

RESULTADOS DO PROJETO DE CALIBRAÇÃO E AFERIÇÃO DO MODELO HDM-4 PARA AS CONDIÇÕES DA REDE DE RODOVIAS DO BRASIL

HDM – 4 ????

*Highway Development and Management HDM-4:
Modelo de desenvolvimento e gestão de rodovias*



A HDM-4 é uma ferramenta desenhada para apoiar a Tomada de decisões relacionadas principalmente à gestão da conservação e à reabilitação de pavimentos de redes viárias, em aplicações dirigidas ao planejamento estratégico, à programação de atividades de intervenção e à avaliação econômica de planos e políticas de conservação.

Nota: Sua versão mais recente é a 2.10

Sistema de Gerência de Infraestrutura Rodoviária

Apesar do HDM-4 ser um software...

...é preciso considerar que esta ferramenta deve fazer parte de um sistema de gestão...

... e não considerar que o HDM-4 seja o Sistema em si mesmo, como muitos afirmam, erroneamente.

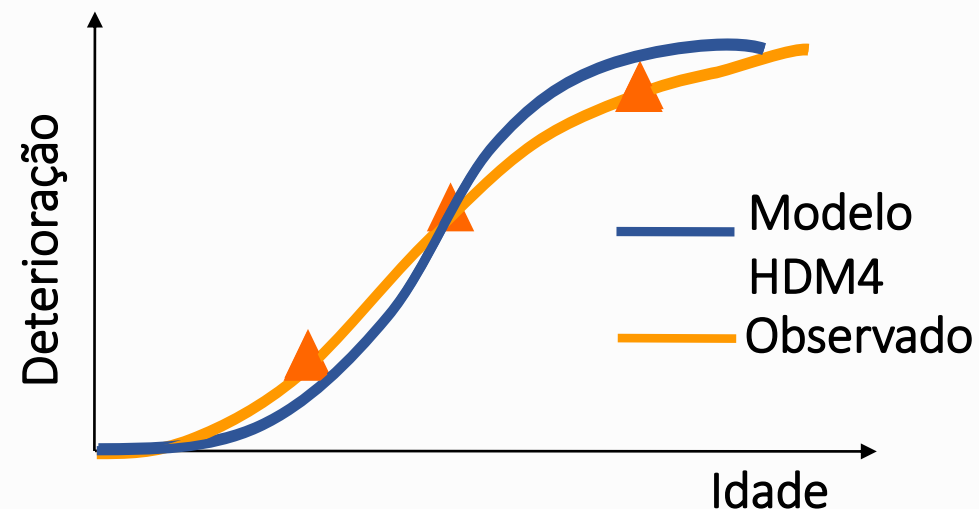


Também não se deve chegar ao extremo de reduzir sua potencialidade pensando que é apenas um programa de computador, com o qual sua real dimensão seria desperdiçada.

O projeto

CALIBRAÇÃO E AFERIÇÃO DO MODELO HDM-4 ÀS CONDIÇÕES DAS RODOVIAS BRASILEIRAS, FASE II – NÍVEL 3.

A calibração de um **modelo de deterioração de pavimentos** consiste em ajustar as previsões do modelo com o comportamento real do pavimento. O desempenho do pavimento é reconstruído realizando as medições em campo por um período prolongado de tempo, neste caso, 5 anos.



O projeto

Calibrações de Referência no Mundo



O projeto



Obtenção de respostas e soluções realistas em diferentes regiões. No caso do Brasil, um país extenso, com diversas zonas climáticas e condições geológicas e geotécnicas tão diferentes entre si, é de altíssima importância a determinação de parâmetros específicos que permitam caracterizar o comportamento estrutural e funcional do pavimento.



O registro das informações da condição e comportamento do pavimento de forma consistente e comparativa, além de permitir a aferição dos modelos de previsão de desempenho das rodovias pavimentadas, também permite avaliar a efetividade das técnicas e políticas de manutenção.



Aperfeiçoar as ferramentas para tomar as melhores decisões relacionadas à gestão e planejamento de políticas de conservação e reabilitação de redes e projetos rodoviários.

O projeto

- REVISÃO FASE 1:** Revisão, validação, atualização e complementação dos resultados da fase I, níveis 1 e 2.
- SELEÇÃO DOS TRECHOS:** Definição e seleção de 50 seções de ensaio que representem a rede de rodovias federais.
- ATIVIDADES DE CAMPO:** Pesquisa e monitoramento das condições das seções selecionadas.
- ANÁLISE DE DADOS:** Identificação e validação de segmentos homogêneos, alimentação do banco de dados do SGP e Proposta e validação de calibração final resultante para fase II, nível 3.
- TREINAMENTOS:** Realização de treinamentos em HDM-4.



Fase I- Configuração e Parametrização

Frota Veicular



Custos dos Usuários e das Intervenções



Níveis de Tráfego



Traffic Flow Pattern: Inter-urban

Definition
Name: Inter-urban
Road use: Inter-urban

Flow distribution data

Period	Description	Wts per year (HRY/Rp)	Hourly Volume (HV)	% of AADT (PCNADT)
1	P	87.50	0.050	2.17
2	P	250.40	0.080	7.59
3	P	813.20	0.070	11.64
4	P	2978.40	0.050	40.24
5	P	4730.40	0.030	38.36

8750.00 1.013

NB: SUM(HRY/Rp) must equal 0750, and SUM(HV/Rp * HV)/365 must equal 1.00 ± 0.05

Histogram showing flow distribution data specified above

Speed Flow Type: Four Lane Road

General
Name: Rodovia de pista dupla
Number of Lanes: 2
Road type: Two Lane Road

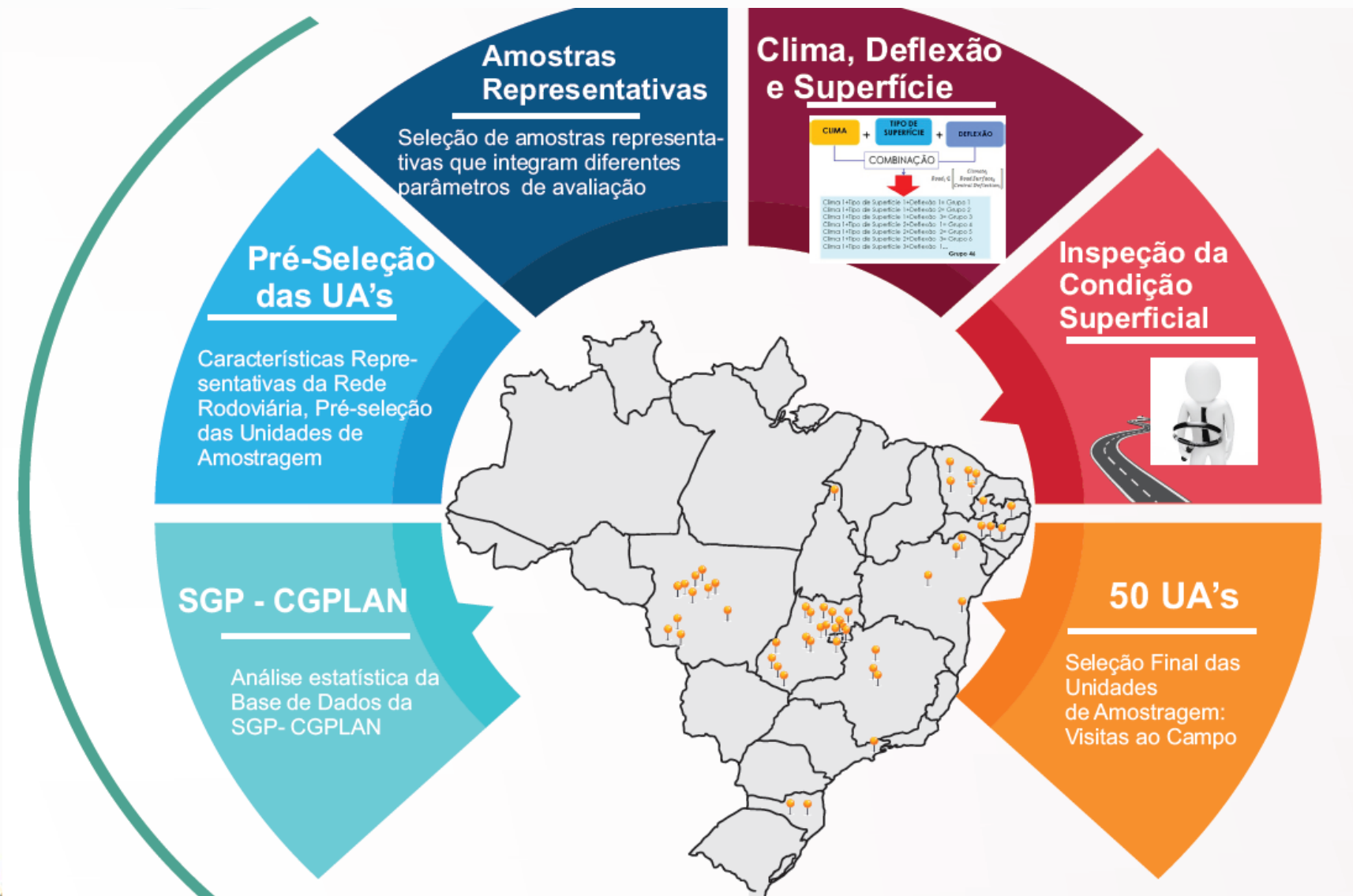
Capacity characteristics

Ultimate capacity (Qu): 1400 PCSE/hour
Free-flow capacity (Qo): 140 (Qo = Qo + Green)
Normal capacity (Qnom): 1250 (Qo + Green + Qult)
Jam speed at capacity (Su): 05 km/h

Speed related
Sigma factor: 0.05 m/s²
CALFAC: 1
VDESMUL: 1

Set the capacity data to the default values for the selected road type

Seleção dos Trechos Experimentais

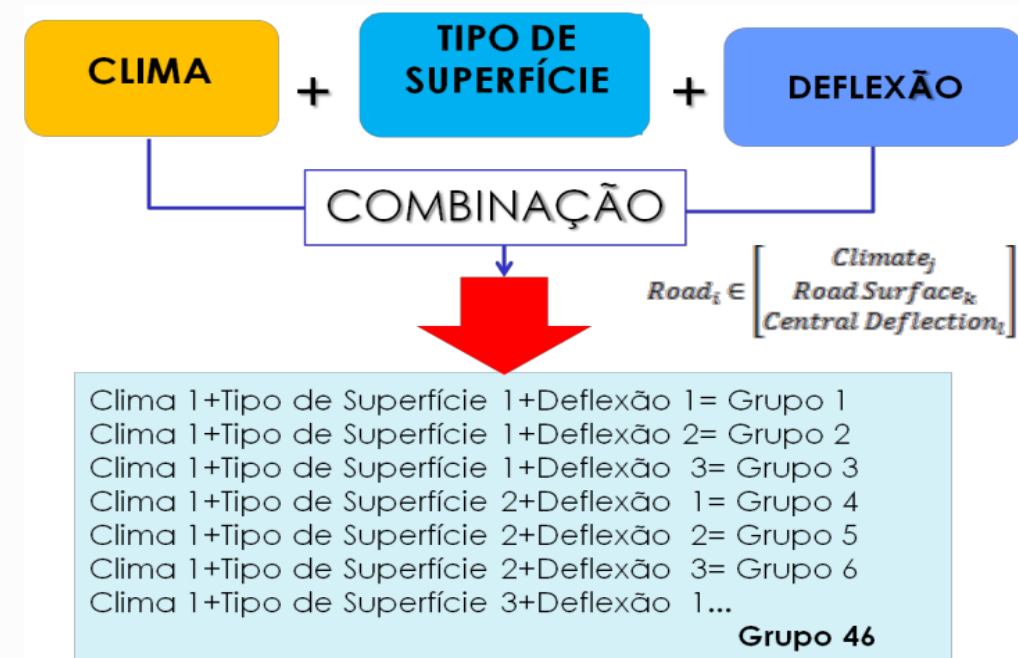


Seleção dos Trechos Experimentais

Grupos Estatísticos

$$Rodovia_i \in \begin{bmatrix} \text{Clima}_j \\ \text{Superfície da Estrada}_k \\ \text{Deflexão Central}_l \end{bmatrix}$$

Variáveis explicativas não mutáveis, que são instrumentais para definir a deterioração da população rodoviária, as quais concordam com o pré-requisito de serem definidas como variáveis no modelo HDM-4 e que estão prontamente disponíveis no banco de dados do DNIT.



Atividades de Campo



Medição de Rugosidade com RSP



Contagens e Pesagem



Medição de Microtextura



Demarcação

Levantamentos de campo



Medição de Macrotextura



Medição de Deflexões com FWD



Geotecnia



Identificação de defeitos no pavimento



Calibração – Análise de Dados

Calibrar é modificar as previsões dos modelos através de coeficientes numéricos (K_i), minimizando a diferença entre valores previstos e observados.

