

PTR 3522 Gestão de Pavimentos

Priorização em Gerência de Pavimentos envolvendo parâmetros funcionais e de custos

André Felipe Vale

andre.vale@rrunner.com.br

Caio Raul

caio.raul@rrunner.com.br

Felipe Camargo

felipe.camargo@rrunner.com.br



Agenda



- RoadRunner



- Contexto e Conceitos Gerais



- Ferramentas de Gerência



- Calibração de Modelos



ROADRUNNER

ENGENHARIA RODOVIÁRIA



Equipe Técnica



- Engenheiros
- Administradores
- Auxiliares Técnicos e Adm
- Estagiários
- Colaboradores no Campo
- Técnicos de Manutenção



Equipamentos

3



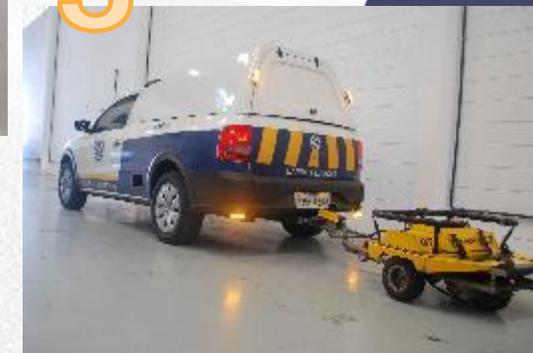
8



6



3



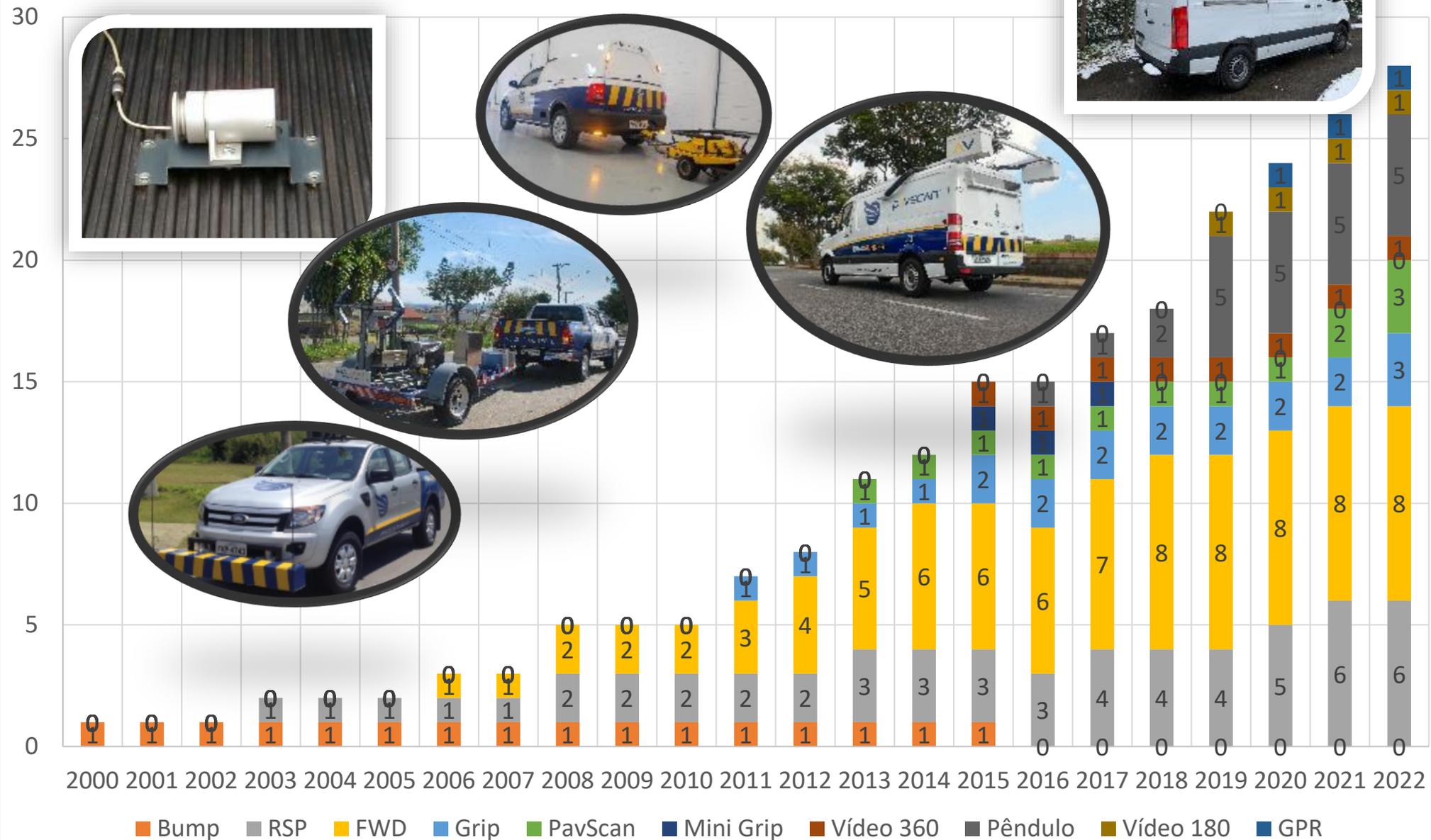
1



Pêndulo e Mancha (7), Vídeo Registro 360º e Frontal (3), MiniGrip, Bump...

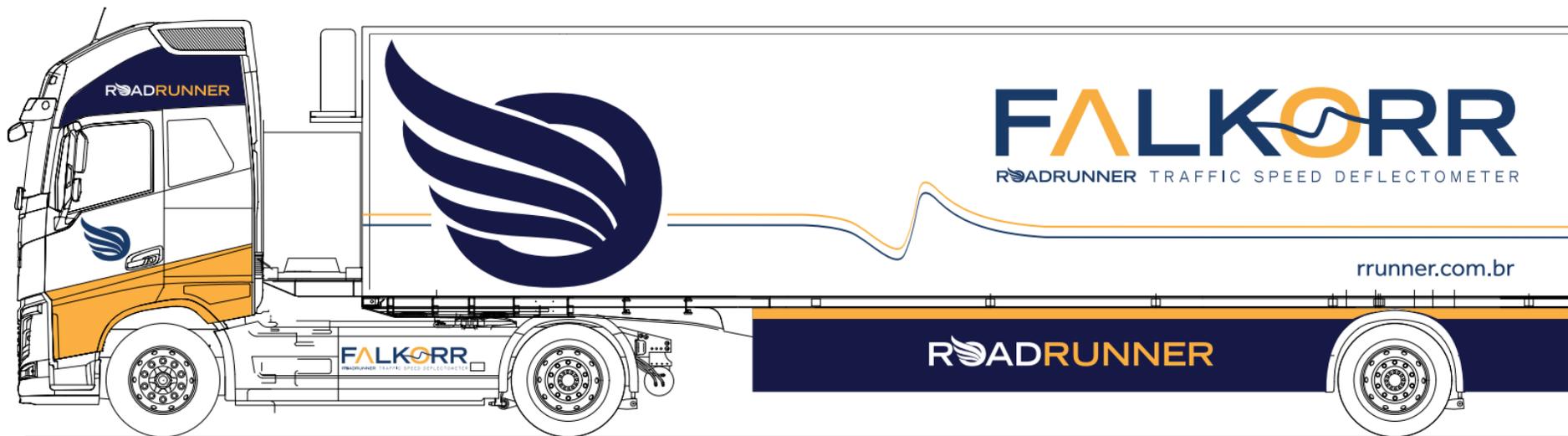


Equipamentos e Avaliações



Traffic Speed Deflectometer RoadRunner (TSD)

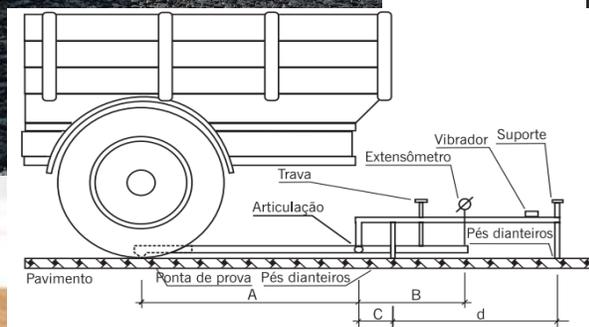
<https://youtu.be/s7ljwbTTBk>



Medidas de deflexão até hoje!



