS, M. S. C.; COSTA, W. G. S.; ACHY, A. R. A.; PEREIRA, I. M. M.; SANTANA, P. R. L. (2025). Accuracy of the Brazilian mechanistic-empirical method in the analysis of asphalt pavements from two experimental sections. *Contribuciones a las ciencias Sociales*, 18(2), 24 p.

SCHERER, R. G.; PEREIRA, D. S.; SPECHT, L. P.; BUENO, L. D. (2022). Avaliação laboratorial da condição de aderência entre base granular e concreto asfáltico. *Transportes*, 30(3), 15 p.

SONG, W.; SHU, X.; HUANG, B.; WOODS, M. (2018). Effects of Asphalt Mixture Type on Asphalt Pavement Interlayer Shear Properties. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 144(2), 7 p.

TOFFOLI, C. M. (2021). Dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos: influência da condição de aderência na interface. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 80 p.

REFERÊNCIAS

TSCHEGG, E. K.; KROYER, G.; TAN, D.; STANZL-TSCHEGG, S. E.; LITZKA, J. (1995). Investigation of bonding between asphalt layers on road construction. *Journal of Transportation Engineering*, 121(4): 309-316

UZAN, J. (1976). Influence of the Interface Condition on stress distribution in a layered system. *Transportation Research Record*, 616: 71-73.

UZAN, J.; LIVNEH, M.; ESHED, Y. (1978). Investigation of adhesion Properties between asphaltic-concrete layers.. 47. 495-521.

VESTENA, P. M. (2021). Segmentos experimentais na BR 116/RS empregando TLAFFLEX, HIMA e 55/75-E (SBS): caracterização avançada e monitoramento. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 273 p.

WHITE, G. (2016). State of the art: interface shear resistance of asphalt surface layers. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(10): 887-901.



Obrigado!

Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia
Laboratório de Infraestrutura - INFRALAB

Campus Universitário Darcy Ribeiro
Brasília - DF | Cep: 70.910-900 | Tel 61.3107-1669