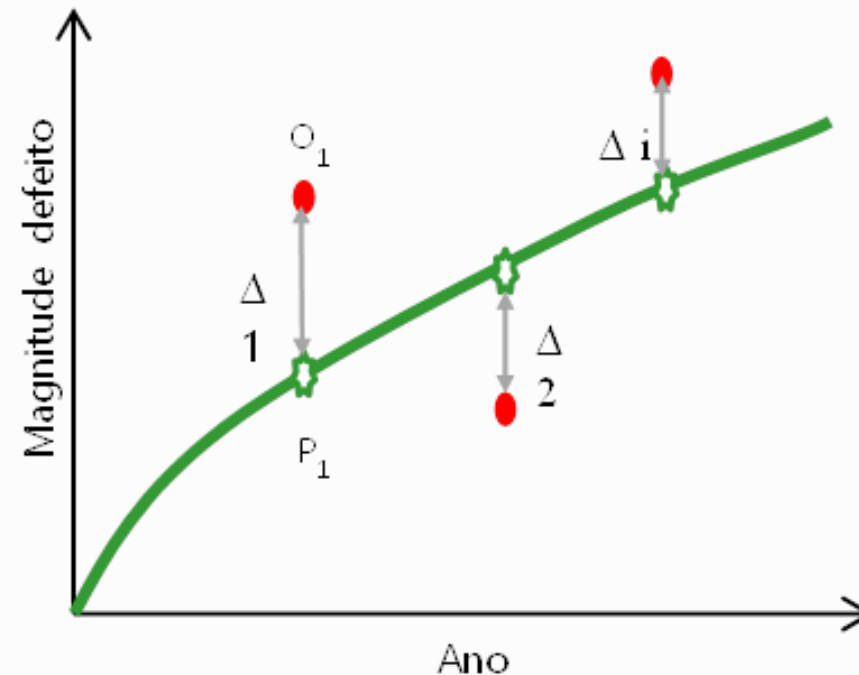



$$ICA = K_{cia} \left\{ CDS^2 a_o \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE4}{SNP^2} \right) \right] + CRT \right\}$$




K_{cia}	Início de trincas totais	K_{vi}	Início do gaste	K_{pp}	Progressão de painelas	K_{rst}	Progressão de afundamento estrutural	K_{gs}	Componente estrutural do IRI
K_{cpa}	Progressão de trincas totais	K_{vp}	Progressão do gaste	K_{td}	Progressão da textura	K_{rpd}	Progressão de afundamento plástico	K_{gc}	Componente de trincamento do IRI
K_{ciw}	Início de trincas largas	K_{pic}	Iniciação de painelas - trincamento	K_{sfc}	Resistência à derrapagem	K_{rds}	Desvio Padrão de afundamento	K_{gr}	Componente de afundamento do IRI
K_{cpw}	Progressão de trincas largas	K_{pir}	Progressão de painelas - trincamento	K_{rid}	Início de afundamento	K_{gm}	Progressão do IRI devido ao ambiente	K_{gp}	Componente de painelas do IRI

Calibração de um grupo de Trechos A, defeito X

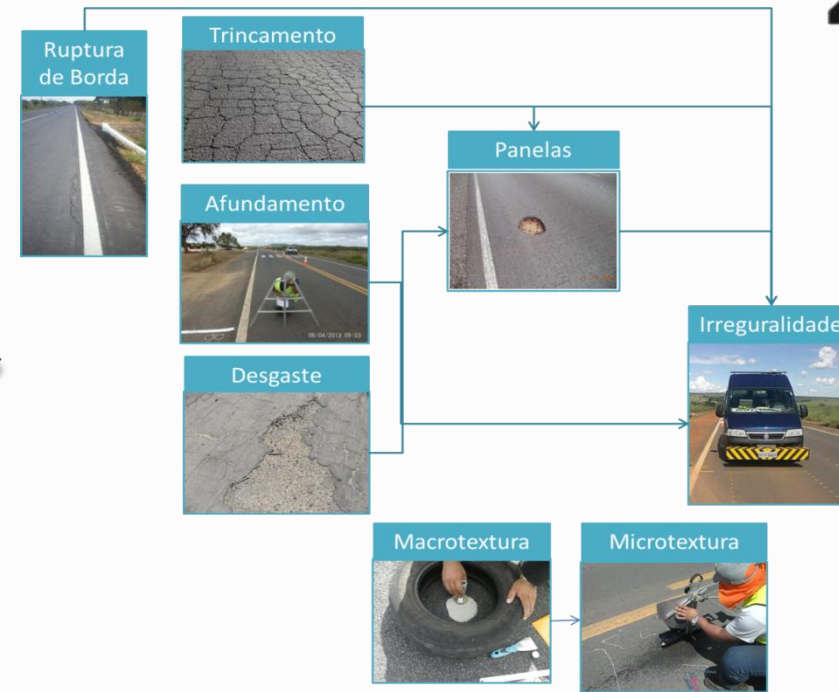


 Valor estimado

 Valor observado

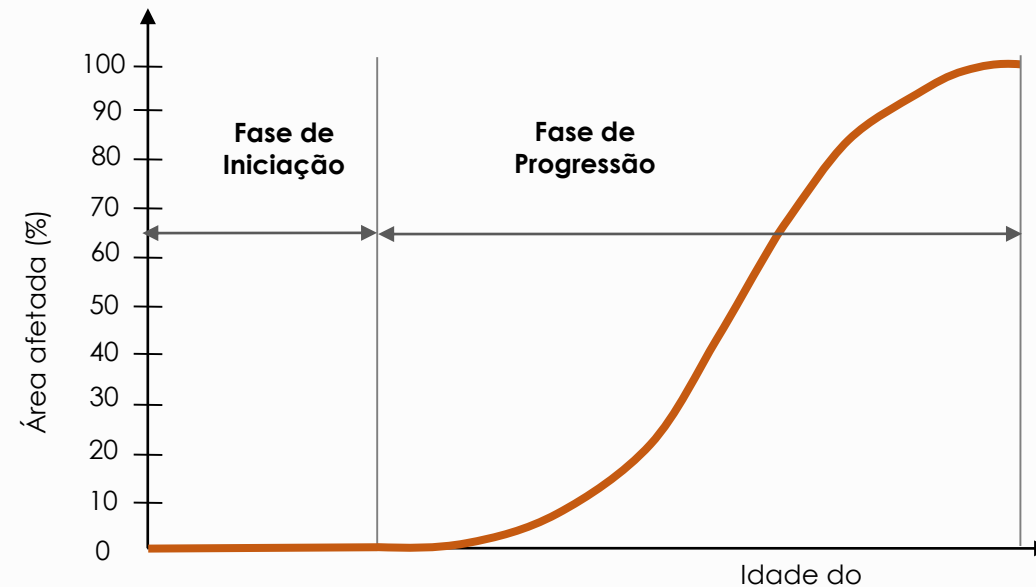
Os Modelos

Definition	Geometry	Pavement	Condition	Other	Motorised Traffic	Asset Valuation
Condition at end of year			2018			
Roughness (IRI - m/km)			1.80			
All Structural Cracks (%)			0.00			
Wide Structural Cracks (%)			0.00			
Thermal Cracks (%)			0.00			
Ravelled area (%)			0.00			
Number of Potholes (No./km)			0.00			
Edge break area (m ² /km)			0.00			
Mean rut depth (mm)			1.00			
Rut depth standard deviation (mm)			0.00			
Texture depth (mm)			0.70			
Skid resistance (SCRIM 50km/h)			0.50			
Drainage			Excellent			



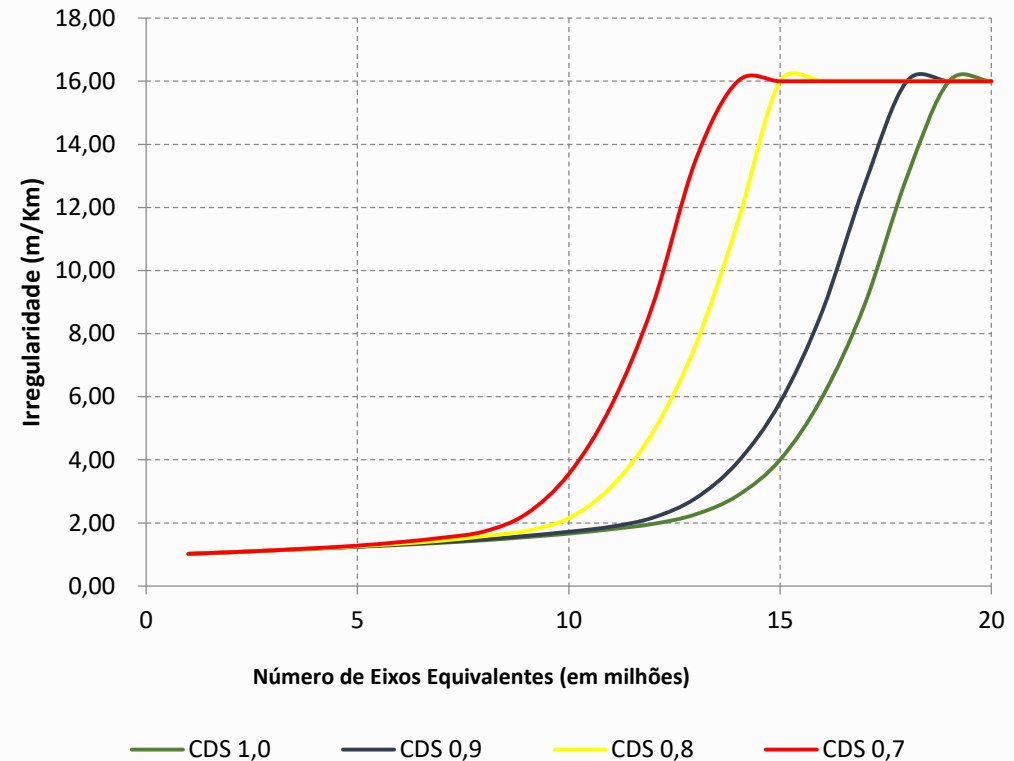
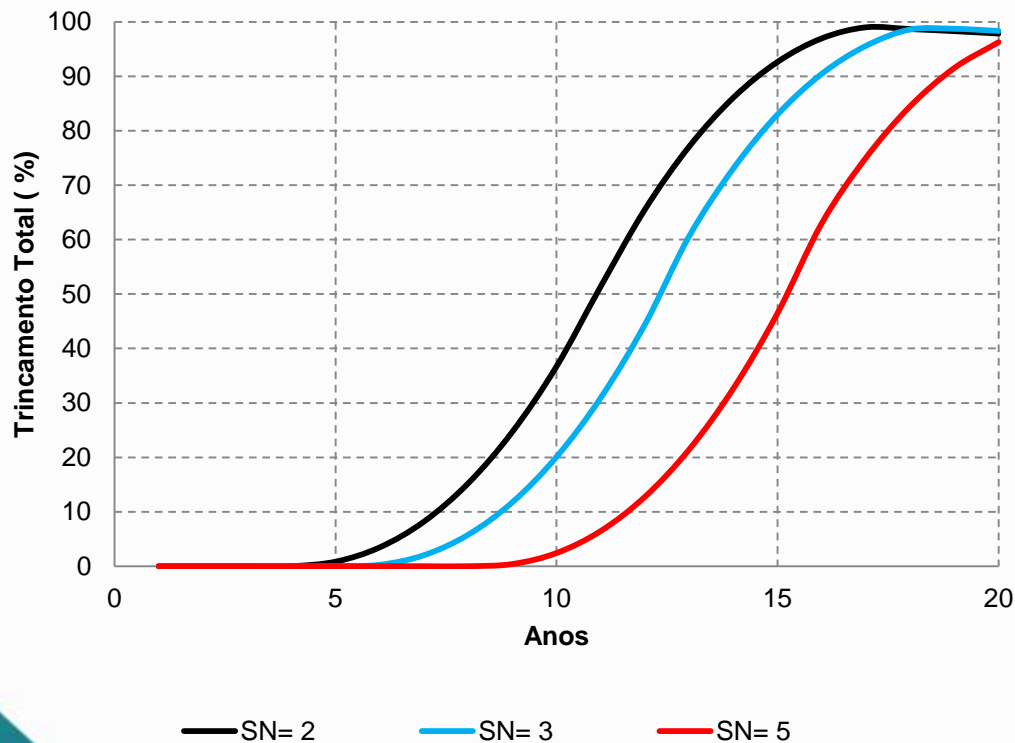
Fases dos Modelos

Os modelos dos defeitos correspondentes a trincamento, desintegração e painelas são analisados nas duas fases e os demais defeitos se apresentam somente na fase de progressão.



Sensibilidade

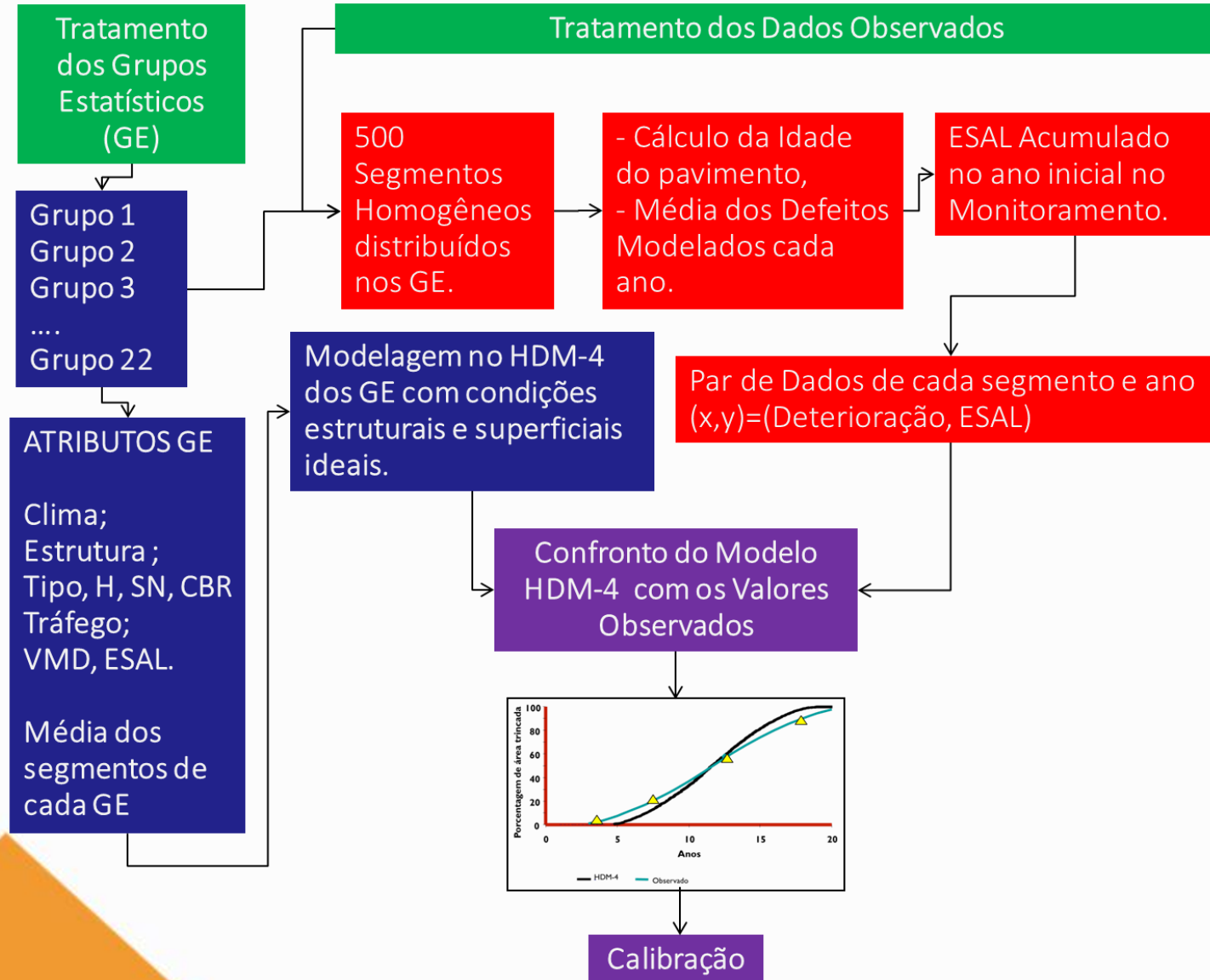
SN (Number Structural) e CDS (Construction Defects Indicator for Surfacing)



A variação unitária do valor do SN, sob as mesmas condições climáticas e com as mesmas solicitações de tráfego, pode gerar uma diferença de 2 anos para desenvolver o mesmo percentual de área trincada.