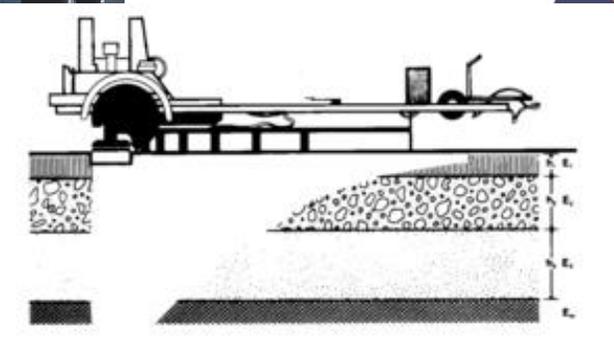
Viga Benkelman



Esquema da viga Benkelman (DNER ME 24/94)



Falling Weight Deflectometer



Ensaio estático

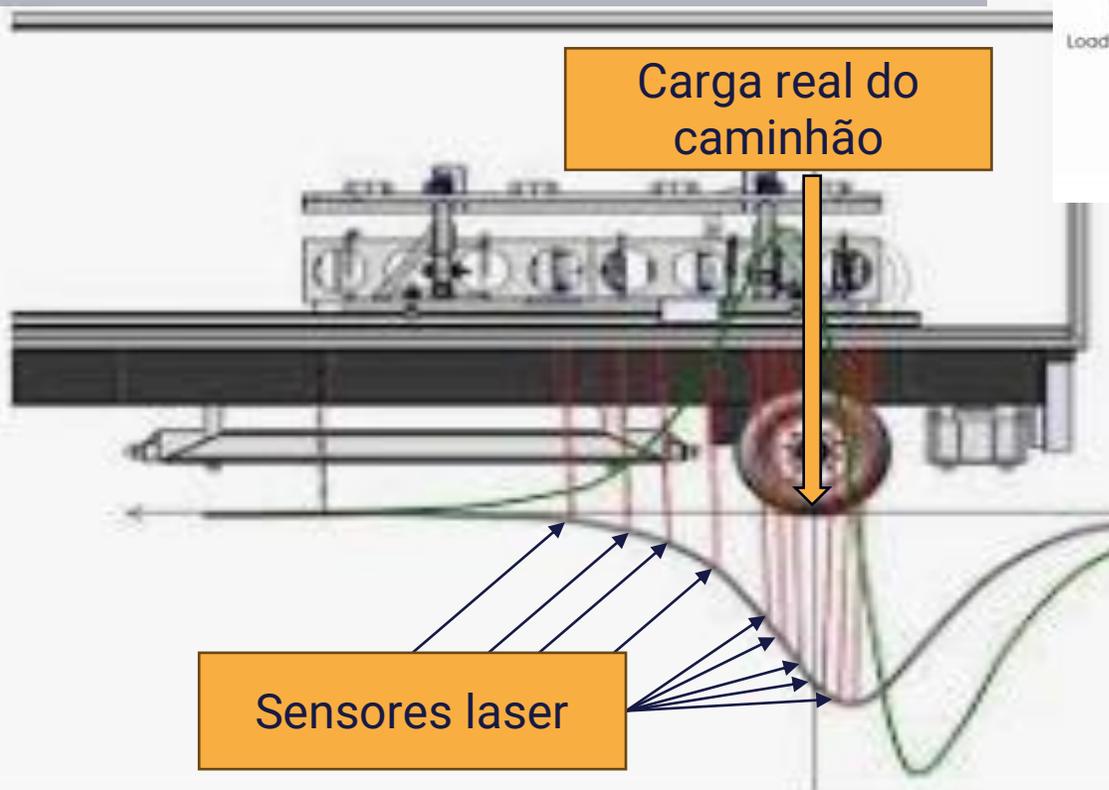


Queda de carga simulando efeito dinâmico do tráfego



Traffic Speed Deflectometer RoadRunner (TSD)

RoadRunner vem estudando esta solução deste 2010, com intensas negociações em 2017, 2019 e 2021, até a aquisição da tecnologia em 2023!



Emprego de laser doppler para verificar o comportamento estrutural do pavimento, com determinação da bacia de **deflexão** dinâmica (**velocidade de tráfego**) de forma **contínua** e **sem contato**



Aspectos relevantes para emprego do TSD em 2023



DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
FRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS EM
TRANSPORTES
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lota A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Tel./fax: (61) 3315-4831

FEVEREIRO 2023

NORMA DNIT 440/2023 – PRO

Pavimentação – Levantamento funcional e estrutural contínuo de pavimentos utilizando um equipamento móvel – Procedimento

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

Processo: 50600.050494/2022-04

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 06/02/2023.

*Direitos autorais exclusivos do DNIT, sen-
citada a fonte (DNIT), mantido o texto origi-
comercial.*

Palavras-chav
Levantamento contínuo, avaliação funcior
estrutural de pavim

Avaliação do estado dos pavimentos, incluindo:

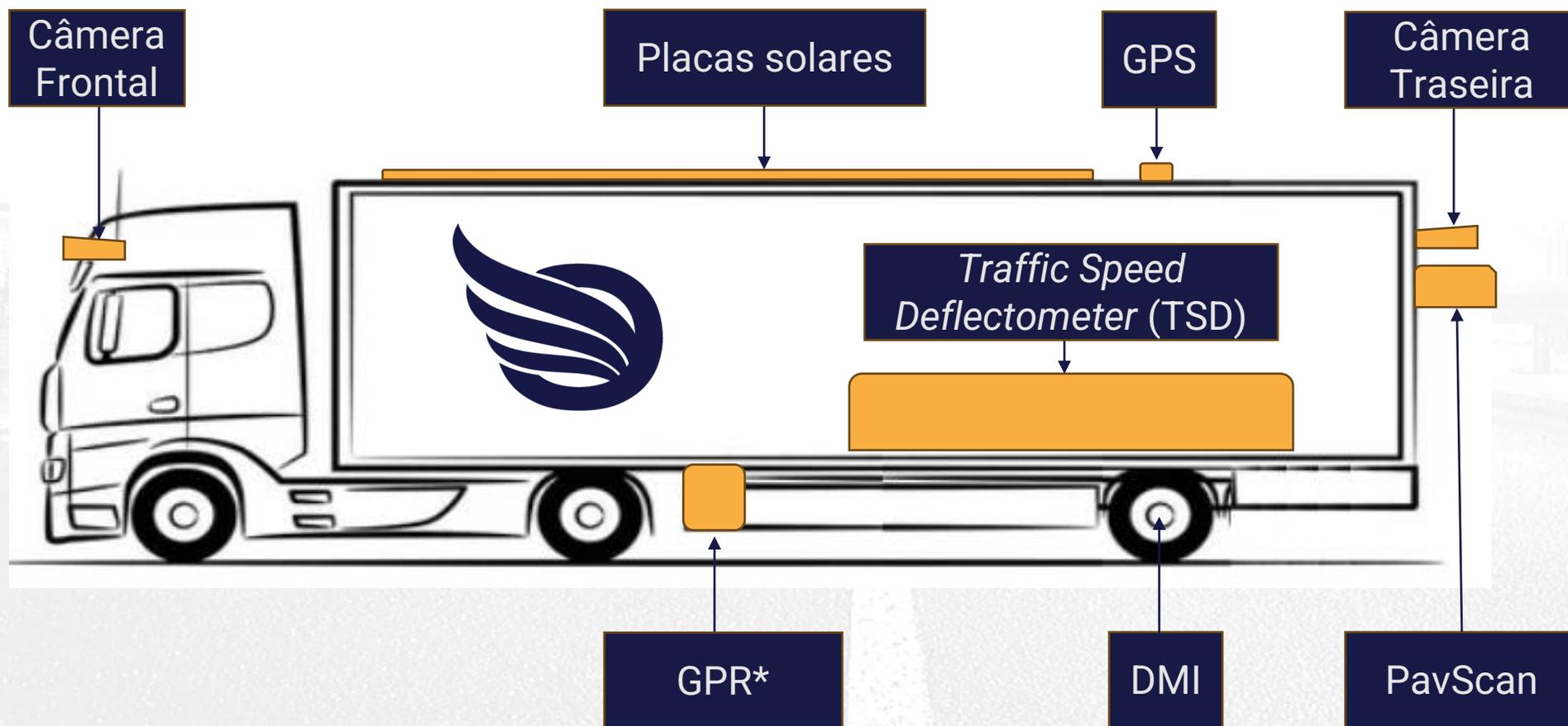
- **Deflectometria**, utilizando o FWD ou **qualquer outra metodologia a qual possui correlações comprovadas com os resultados obtidos pelo FWD** (uso após prévio aceite pela ANTT);
- Avaliação da irregularidade longitudinal, com obtenção do IRI;
- Levantamento do estado de superfície dos pavimentos pelo uso das metodologias LVC (Levantamento Visual Contínuo) e DNIT-PRO 06/2003;
- Levantamento das condições de aderência dos pavimentos, em segmentos críticos;
- Levantamento do estado dos acostamentos existentes, inclusive quanto ao desnível em relação à pista de rolamento;