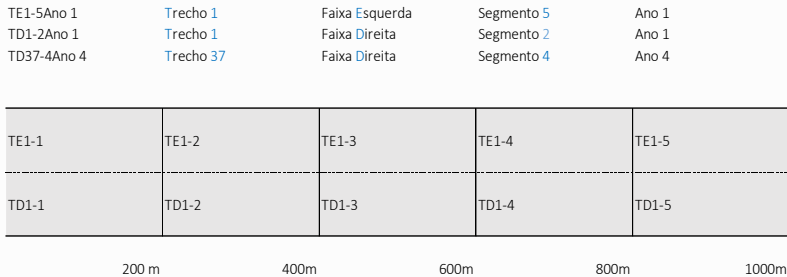
Tanto para uma situação favorável como desfavorável, os modelos de deterioração do HDM-4 incorporam coeficientes associados à qualidade da construção (CDS e CDB)

Metodologia



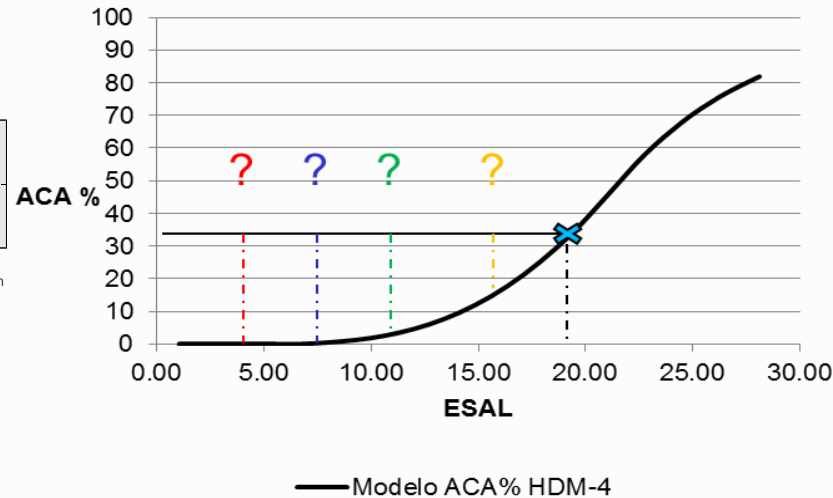
Metodologia

Segmentação



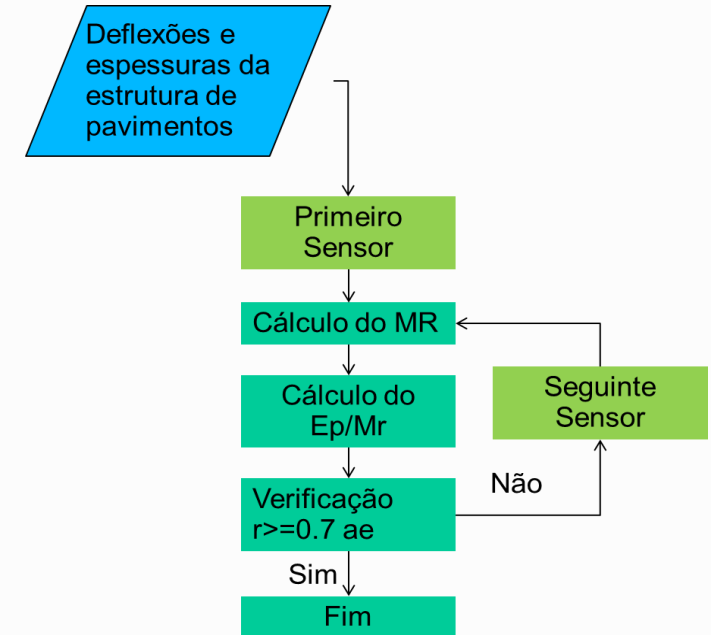
Segmentar as unidades de amostragem por faixa a cada 200m aumentou em 10 vezes as amostras e gerou a possibilidade não somente de discretizar os dados, como também facilitou a tomada de decisões para descartar algum valor atípico causado por problemas localizados, associados ou não a deficiências estruturais pontuais.

Idade do Pavimento



A idade do pavimento foi calculada a partir do ESAL. Considera-se que o ESAL reúne todos os parâmetros para dimensionar as solicitações de carga, como VMD, distribuição da frota, taxa de crescimento, fatores de carga.

Resistência do Pavimento



A resistência do pavimento (SN) expressa numericamente o comportamento do pacote estrutural ante as cargas do tráfego e outros fatores como o clima

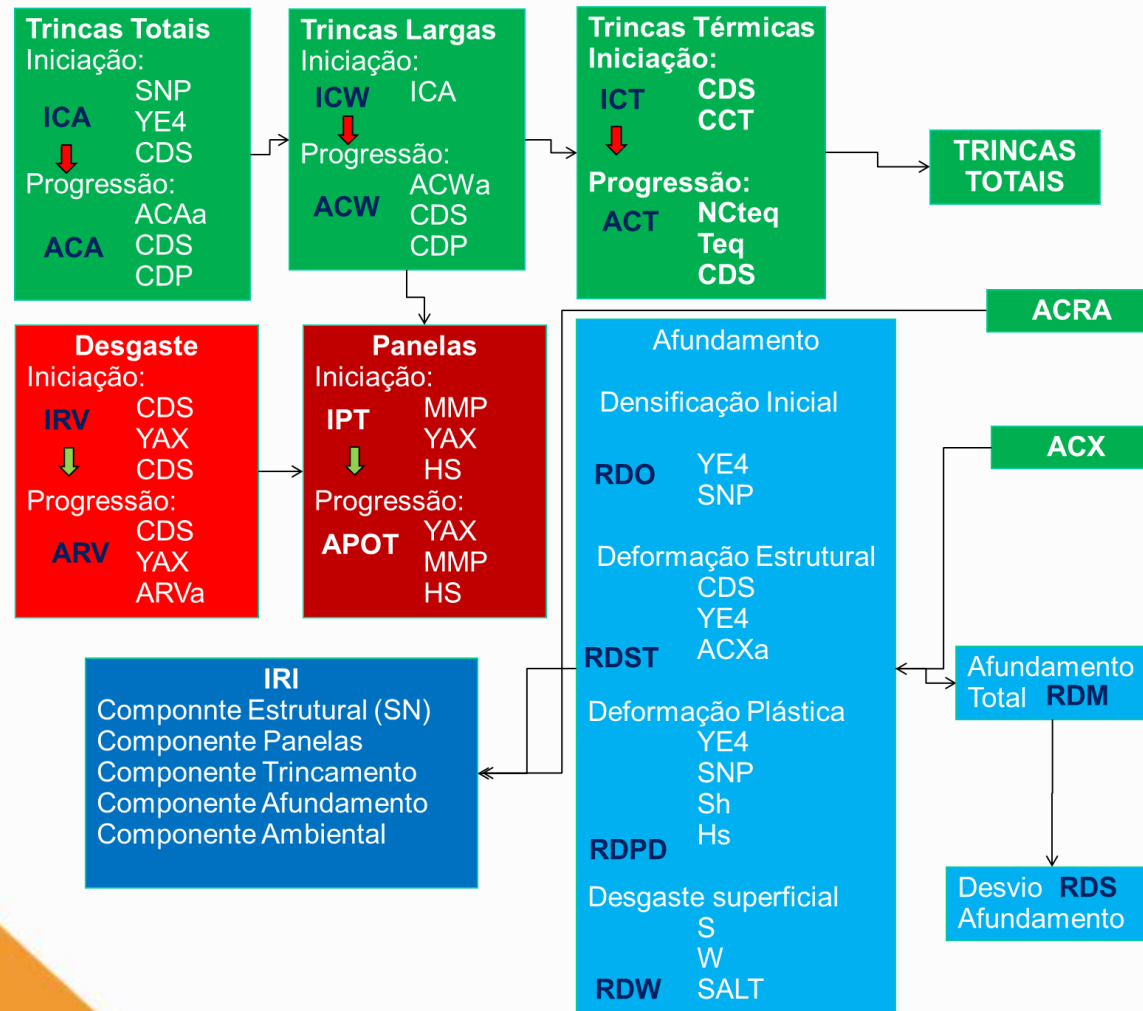
Metodologia

Variáveis Principais dos 30 de Subgrupos Estatísticos

GE	Subgrupo	Espessura Granulares (cm)	Espessura Total Camadas Asfálticas (cm)	Espessura mais Recente (cm)	Espessura Anterior (cm)	Média de SNeF	Média de CBR %	Desvio Padrão de SNPs	Número de Amostras por Ano	Clima	Tipo de Superfície	UAs						
1	1-SN-A-TB	27,00	12,00	5,00	7,00	4,30	33,30	0,15	20,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	2, 19						
1	1-SN-A-TM	38,00	12,00	5,00	7,00	4,40	35,43	0,38	81,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	20, 21, 23, 25, 41, 45, 47						
1	1-SN-A-TA	48,00	27,00	7,00	20,00	5,20	49,04	4,64	20,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	46, 50, 27						
2	2-SN-A-TM	48,00	4,00	1,50	2,50	3,50	41,90	1,10	30,00	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	26, 35, 37						
3	3-SN-A-TB	62,00	10,00	5,00	5,00						Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)							
4	4-SN-A-TB	60,00	20,00	7,00	13,00													
4	4-SN-A-TM	29,00	14,00	7,00	7,00													
5	5-SN-A-TB	54,00	16,00	7,00	9,00													
5	5-SN-A-TM	65,00	17,00	7,00	10,00													
6	6-SN-A-TB	35,00	10,00	5,00	5,00													
7	7-SN-A-TB	20,00	4,00		4,00													
7	7-SN-A-TM	45,00	3,00		3,00													
8	8-SN-A-TB	84,00	5,00	1,50	3,50													
9	9-SN-A-TB	13,00	12,00	5,00	7,00													
9	9-SN-A-TM	45,00	10,00	5,00	5,00													
10	10-SN-A-TB	59,00	19,00	7,00	12,00													
11	11-SN-A-TB	40,00	3,00		3,00													
						GE	Subgrupo	Espessura Granulares (cm)	Espessura Total Camadas Asfálticas (cm)	Espessura mais Recente (cm)	Espessura Anterior (cm)	Média de SNeF	Média de CBR %	Desvio Padrão de SNPs	Número de Amostras por Ano	Clima	Tipo de Superfície	UAs
						14	14-SN-A-TB	61,00	4,00		4,00	4,40	30,16	1,64	10,00	Equatorial	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	15
						15	15-SN-A-TB	21,00	9,00		9,00	2,40	38,88	0,23	10,00	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Base Granular)	5
						15	15-SN-A-TM	61,00	5,00		5,00	5,40	33,24	2,64	10,00	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	4
						16	16-SN-A-TB	50,00	5,00		5,00	3,10	35,79	0,49	10,00	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	11
						17	17-SN-A-TB	50,00	6,00		6,00	4,10	52,68	0,15	10,00	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	14
						18	18-SN-A-TB	44,00	5,00		5,00	3,80	26,68	0,53	10,00	Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	16
						19	19-SN-A-TB	27,00	7,00		7,00	2,80	32,78	0,26	41,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	18, 32, 39, 44
						19	19-SN-A-TM	32,00	8,00		8,00	3,00	32,31	0,21	5,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	28
						20	20-SN-A-TB	41,00	8,00		8,00	3,00	22,63	0,98	20,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	29, 40
						20	20-SN-A-TM	90,00	7,00		7,00	3,70	52,95	5,64	10,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	42
						21	21-SN-A-TM	55,00	20,00	7,00	13,00	4,40	21,71	7,64	10,00	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	7
						22	22-SN-A-TM	45,00	12,00	5,00	7,00	5,00	29,12	8,64	20,00	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	22, 24

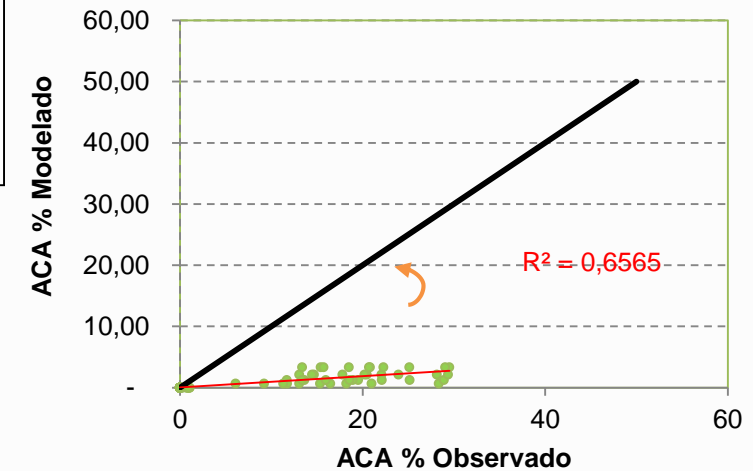
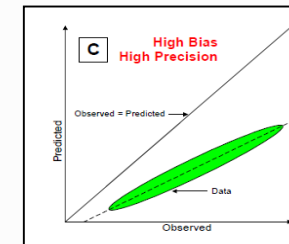
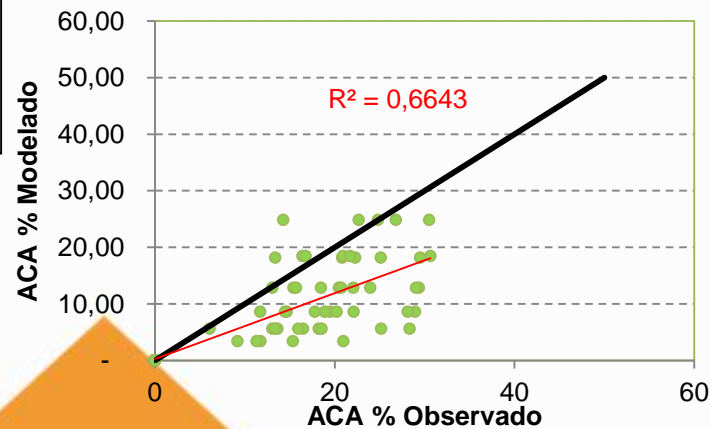
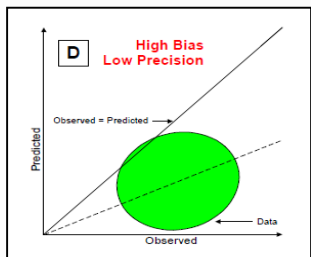
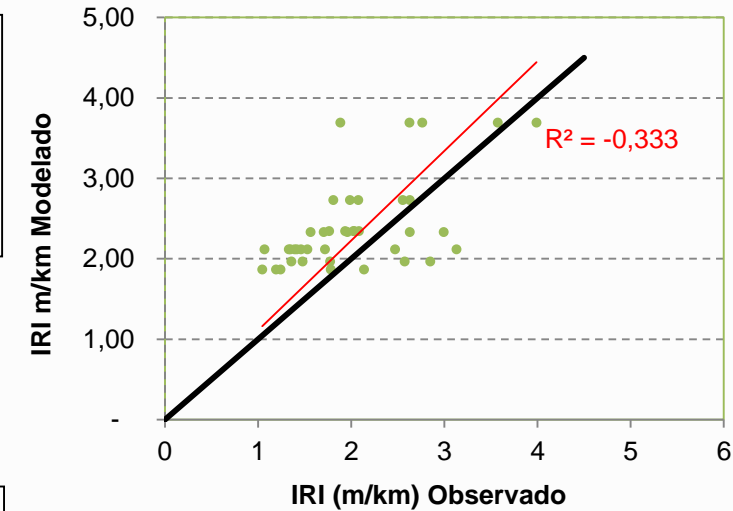
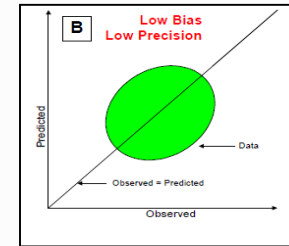
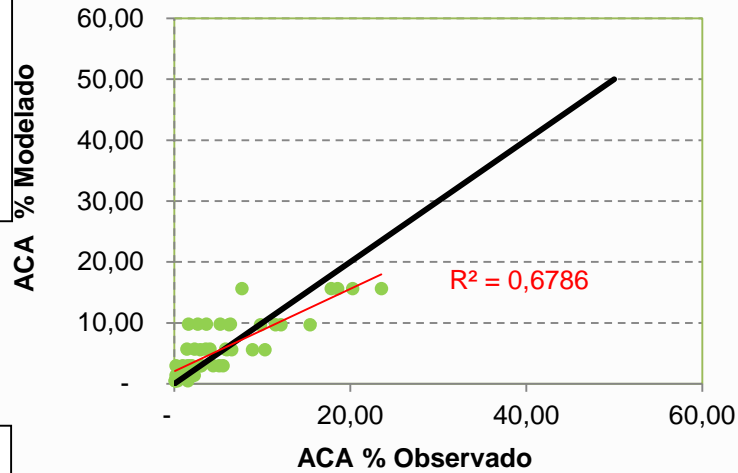
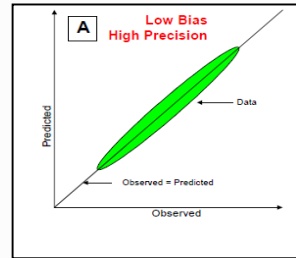
Metodologia

Algoritmo de Calibração



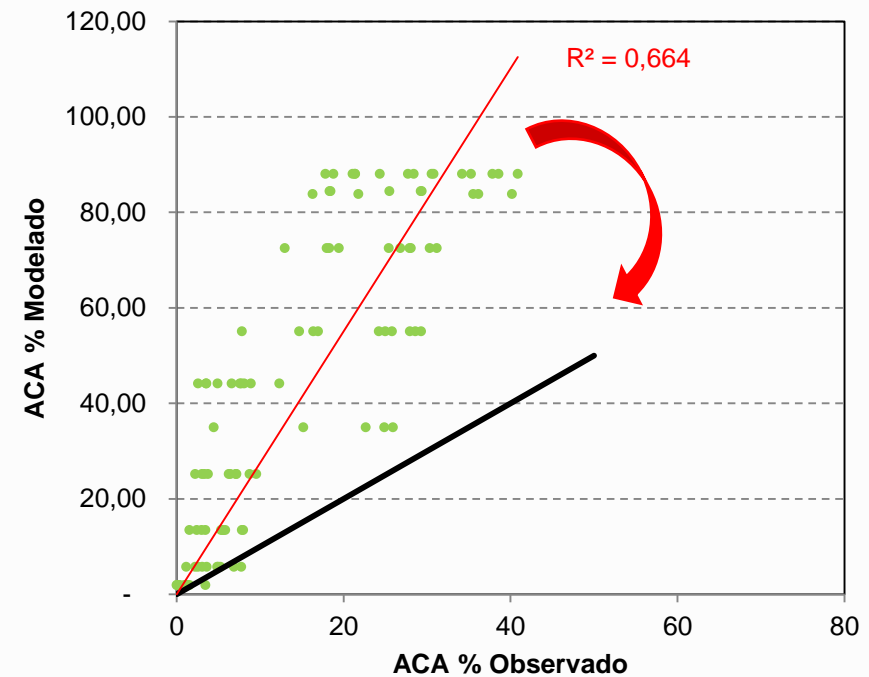
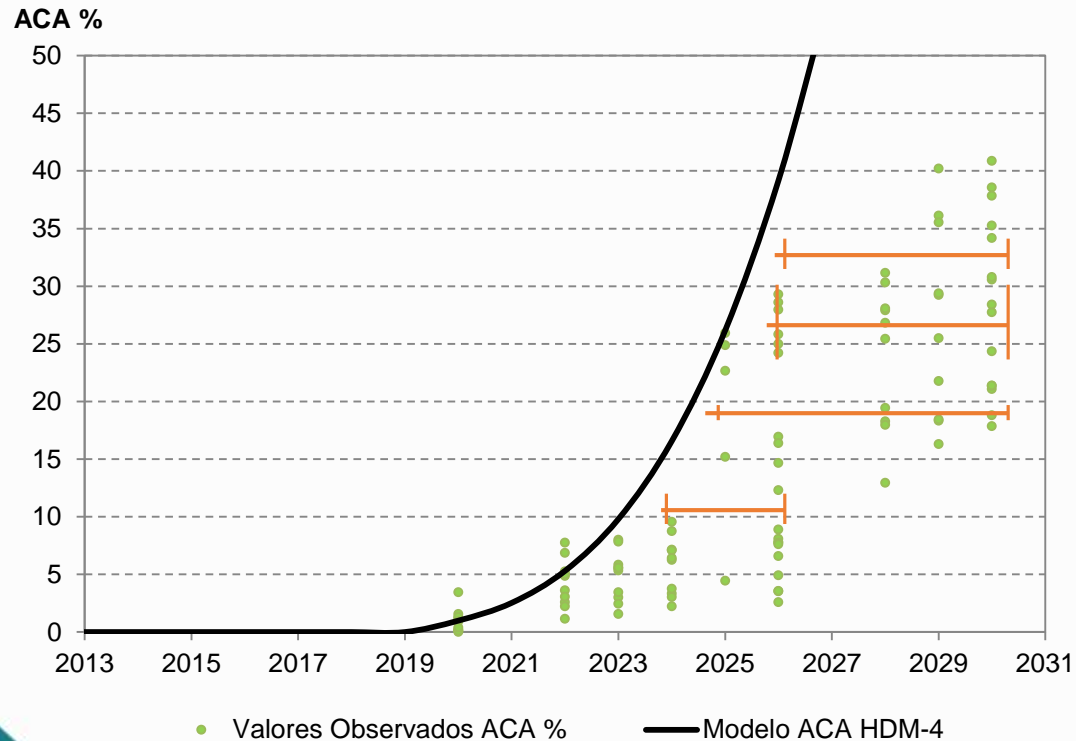
Dispersão de Dados

A-Baixo enviesamento – Alta precisão B-Baixo enviesamento – Baixa precisão
C-Alto enviesamento – Alta precisão D-Alto enviesamento – Baixa precisão



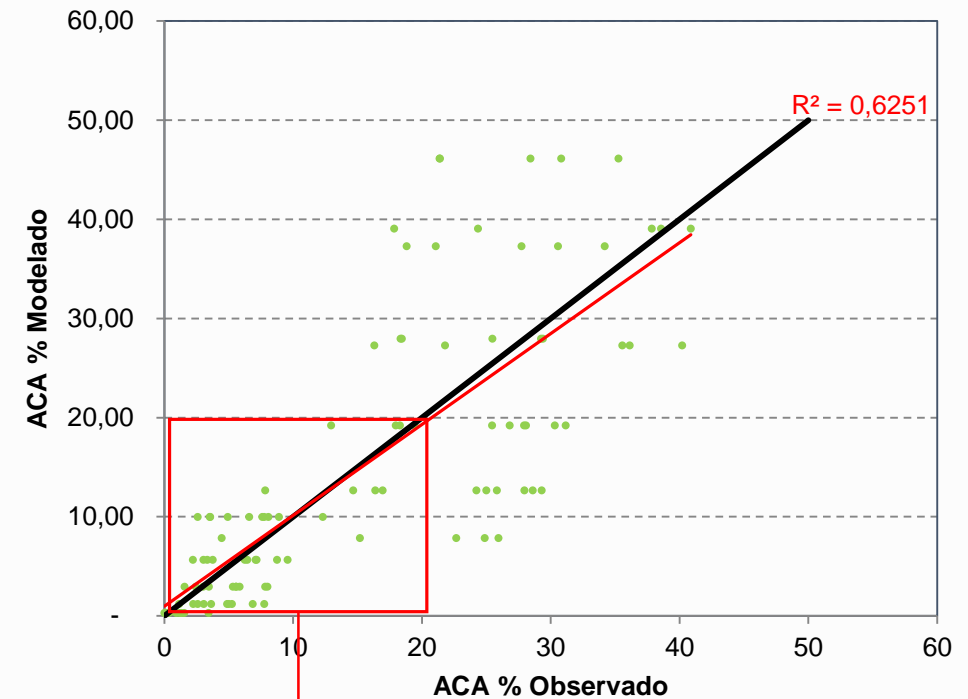
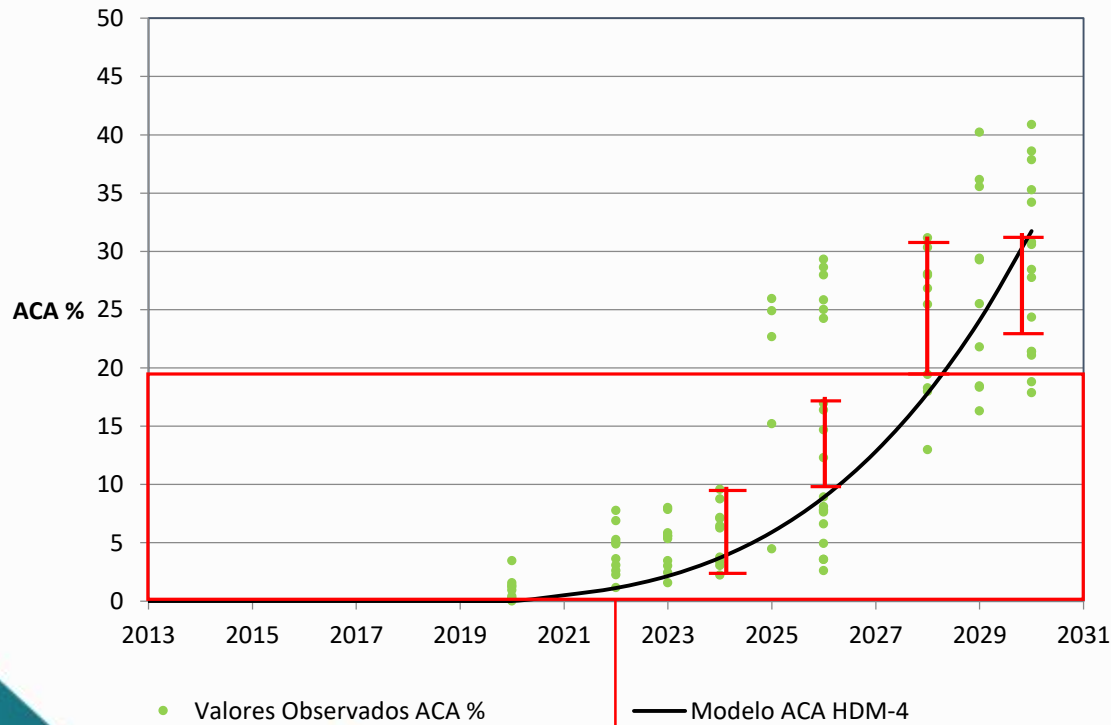
Dispersão de dados - Sem Calibrar