- Estudo piloto em 12.000 kms pelo DNIT em 2023
- Norma do DNIT publicada em fev/2023
- Editais recentes da ANTT aceitam emprego de outras tecnologias



Traffic Speed Deflectometer RoadRunner (TSD)



* 2ª etapa de implantação



Traffic Speed Deflectometer RoadRunner

Coleta de dados em velocidade de tráfego	<ul style="list-style-type: none">• Elimina a necessidade de desvio de tráfego• Sem interferências com os usuários• Levantamento até 15x mais rápido
Avaliação contínua do comportamento estrutural	<ul style="list-style-type: none">• Dados contínuos (não amostral)• Informações médias a cada 10 m (4x mais informações que os ensaios para projetos)• Bacia de deflexão com 10 sensores
Integração com PavScan e Vídeo Registro e possibilidade de acoplar o Georadar (GPR)	<ul style="list-style-type: none">• Coleta única• Dados consistentes• Evita falhas na consolidação de informações
Segurança	<ul style="list-style-type: none">• Maior segurança para os usuários• Maior segurança para os técnicos
Precisão e Acurácia	<ul style="list-style-type: none">• Condição real de carga• Acurácia nos registros
Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none">• Menor emissão total de poluentes que o FWD• Equipamento sem emissões (energia solar)