Tropical Nordeste Oriental - Concreto Asfáltico (Recapeamento) – Tráfego Médio



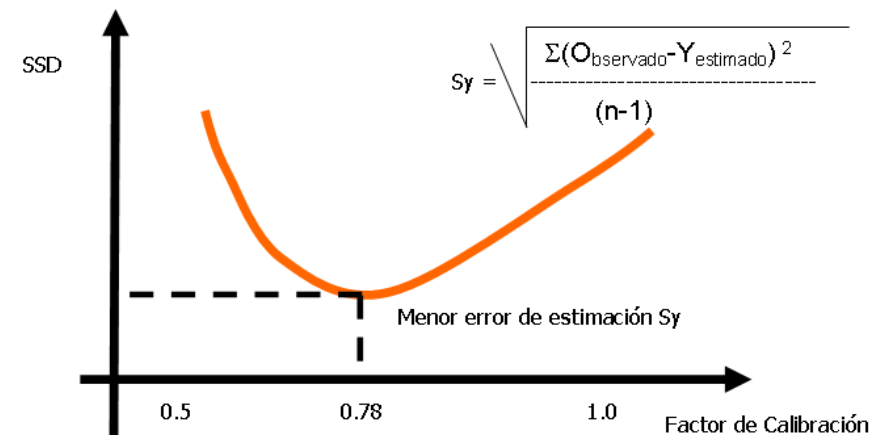
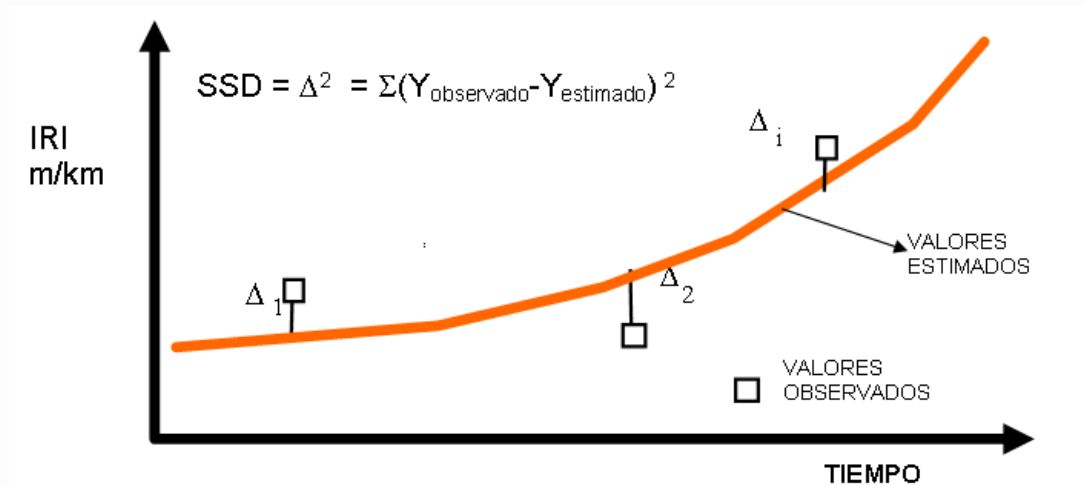
Dispersão de dados – Após Calibração

Tropical Nordeste Oriental - Concreto Asfáltico (Recapeamento) – Tráfego Médio



Área de Gerência

Erro do Modelo Calibrado



O Método dos Mínimos Quadrados é uma técnica de [otimização matemática](#) que procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados (tais diferenças são chamadas resíduos).

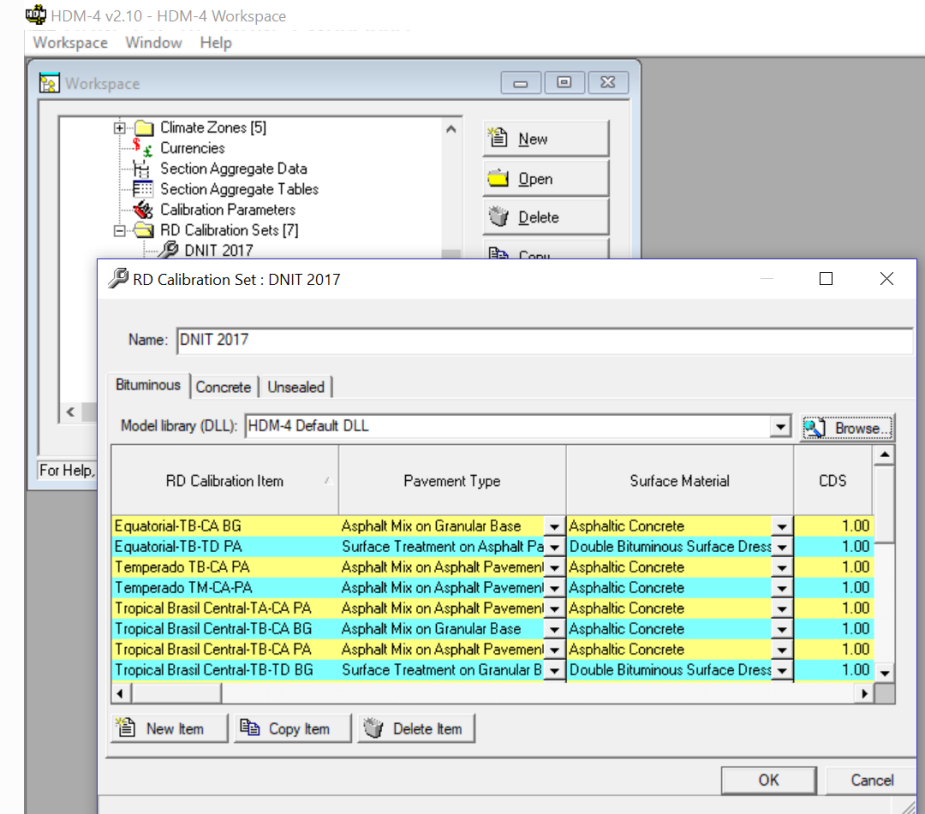
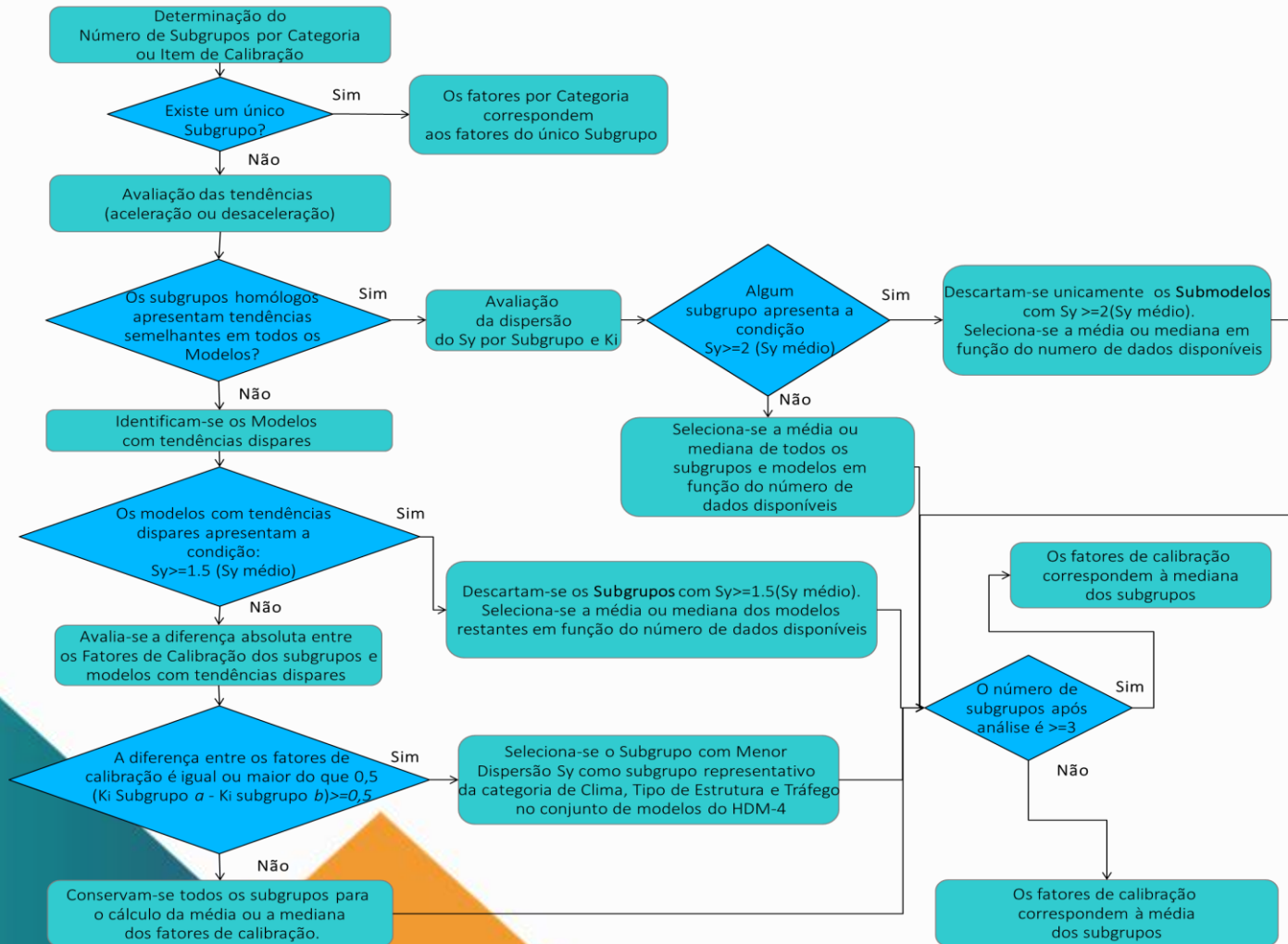
Fatores de Calibração por Subgrupos Estatísticos

30 Subgrupos Estatísticos

Subgrupo	Clima	Pavimento	Tráfego	Kcia	Kcpa	Kciw	Kcpw	Kvi	Kvp	Kpic	Kpir	Kpp	Ktd	Ksfc	Krid	Krst	Krpd	Kspnk	Krds	Kgm	Kgs	Kgc	Kgr	Kgp
19-SN-A-TB	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	0,96	0,93	0,90	1,00	0,10	0,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,95	0,00	1,00	0,40	2,15	2,00	1,00	4,00	1,00
19-SN-A-TM	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TM	0,75	0,95	0,01	1,00	1,00	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,49	0,00	1,00	0,25	1,80	1,00	1,00	3,00	2,00
20-SN-A-TB	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	1,00	0,65	0,90	1,00	0,50	0,20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,65	0,00	1,00	0,37	1,73	1,00	1,00	3,00	1,00
20-SN-A-TM	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TM	0,75	0,95	0,01	1,00	1,00	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,49	0,00	1,00	0,25	1,80	1,00	1,00	3,00	2,00
1-SN-A-TB	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	1,86	0,54	1,50	1,00	1,90	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,37	0,00	1,00	0,35	1,22	2,00	1,00	3,00	1,00
3-SN-A-TB	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	1,00	0,97	0,80	1,00	1,00	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,64	0,00	1,00	0,53	1,29	1,00	1,00	3,00	1,00
6-SN-A-TB	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	0,66	0,95	1,38	1,00	0,96	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,99	0,00	1,00	0,49	2,33	2,03	1,00	1,00	1,00
1-SN-A-TM	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,00	0,61	1,00	0,75	1,60	1,00	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,00	0,56	0,00	1,00	0,42	1,00	3,00	1,00	3,50	1,00
1-SN-A-TA	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TA	1,22	0,80	2,00	1,00	0,25	0,30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,38	0,00	1,00	0,40	1,00	1,30	1,30	1,30	1,00
22-SN-A-TM	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,00	1,38	0,90	1,00	0,45	0,35	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,86	0,19	1,00	0,21	1,00	0,40	5,00	3,00	1,00
7-SN-A-TB	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Base Granular)	TB	0,95	0,65	1,19	0,90	0,25	0,30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,49	0,00	1,00	0,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7-SN-A-TM	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Base Granular)	TM	1,00	0,60	1,00	1,00	0,25	0,30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,49	0,00	1,00	0,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8-SN-A-TB	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	TB	0,99	0,50	1,03	1,00	0,25	0,30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,34	0,00	1,00	0,40	0,90	0,92	0,92	0,92	2,00
2-SN-A-TM	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	TM	1,10	0,60	1,00	1,00	0,25	0,30	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	0,49	0,00	1,00	0,38	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
15-SN-A-TB	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	0,97	0,91	1,15	0,80	1,38	0,80	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,70	0,67	0,00	1,00	0,40	0,89	0,28	0,28	0,28	1,00
5-SN-A-TB	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	0,97	0,91	1,15	0,80	1,38	0,80	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,70	0,67	0,00	1,00	0,40	0,89	0,28	0,28	0,28	1,00
5-SN-A-TM	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,16	0,62	1,15	0,40	1,95	0,50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,35	0,00	1,00	0,42	1,00	0,50	0,50	0,20	1,00
15-SN-A-TM	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,00	1,10	1,30	1,00	1,20	0,90	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,40	0,00	1,00	0,40	1,00	0,10	0,10	0,20	1,00
21-SN-A-TM	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,65	0,00	1,00	0,39	0,68	0,25	0,50	0,50	1,00
16-SN-A-TB	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	0,80	1,00	1,00	0,40	0,20	0,64	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	1,00	0,00	1,00	0,32	3,15	1,00	1,00	4,00	1,00
17-SN-A-TB	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	0,80	1,00	0,90	0,65	0,30	0,40	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	1,00	0,00	1,00	0,32	1,75	1,00	1,00	1,00	1,00
4-SN-A-TB	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	1,00	1,00	1,53	1,00	1,10	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,63	0,00	1,00	0,51	4,32	1,00	1,00	1,94	1,00	
10-SN-A-TB	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	0,67	1,35	1,00	1,00	1,10	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,62	0,00	1,00	0,42	0,83	1,00	0,40	0,40	1,00	
4-SN-A-TM	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,00	1,40	1,00	1,00	0,85	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,10	0,00	1,00	0,35	0,95	2,00	2,00	2,00	1,00	
11-SN-A-TB	Tropical Zona Equatorial	Tratamento Duplo (Base Granular)	TB	0,82	1,00	1,17	0,83	0,90	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,63	0,00	1,00	0,52	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	
18-SN-A-TB	Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	2,10	0,00	1,00	0,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
14-SN-A-TB	Equatorial	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	TB	1,40	1,20	0,90	1,00	0,80	1,10	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10	1,00	1,00	1,00	0,38	1,25	1,25	1,25	2,00	1,00
9-SN-A-TB	Temperado	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	0,38	0,79	1,00	0,69	1,00	0,60	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,60	0,00	1,00	0,37	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	
9-SN-A-TM	Temperado	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	0,90	1,50	1,00	1,40	1,00	0,80	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	0,40	0,00	1,00	0,42	1,00	1,00	1,00	1,40	1,00	