Contexto e Conceitos Gerais

Conceitos do ciclo de vida



Construção

- Geometria
- Estrutura



Manutenção

- Preventiva
- Corretiva



Usuários

- Combustível
- Tempo
- Acidentes

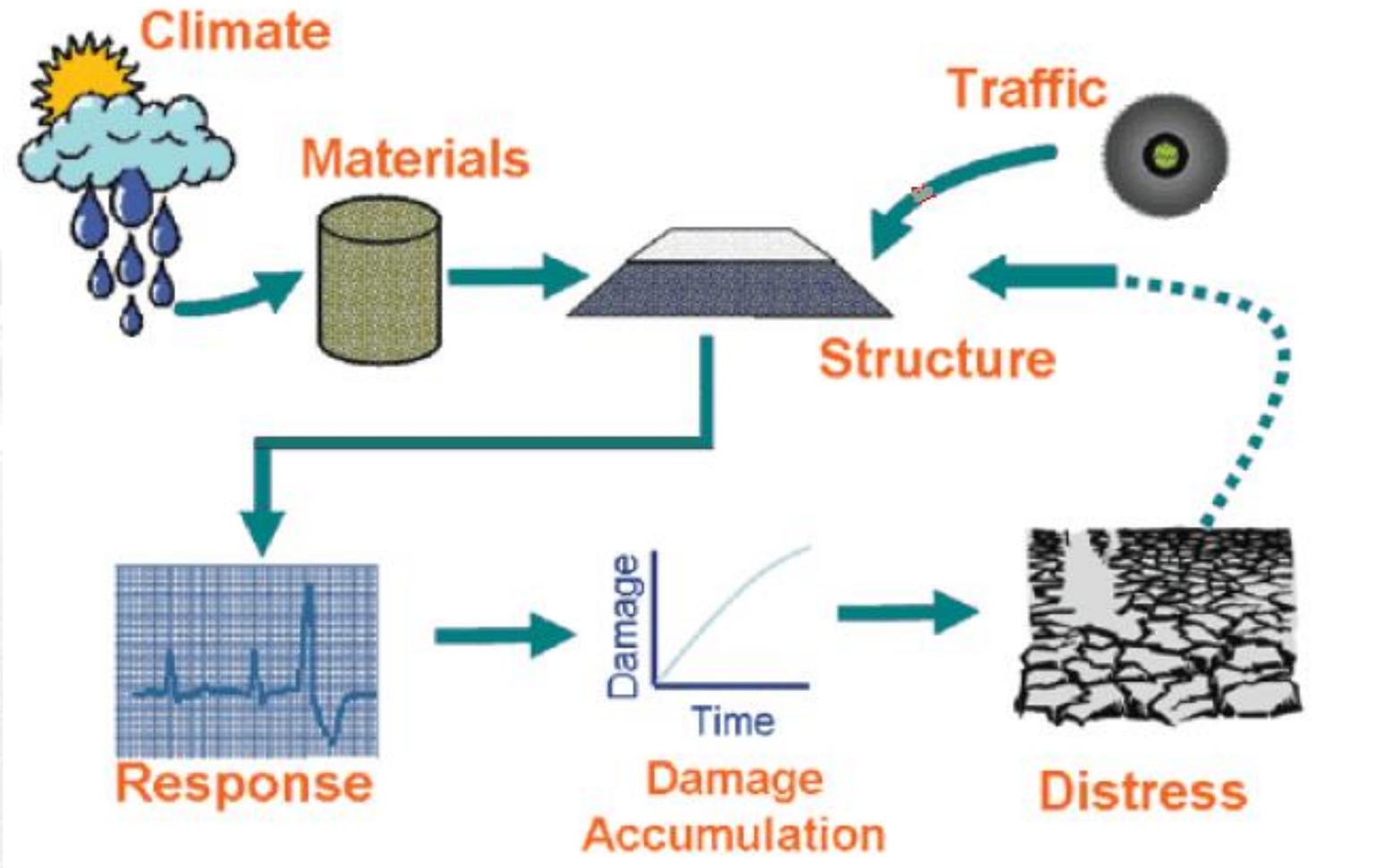


Comunidade

- Poluição
- Ruído

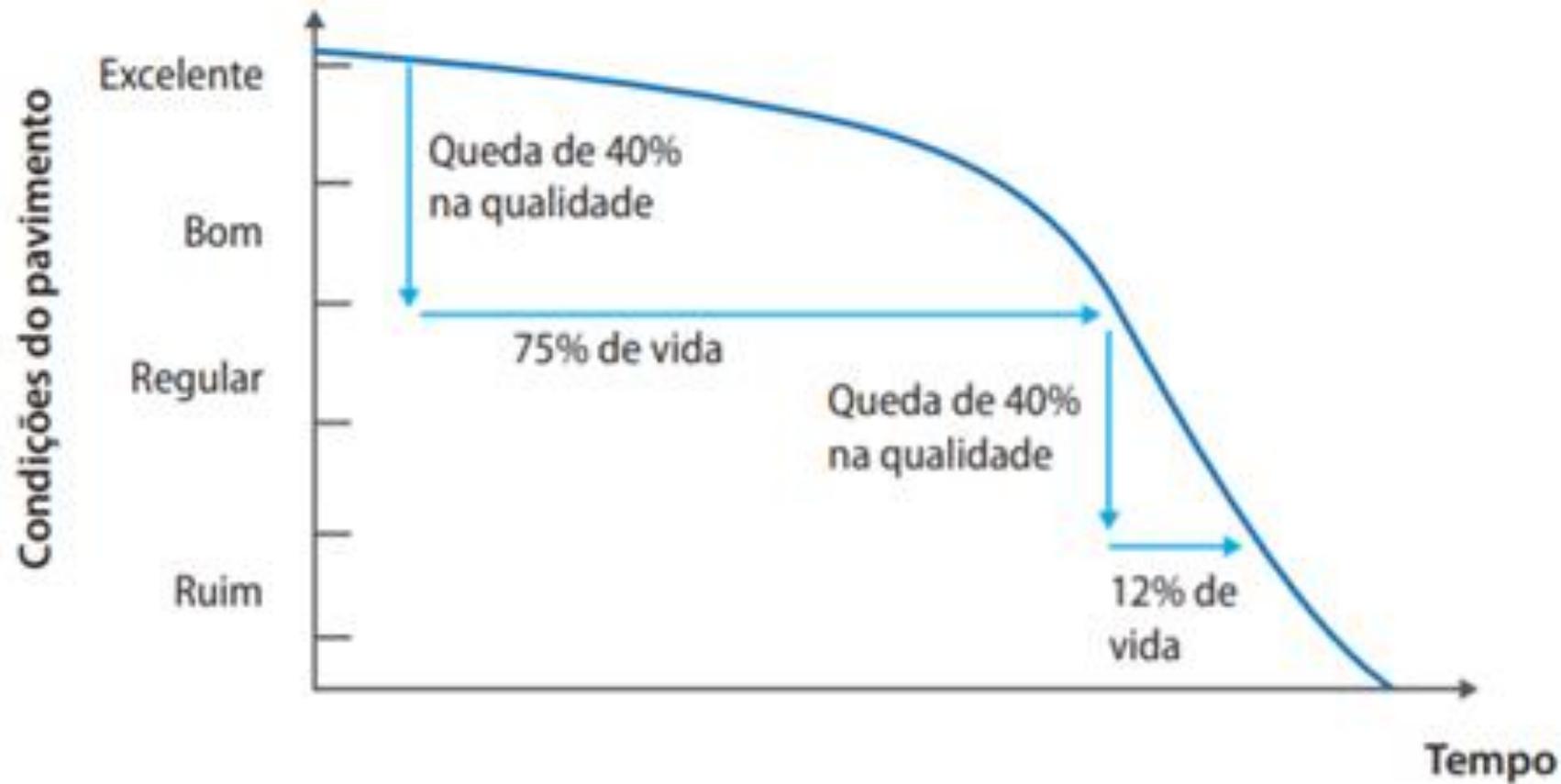


Comportamento dos Pavimentos



Comportamento dos Pavimentos

Evolução do pavimento ao longo do tempo

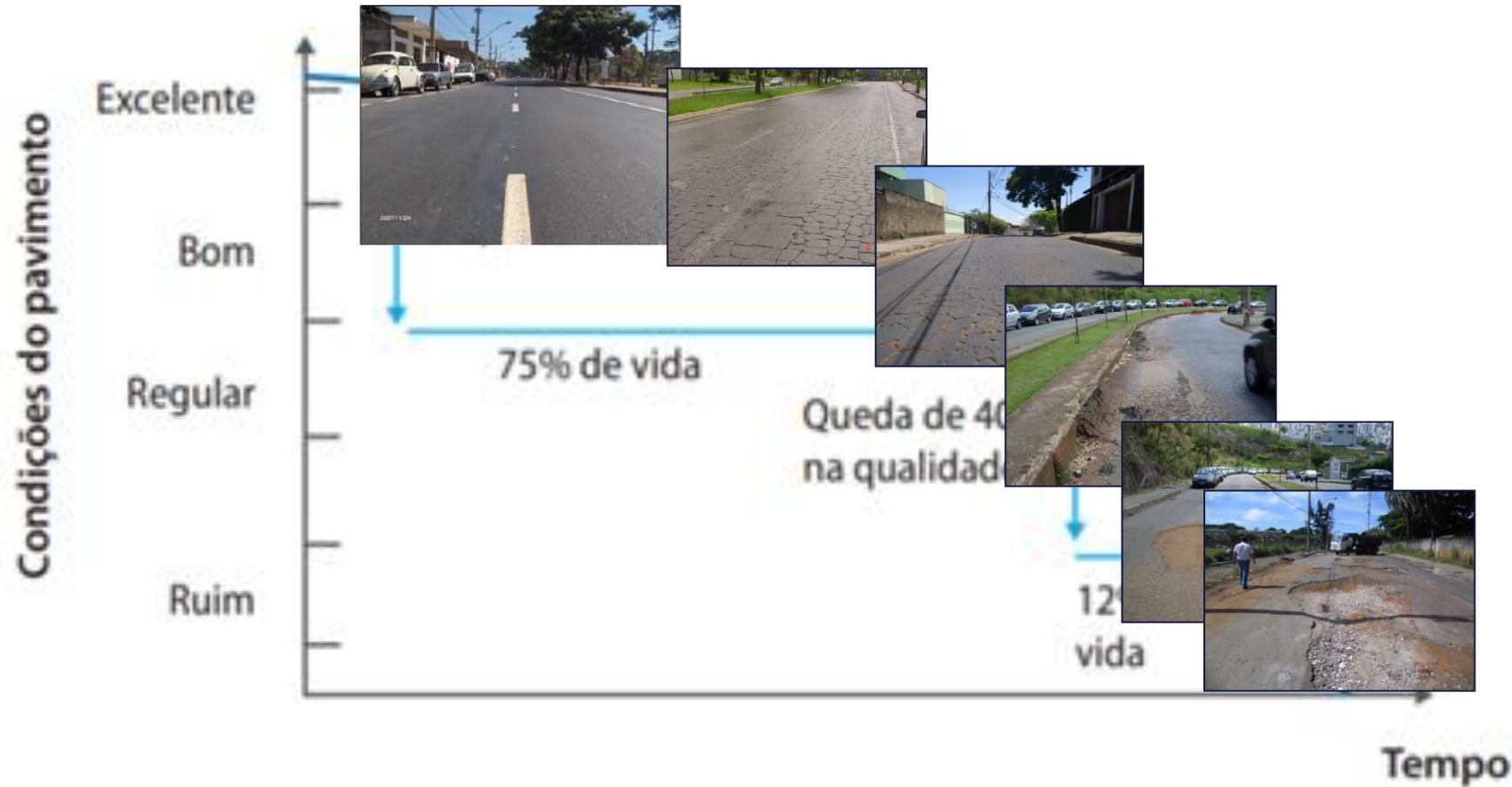


(Department of Defence, 2015)