Metodologia

Fatores Globais



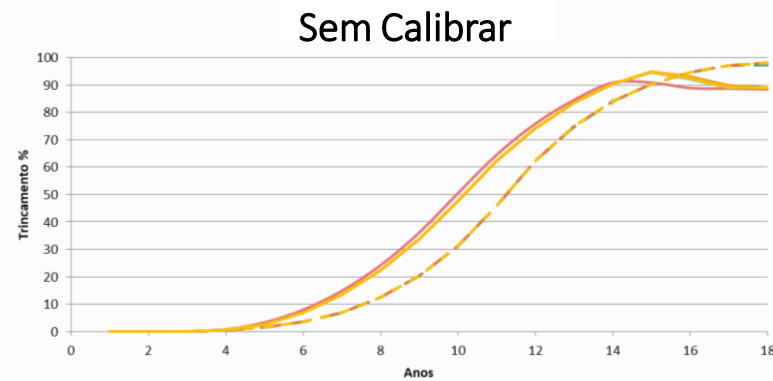
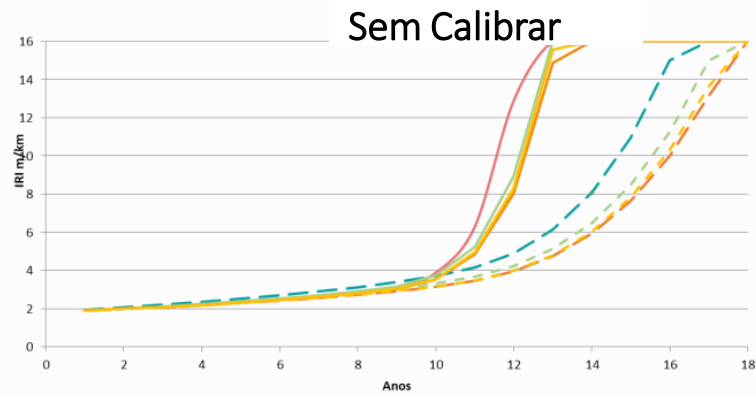
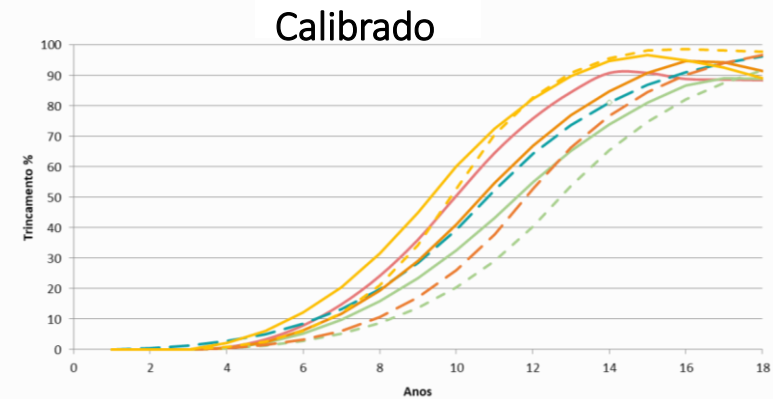
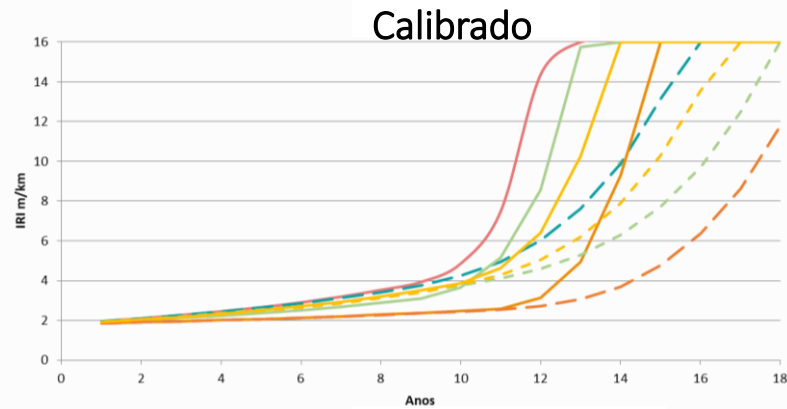
Metodologia

Fatores Globais

#	Clima	Pavimento	Tráfego	Kcia	Kcpa	Kciw	Kcpw	Kvi	Kvp	Kpic	Kpir	Kpp	Ktd	Ksfc	Krid	Krst	Krpd	Kspnk	Krds	Kgm	Kgs	Kgc	Kgr	Kgp
1	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	0,98	0,79	0,90	1,00	0,30	0,18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,80	0,00	1,00	0,39	1,00	1,20	1,20	1,20	1,00
2	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TM	0,88	0,60	1,00	0,60	0,30	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,49	0,00	1,00	0,25	1,80	1,00	1,00	1,00	2,00
3	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	1,00	0,80	1,38	0,80	0,25	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,64	0,00	1,00	0,49	1,29	1,50	1,50	1,50	1,00
4	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,00	0,70	1,00	0,85	1,60	0,20	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,56	0,00	1,00	0,42	0,90	1,50	1,50	1,50	1,00
5	Tropical Brasil Central	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TA	1,22	0,80	2,00	1,00	0,25	0,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,38	0,00	1,00	0,40	1,00	1,30	1,30	1,30	1,00
6	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Base Granular)	TB	0,95	0,65	1,19	0,90	0,25	0,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,49	0,00	1,00	0,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
7	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Base Granular)	TM	1,00	0,60	1,00	1,00	0,25	0,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,49	0,00	1,00	0,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
8	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	TB	0,99	0,50	1,03	1,00	0,25	0,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,34	0,00	1,00	0,40	0,90	0,92	0,92	0,92	2,00
9	Tropical Brasil Central	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	TM	1,10	0,60	1,00	1,00	0,25	0,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	0,49	0,00	1,00	0,38	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
10	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	0,97	0,91	1,15	0,80	1,38	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,67	0,00	1,00	0,40	0,89	0,28	0,28	0,28	1,00
11	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	0,97	0,91	1,15	0,80	1,38	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,67	0,00	1,00	0,40	0,89	0,28	0,28	0,28	1,00
12	Tropical Nordeste Oriental	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	1,15	0,00	1,00	0,57	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
13	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	0,80	1,00	0,90	0,65	0,30	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	0,00	1,00	0,32	1,75	1,00	1,00	1,00	1,00
14	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	0,84	1,18	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,00	1,00	0,47	1,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	Tropical Zona Equatorial	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	1,00	1,40	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	1,10	0,00	1,00	0,35	0,95	2,00	2,00	2,00	1,00
16	Tropical Zona Equatorial	Tratamento Duplo (Base Granular)	TB	0,82	1,00	1,17	0,83	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,00	1,00	0,52	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00
17	Equatorial	Concreto Asfáltico (Base Granular)	TB	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	2,10	0,00	1,00	0,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00
18	Equatorial	Tratamento Duplo (Pavimento Asfáltico)	TB	1,40	1,20	0,90	1,00	0,80	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,10	1,00	1,00	1,00	0,38	1,25	1,25	1,25	2,00	1,00
19	Temperado	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TB	0,38	0,79	1,00	0,69	1,00	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,00	1,00	0,37	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00
20	Temperado	Concreto Asfáltico (Pavimento Asfáltico)	TM	0,90	1,50	1,00	1,40	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,00	1,00	0,42	1,00	1,00	1,00	1,40	1,00

Resultados

Modelos de IRI e ACA - Regiões Climáticas - Tráfego Baixo - CBUQ



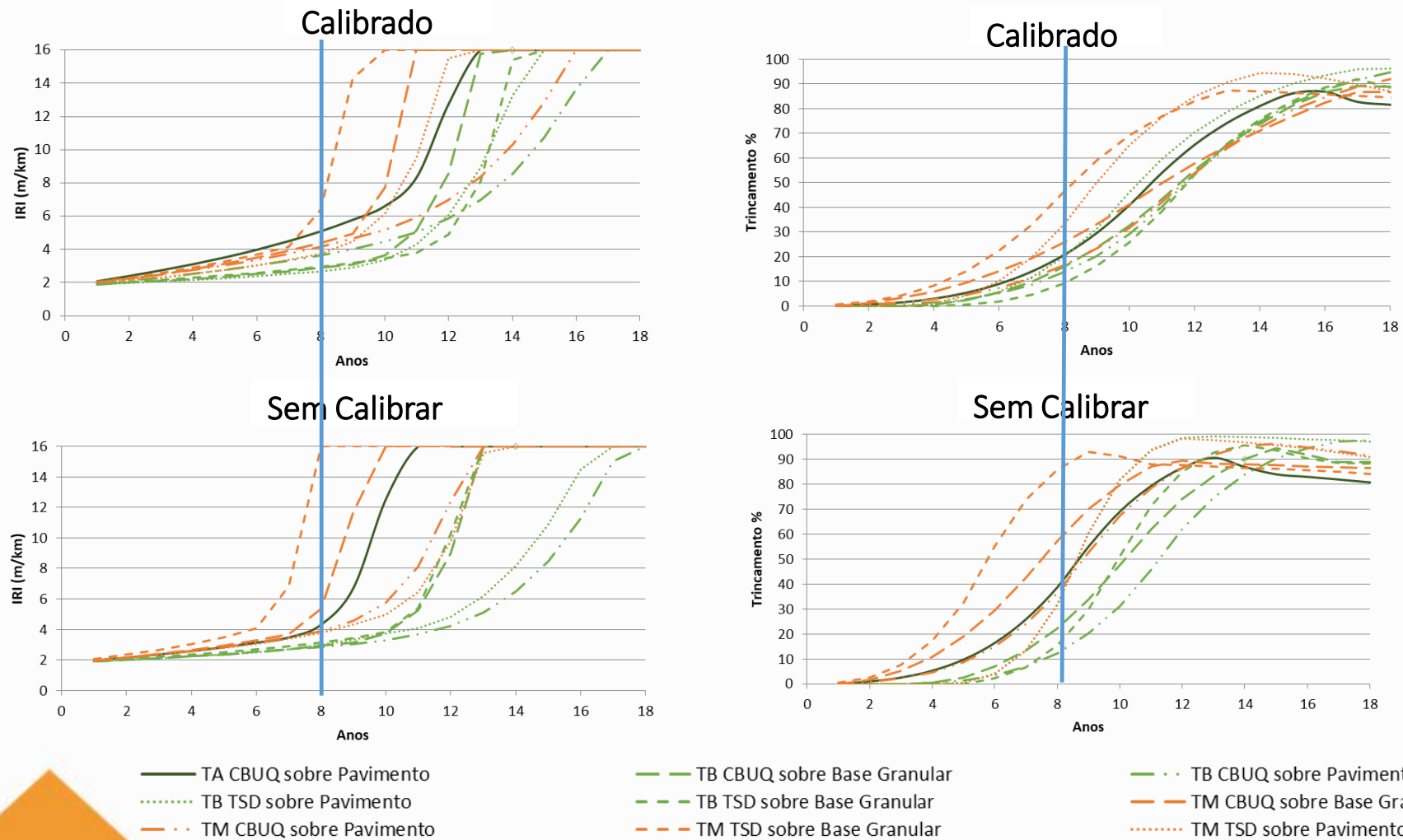
- Equatorial TB CBUQ sobre Base Granular
- Tropical Nordeste Oriental TB CBUQ sobre Base Granular
- Tropical Zona Equatorial TB CBUQ sobre Pavimento

- Temperado TB CBUQ sobre Pavimento
- Tropical Brasil Central TB CBUQ sobre Pavimento
- Tropical Zona Equatorial TB-CBUQ sobre Base Granular

- Tropical Brasil Central TB CBUQ sobre Base Granular
- Tropical Nordeste Oriental TB CBUQ sobre Pavimento