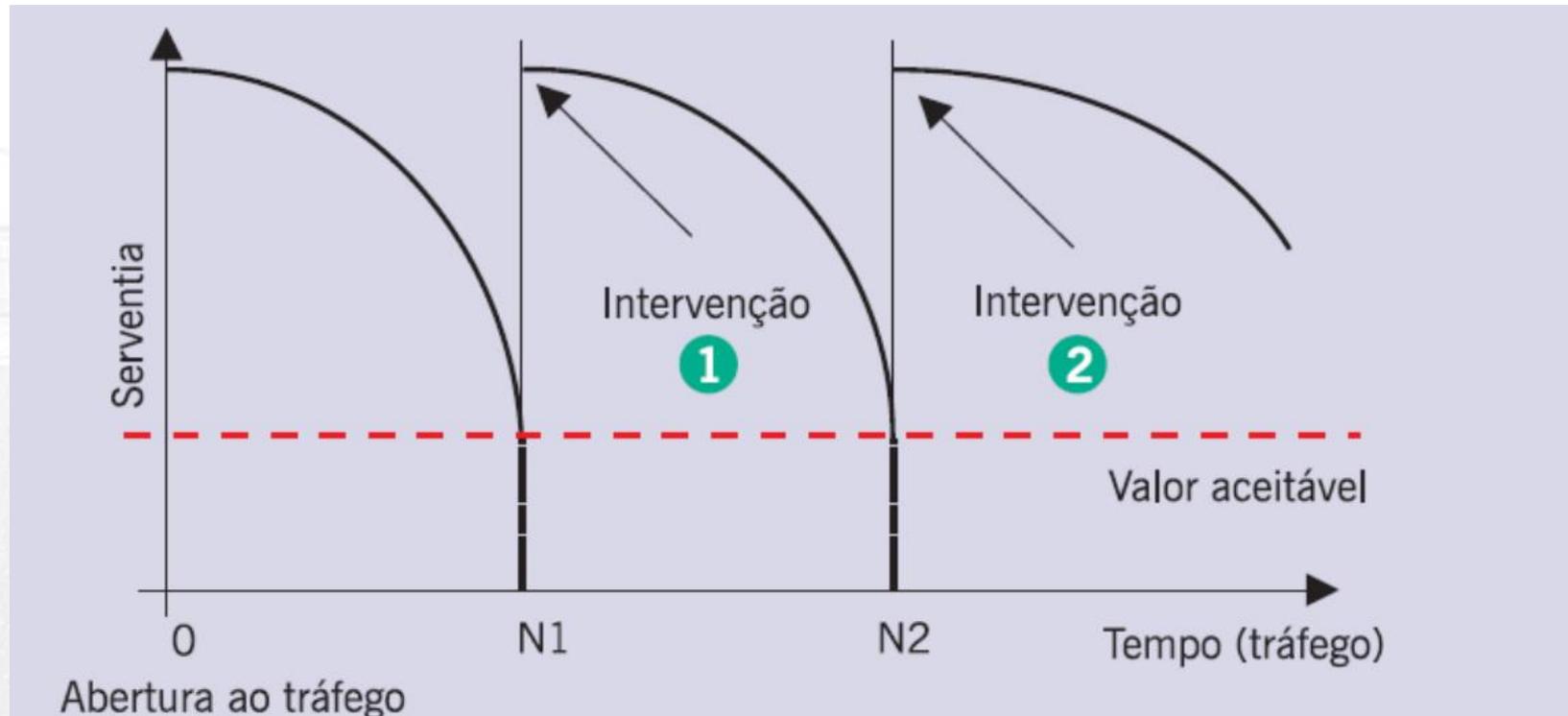
Comportamento dos Pavimentos

Evolução do pavimento ao longo do tempo



O que é a Gestão de Pavimento

Curvas de Desempenho e Intervenções



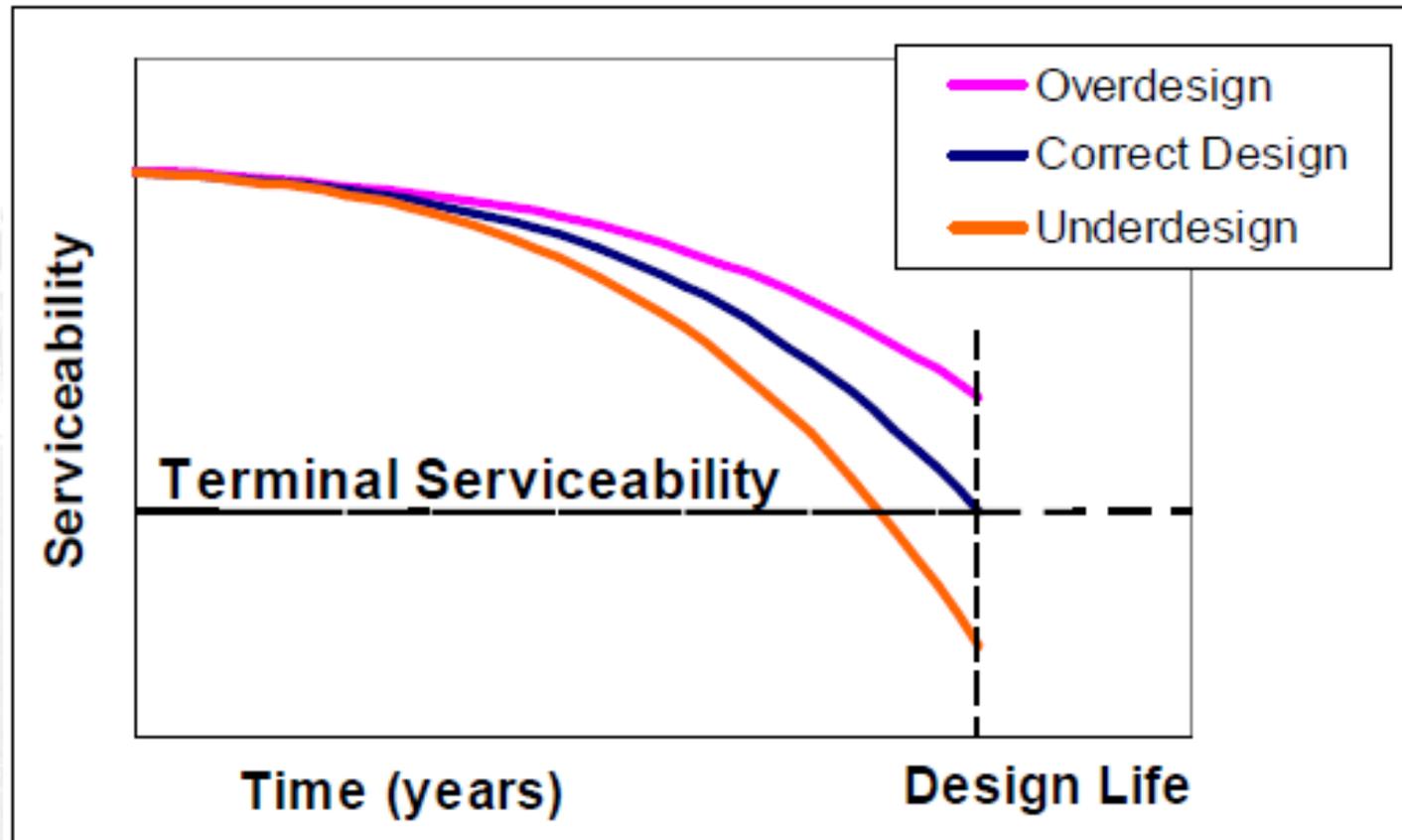
Fonte: 1ª Semana do Planejamento DNIT



O que é a Gestão de Pavimento



Pavimentos são dimensionados para falhar
(de forma controlada)