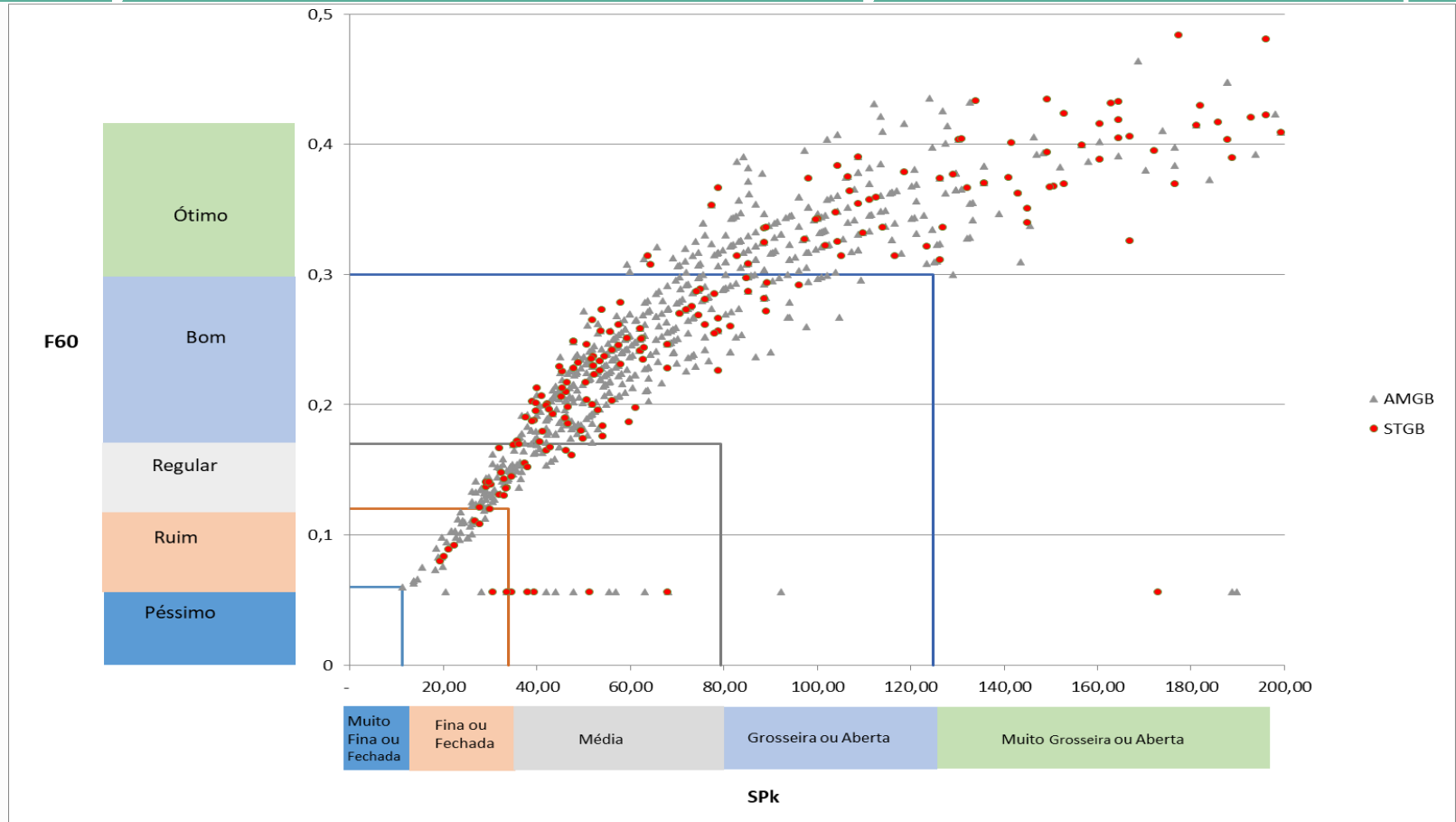
Resultados

Modelos de IRI e ACA - Diferentes Níveis de Tráfego no Clima Tropical Brasil Central



Resultados de Micro e Macrotextura

Distribuição de Variáveis IFI-índice de Fricção Internacional – Pesquisa PIARC



Equipamento	Código PIARC	Constantes de Equipamentos		Se
		a _k , A _L	b _k , B _L	
Mancha de Areia	A8	-11.59810	113.63246	-
Pêndulo Britânico	A14	0,05626	0,00756	10
SCRIM	D8	0,033	0,872	17,1

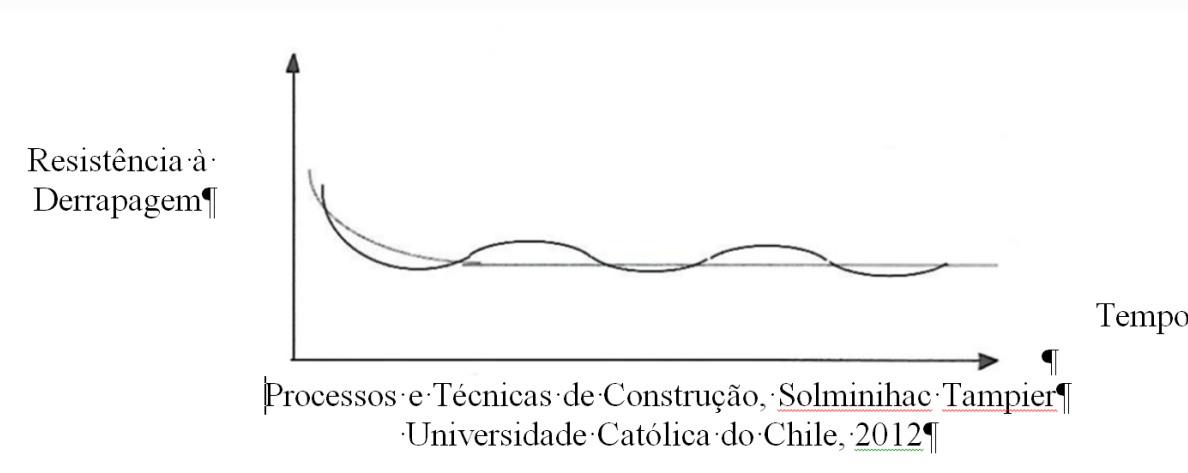
$$Sp_k = a_k + b_k T_x$$

$$F60_L = A_L + B_L FRS_L e^{[(Se-60)/Spk]}$$

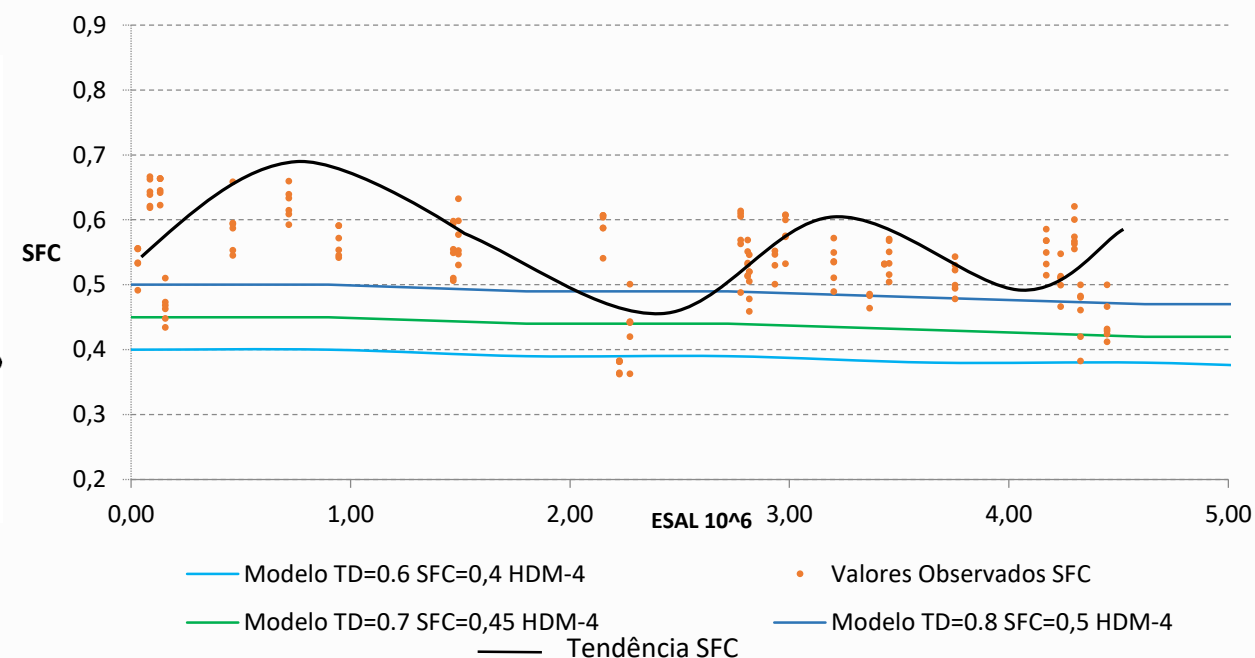
Resultados de Micro e Macrotextura

Distribuição de Microtextura SFC em função do Tráfego- Tempo

Estudos Referenciais



Dados Observados e Modelo HDM-4



Coeficiente de Fricção da Superfície (SFC) do equipamento SCRIM
(Sideway Coefficient Routing Inventory Machine)

Comportamento da Deterioração dos Pavimentos do Estudo Após Calibração

Concreto Asfáltico



Iniciação do Trincamento (< e =) f(T)
 Progressão do Trincamento (>>)
 IRI (<<)
 Afundamento (>>)

Iniciação do Trincamento (>>)
 Progressão do Trincamento (>> e =) f(T)
 IRI (>>)
 Afundamento (<)

Iniciação do Trincamento (<< e =) f(T)
 Progressão do Trincamento (<< e =) f(T)
 IRI (<< e =) f(T)
 Afundamento (<<)

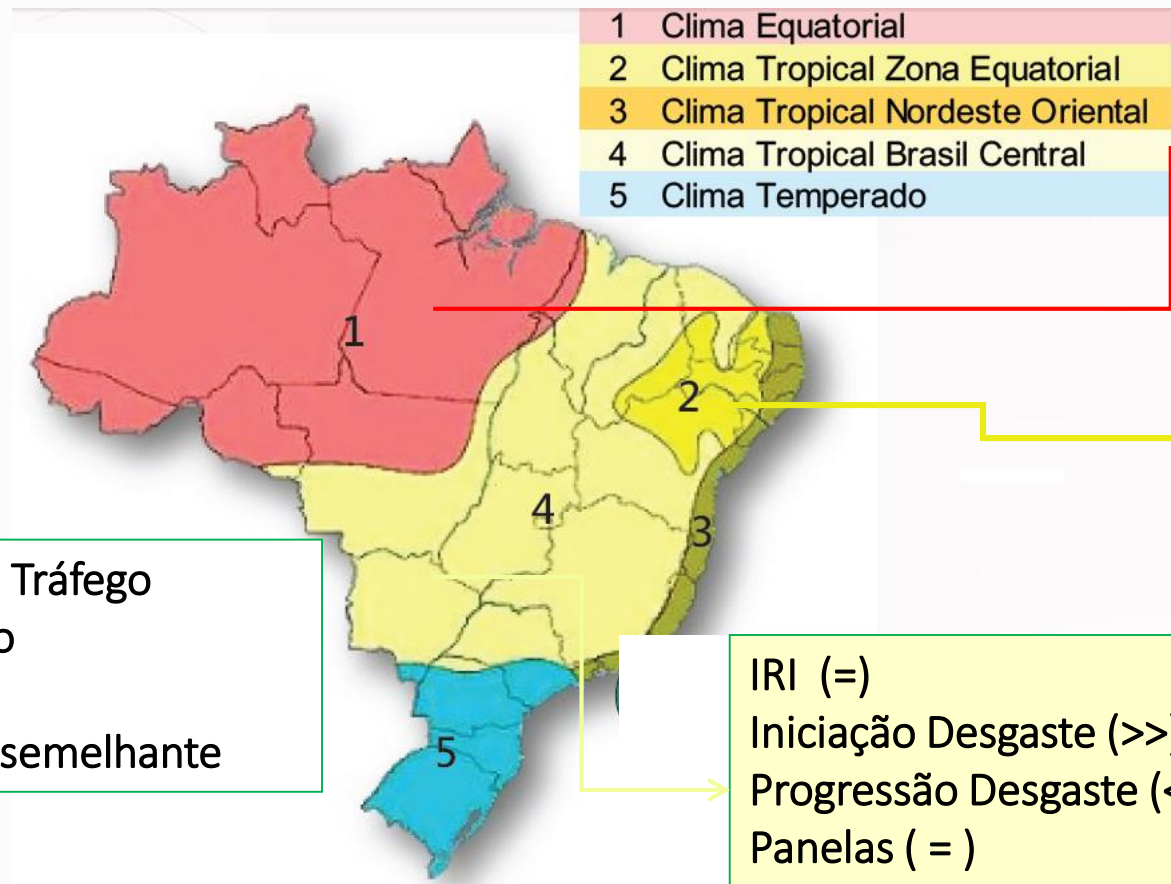
Iniciação do Trincamento (>> e =)
 Progressão do Trincamento (<<)
 IRI ((<<, =, >>) f(T)
 Afundamento (<<)

Iniciação e do Trincamento (>>)
 Progressão do Trincamento (<< e >>) f(T)
 IRI (>>)
 Afundamento (<<)

f(T) : Em função do Tráfego
 (<<): Desaceleração
 (>>): Aceleração
 (=): Igual ou muito semelhante

Comportamento da Deterioração dos Pavimentos do Estudo Após Calibração

Tratamento Superficial Duplo



IRI (=)
Iniciação Desgaste (>>)
Progressão Desgaste (>>)
Panelas (=)
Afundamento (<<)

IRI (<<)
Iniciação Desgaste (>>)
Progressão Desgaste (=)
Panelas (=)
Afundamento (<<)