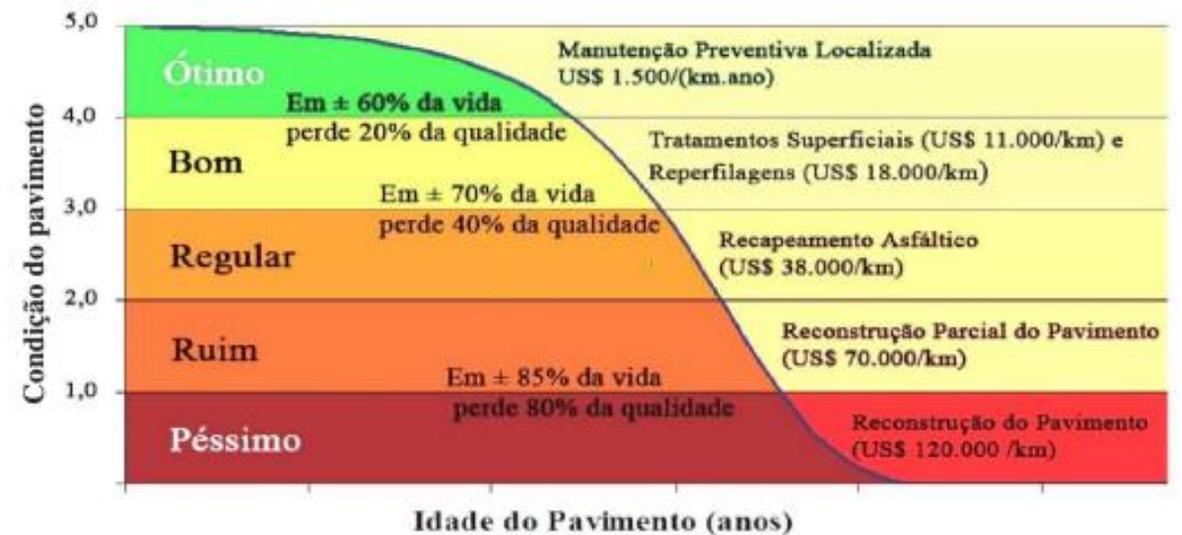
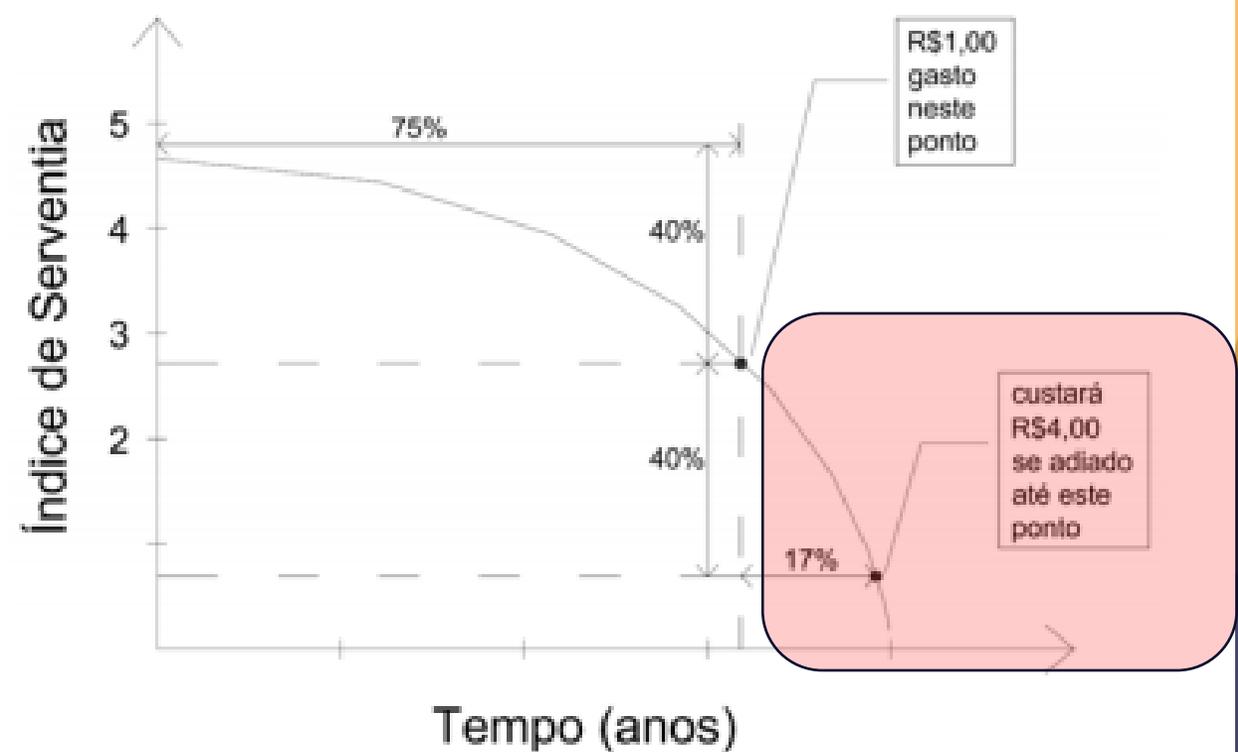
Gestão inadequada do pavimento

má qualidade das rodovias

oferece riscos aos usuários e implica também em

custos elevados de operação dos veículos e

necessidade de realização de restauração dos pavimentos onerosa em função da necessidade de soluções técnicas mais robustas para a reversão da situação



Comportamento dos Pavimentos

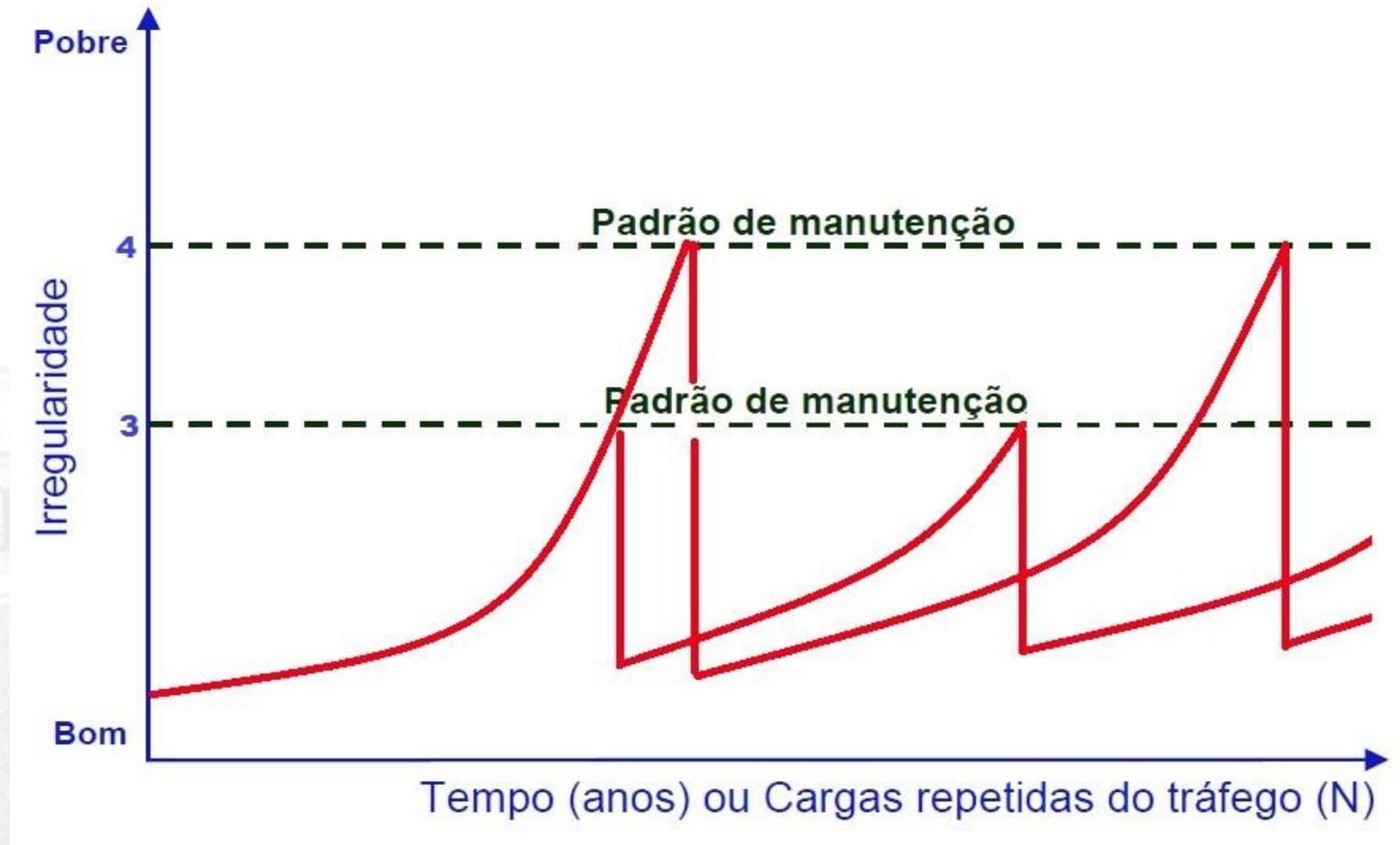
Evolução do pavimento ao longo do tempo



(Department of Defence, 2015)



Padrão de Manutenção



Diferentes **padrões de construção / manutenção** resultam em impacto direto nas **condições do pavimento** no tempo e conseqüentemente na percepção (e custos) dos **usuários da via**



Custos dos Usuários

Custos Operacionais dos Veículos:

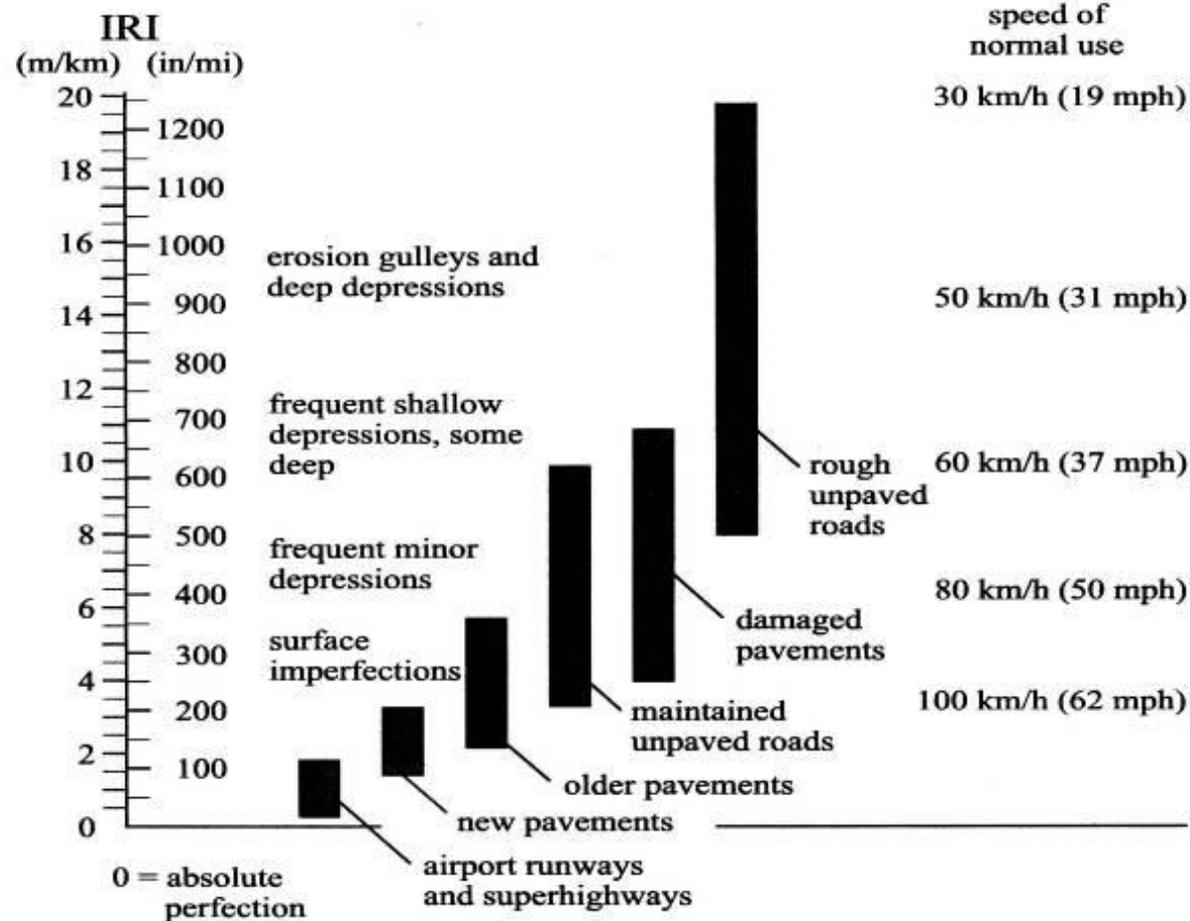
- Consumo de Combustível
- Gastos com óleo, pneus e peças
- Utilização e Depreciação dos Veículos
- **Os custos operacionais estão diretamente com conforto (IRI)**

Custos de Tempo de Viagem:

- Passageiros
- Cargas

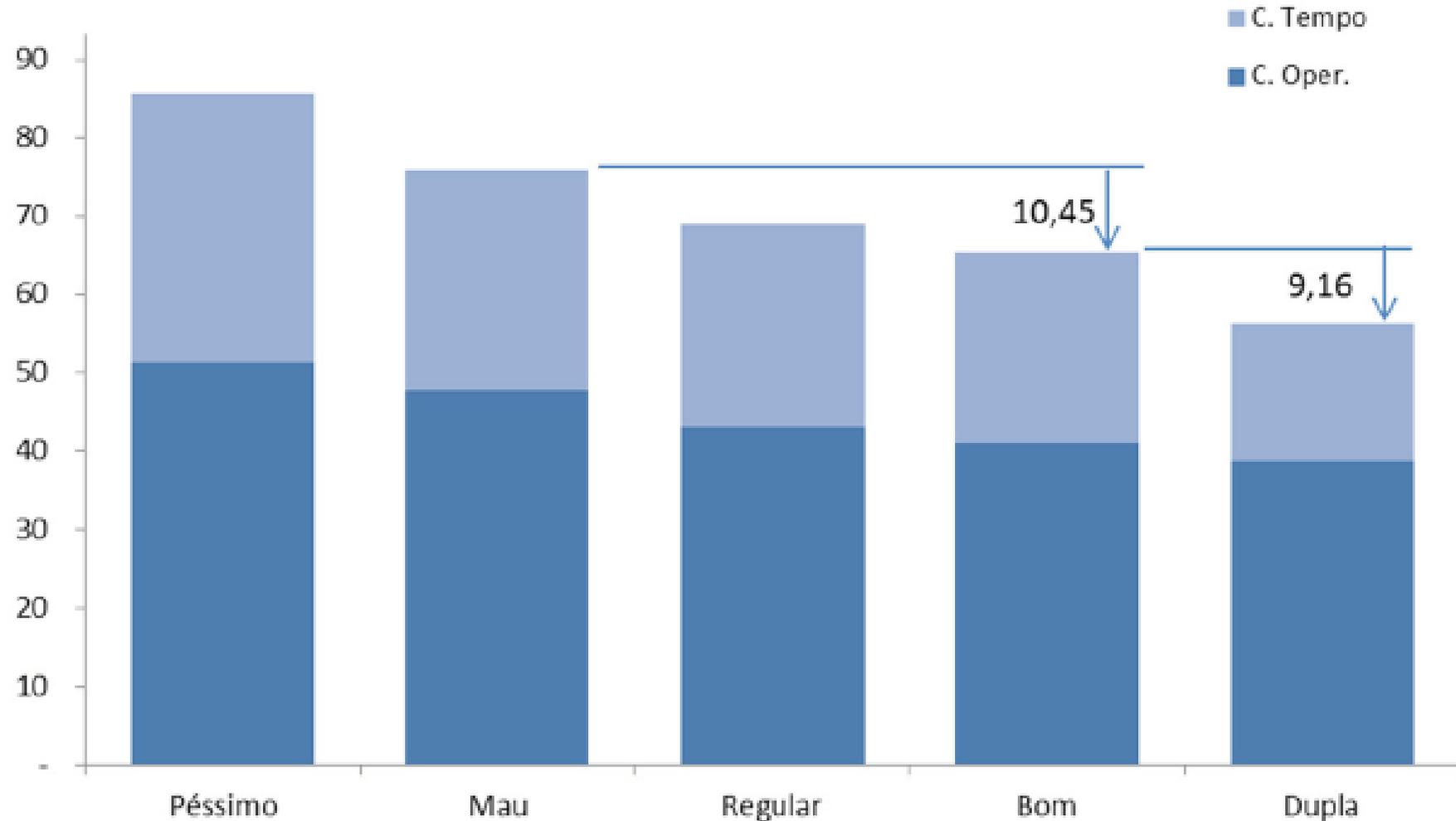
Custos de Acidentes Rodoviários:

- Apenas danos materiais
- Com feridos
- Com mortos



Custos dos Usuários

R\$/100km



Custos médios para automóveis, em 2016, por tipo de pavimento e pista
(Fonte: Pompermayer, 2016)



Gestão de Pavimentos

Rodovias em má condição de conservação

- depreciação do patrimônio
- + 58% de consumo de combustíveis
- + 40% de no custo operacional dos veículos
- + 50% de acidentes
- Dobra o tempo de viagem

(Fonte: DNER, 1994)

Consequência final

- aumento do custo dos fretes
- aumento dos custos de passagens rodoviárias
- inibição ao desenvolvimento econômico

É preciso **gestão dos recursos** disponíveis!!



Sistema de gerência de pavimentos

Questões gerenciais

- Qual a **melhor solução** para realizar agora, no pavimento?
- Como posso melhor aportar meus **recursos**?
- Qual é uma boa **estratégia** a longo prazo para esta rodovia/segmento?
- Qual a **necessidade orçamentária** a longo prazo para as diversas estratégias?
- Considerando certas **restrições**, qual a melhor estratégia a longo prazo para a rede?
- Quais os **efeitos de maior ou menor aporte de investimento**?