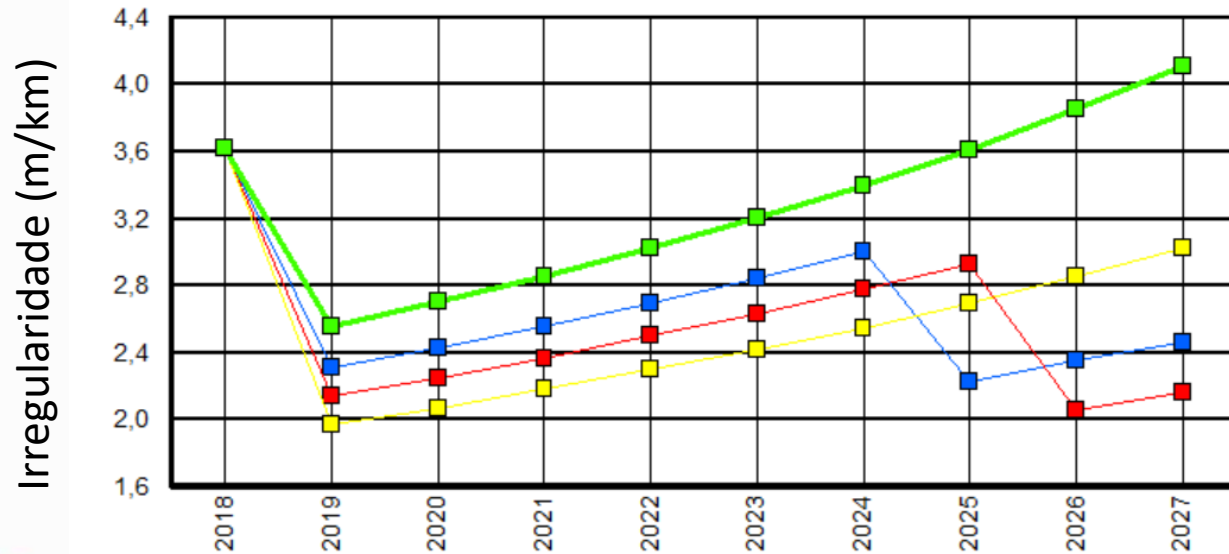
IRI (=)
Iniciação Desgaste (>>)
Progressão Desgaste (<<)
Panelas (=)
Afundamento (<<)

f(T) : Em função do Tráfego
(<<): Desaceleração
(>>): Aceleração
(=): Igual ou muito semelhante

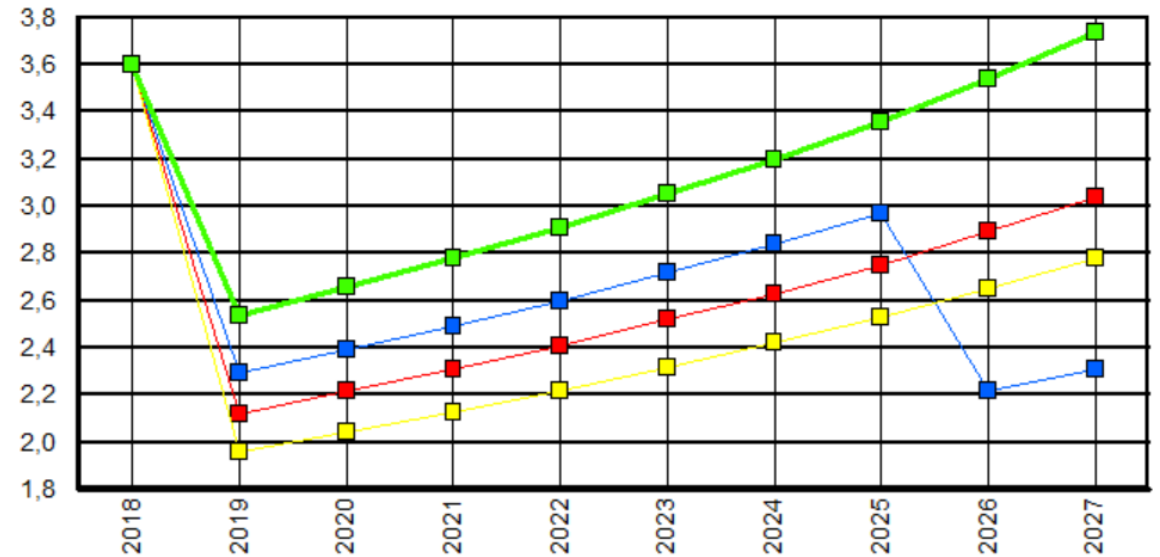
Efeitos dos Serviços (RDWE)

Comparação da Evolução do IRI para diferentes Intervenções
Modelo - CBUQ sob Pavimento - Tráfego Baixo

Modelo Calibrado



Modelo Sem Calibrar



- TB-H4
- TB-H5
- TB-H6
- TB-Micro

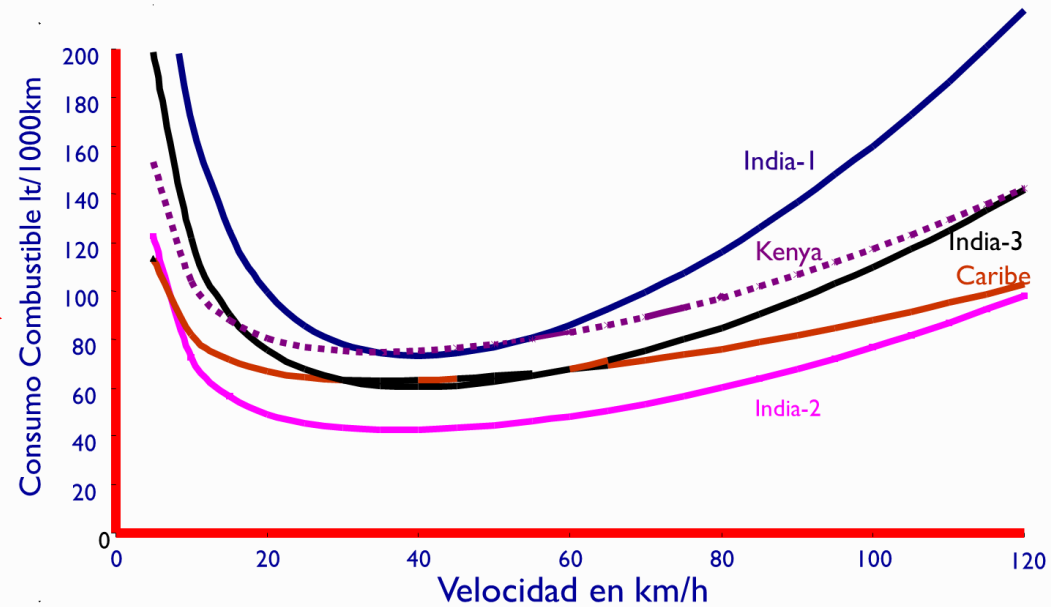
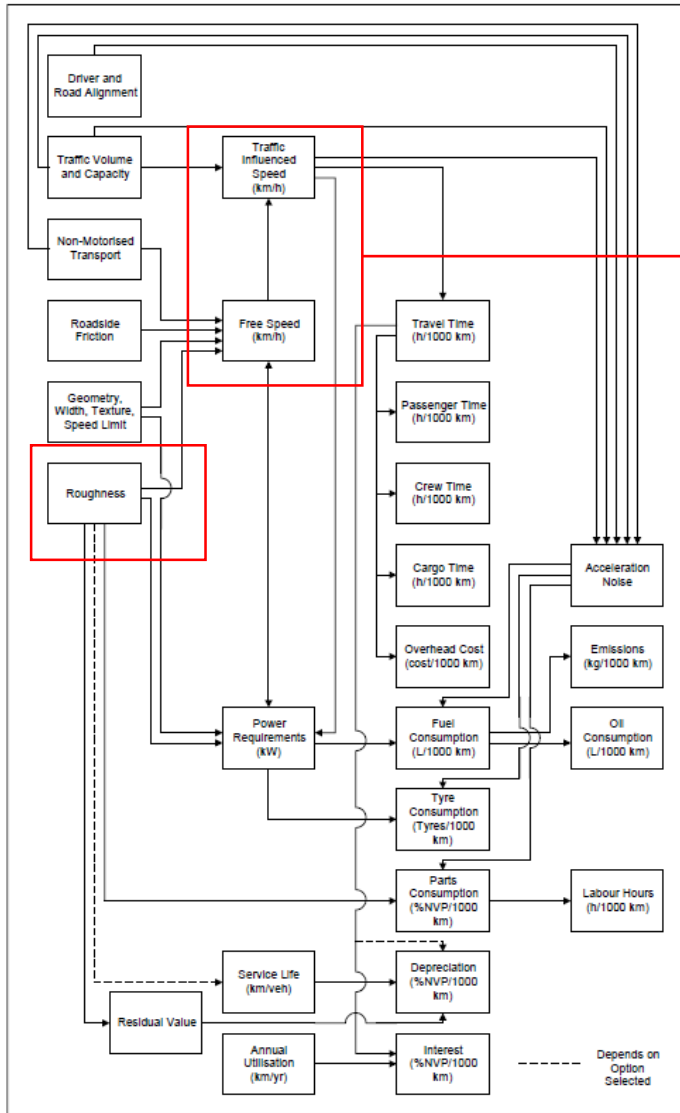
Year

Tipo de Intervenção	Gatilho
Microrrevestimento Asfáltico	Trincamento >=10% Ou Desgaste>=10%
H4, H5, H6, H7, H8	Trincamento Total >=10% Ou Desgaste>=15% Ou Irregularidade >=3m/km

Year

Efeitos dos Usuários da Rodovia

Relação Irregularidade - Velocidade



Um pavimento que se deteriora rapidamente gera uma redução na velocidade de operação, mas o efeito no consumo de combustível e nos custos dos usuários dependerá da velocidade de eficiência, que atua como uma fronteira que define o incremento ou decremento da combustão.

Efeitos dos Usuários da Rodovia

Comparação dos Custos dos Usuários -RUC

Clima	Tipo de Pavimento	Tráfego	CUSTO DOS USUÁRIOS DA RODOVIA RUC EM MILHÕES DE REAIS						% de Redução do Custo dos Modelos por Default
			Calibrado			Default			
			Operação Veicular	Tempo de Viagem	Total RUC	Operação Veicular	Tempo de Viagem	Total RUC	
Tropical Brasil Central	TA CBUQ sobre Pavimento	TA	34,97	13,22	48,19	36,9	15,22	52,12	7,5%
	TB CBUQ sobre Base Granular	TB	7,75	2,21	9,96	7,75	2,22	9,97	0,1%
	TB CBUQ sobre Pavimento	TB	7,8	2,28	10,08	7,74	2,21	9,95	-1,3%
	TB TSD sobre Base Granular	TB	7,75	2,22	9,97	7,8	2,28	10,08	1,1%
	TB TSD sobre Pavimento	TB	7,7	2,18	9,88	7,77	2,23	10	1,2%
	TM CBUQ sobre Base Granular	TM	19,27	4,6	23,87	20,14	5,19	25,33	5,8%
	TM CBUQ sobre Pavimento	TM	18,89	4,35	23,24	19,24	4,6	23,84	2,5%
	TM TSD sobre Base Granular	TM	20,99	5,76	26,75	21,18	5,9	27,08	1,2%
	TM TSD sobre Pavimento	TM	18,67	4,21	22,88	18,86	4,34	23,2	1,4%
Tropical Nordeste Oriental	TB CBUQ sobre Base Granular	TB	7,6	2,14	9,74	7,72	2,2	9,92	1,8%
	TB CBUQ sobre Pavimento	TB	7,6	2,14	9,74	7,72	2,19	9,91	1,7%
	TM CBUQ sobre Pavimento	TM	18,61	4,19	22,8	18,85	4,34	23,19	1,7%
Equatorial	TB CBUQ sobre Base Granular	TB	7,92	2,41	10,33	7,74	2,22	9,96	-3,7%
	TB TSD sobre Pavimento	TB	7,87	2,35	10,22	7,78	2,25	10,03	-1,9%
Tropical Zona Equatorial	TB CBUQ sobre Base Granular	TB	7,78	2,25	10,03	7,72	2,2	9,92	-1,1%
	TB CBUQ sobre Pavimento	TB	7,79	2,25	10,04	7,72	2,19	9,91	-1,3%
	TB TSD sobre Base Granular	TB	7,97	2,47	10,44	7,77	2,24	10,01	-4,3%
	TM CBUQ sobre Pavimento	TM	18,92	4,38	23,3	19,03	4,43	23,46	0,7%
Temperado	TB CBUQ sobre Pavimento	TB	7,84	2,33	10,17	7,8	2,28	10,08	-0,9%
	TM CBUQ sobre Base Granular	TM	20,48	5,41	25,89	20,53	5,44	25,97	0,3%

Conclusões

- Os modelos de deterioração de pavimentos do software HDM-4 são aplicáveis e adequados para a realização de avaliações técnicas e econômicas para as rodovias federais do Brasil. A Calibração realizada gerou diferenças relevantes na evolução dos pavimentos segundo as características das 5 regiões climáticas do Brasil.
- No que diz respeito ao comparativo da deterioração da rodovia e efeitos dos serviços (RDWE), quando comparados os modelos calibrados e por default, são evidentes as mudanças na eficiência de intervenções tipo reforços, programadas em função de gatilhos correspondentes a dois níveis de serventia chaves na gestão do órgão (IRI e trincamento total), não obstante, os prazos de intervenção se antecipam ou postergam em períodos entre 1 e 2 anos em função do clima e do tráfego, assim, espera-se uma otimização no planejamento e não um incremento ou decremento abrupto nos investimentos anuais.
- Foi corroborado que os modelos de deterioração do pavimento impactam moderadamente a velocidade de operação, sendo um impacto incomparável com outros modelos como tráfego e capacidade, ou ainda, com características físicas da rodovia (geometria, tipologia). Assim, os Custos dos Usuários são o resultado do conjunto de modelos e variáveis que representem adequadamente a rede rodoviária.

Recomendações

- Os resultados do processo de calibração devem ser interpretados como um ajuste aos modelos teóricos do HDM-4 que, como todo modelo, procura representar numericamente o desempenho do pavimento ao longo do tempo. Portanto, os modelos não representam leis de fadiga, curvas de dimensionamento, ou metodologias para projeto de pavimentos.
- Salienta-se o esforço do órgão por aprimorar as ferramentas de gerência através de um projeto de tal nível, sendo recomendável procurar políticas ou alternativas de gestão que permitam dar continuidade ao escopo principal do projeto. Envolver mais atores ou agências rodoviárias para desenvolver projetos semelhantes, aumenta o conhecimento do comportamento dos pavimentos mediante maiores amostragens em diferentes regiões do Brasil.
- Por último, salienta-se que toda Calibração é precedida pela Configuração e Parametrização do Sistema, portanto, as modelagens técnicas e econômicas são o resultado da interação do conjunto de variáveis que o software solicita, e não da análise isolada dos modelos.