Importância da informação na gestão de pavimentos

Todo o processo de tomada de decisões deve ser tomado a partir de **informações confiáveis e atuais** referentes a malha viária



TIPOS DE AVALIAÇÃO



TIPOS DE AVALIAÇÃO

Tipo	Subtipo	Descrição	Itens / Produtos
Funcional	Conforto	Perfilômetro laser Sistemas indiretos: MERLIN e Resposta	IRI / QI
Funcional	Superfície	DNIT 006/2003 PRO DNIT 007/2003 PRO DNIT 008/2003 PRO DNIT 62/2004 PRO Outros	IGG e Flecha % de defeitos LVC ICP Degrau
Funcional	Segurança	Pêndulo Britânico e Mancha de Areia ou Griptester e MPD	VRD e HS (IFI) GN e MPD (IFI)
Funcional	Ruído	Decibelímetro	dBA
Estrutural	Deflexão	<i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD) Viga Benkelman	Dc / Bacia Dc
Estrutural	Estrutura	Georadar Sondagens	Estrutura Estrutura e caract.





Ferramentas para Gerência



US Army Engineer Research
and Development Center



PAVER™ 7

Pavement Management System

© US ARMY CORPS OF ENGINEERS

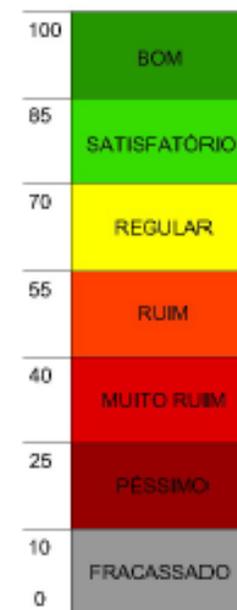


O que é o Paver[®]

- **Histórico:** Desenvolvido no final dos anos 1970 para ajudar o Departamento de Defesa Americano(DOD)
- **Objetivo:** a gerenciar manutenção e recuperação (M&R) para dos seus pavimentos.
- **Embasamento:**
 - inspeção e uma classificação do índice PCI, variando de 100 (excelente) a 0 (falha) a para descrever consistentemente a condição de um pavimento e para prever suas necessidades de M&R
 - o programa PAVER executa diversos níveis de análise para mostrar onde melhor alocar os recursos de M&R

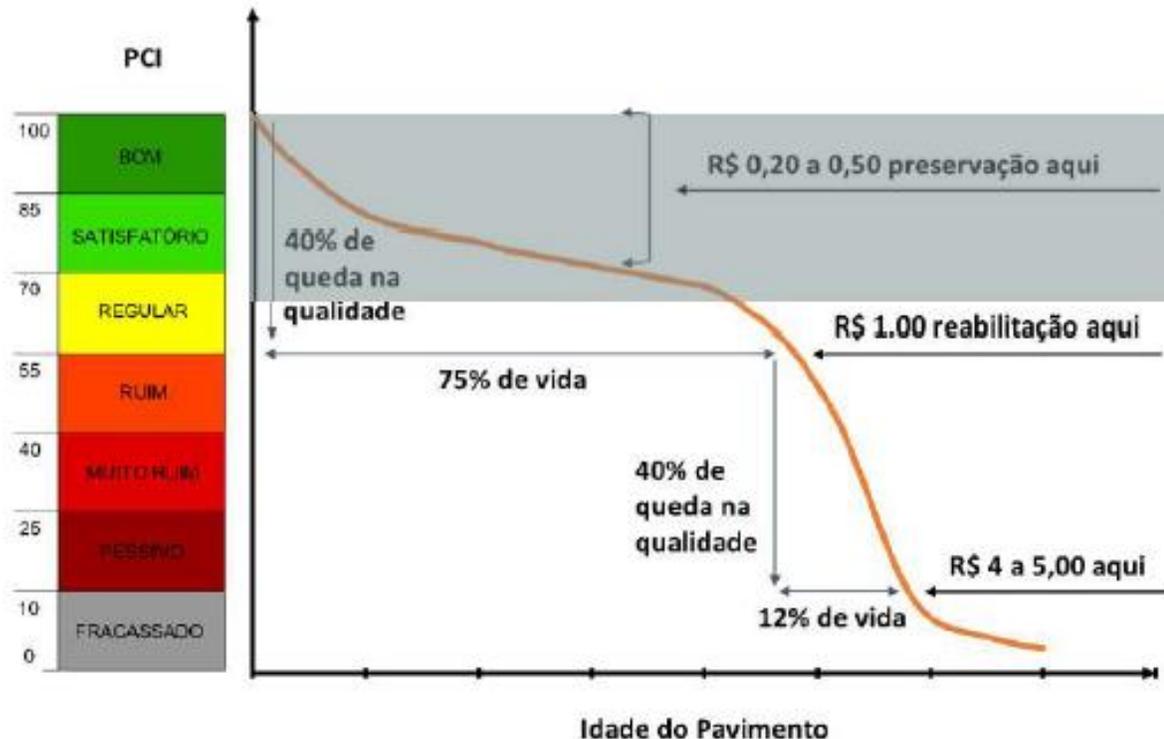
Nota: o PCI para aeroportos tornou-se um padrão ASTM em 1993 (D5340-10) e é exigência também da ANAC e o PCI para estradas e estacionamentos se tornou um padrão ASTM em 1999 (D6433-09), mas não é exigido nem normatizado por órgãos rodoviários brasileiros.

Escala de PCI Padrão



Gestão adequada do pavimento

Preservação inclui: manutenção preventiva, reabilitação em pequena escala, alguns tipos de manutenção de rotina e manutenção de drenagem



- Bom desempenho
- Segurança
- Conforto ao usuário
- Melhor Custo/Benefício



Sistema de Gerência de Pavimentos

PAVrunner
SOFTWARE



PavRunner (SGP)

- Sistema **WEB**, leve e intuitivo
- **Não** há a necessidade de instalação
- Utiliza os parâmetros dos **Editais de Concessão**
- Ferramenta de **armazenamento** e **análise** de dados de pavimentos, com modelos de desempenho derivados do **HDM**
- Utilizado para **organização, sistematização, diagnósticos** e **planejamento** de manutenção de pavimentos
- Facilita a **maximização dos benefícios** na manutenção e reabilitação de pavimentos



PavRunner: Possibilidades

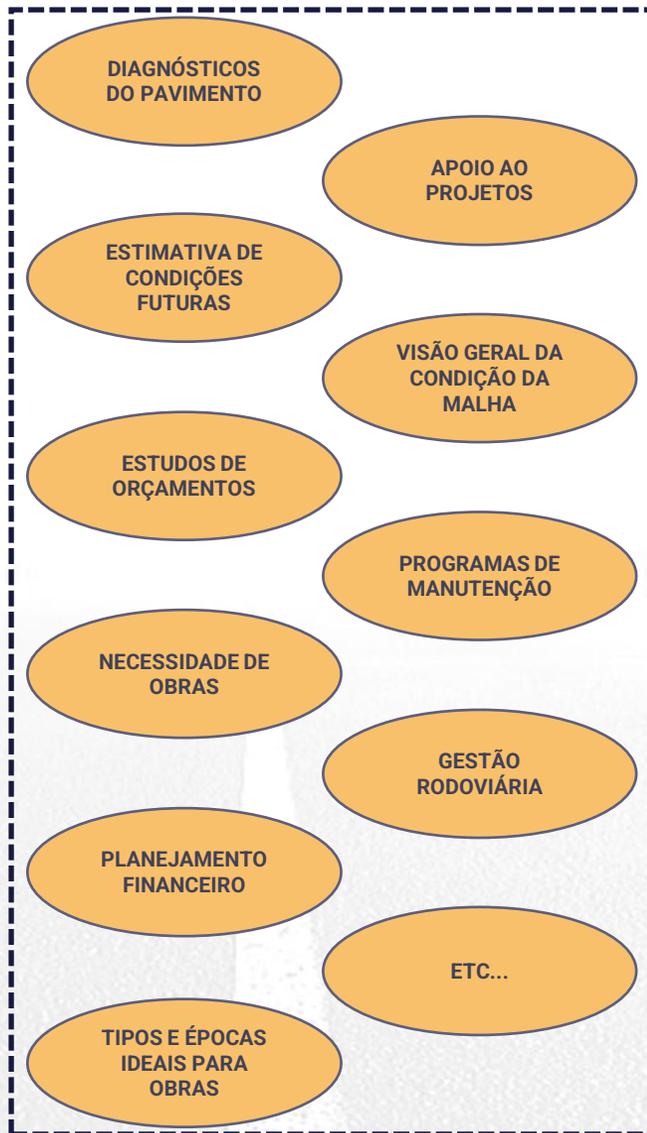
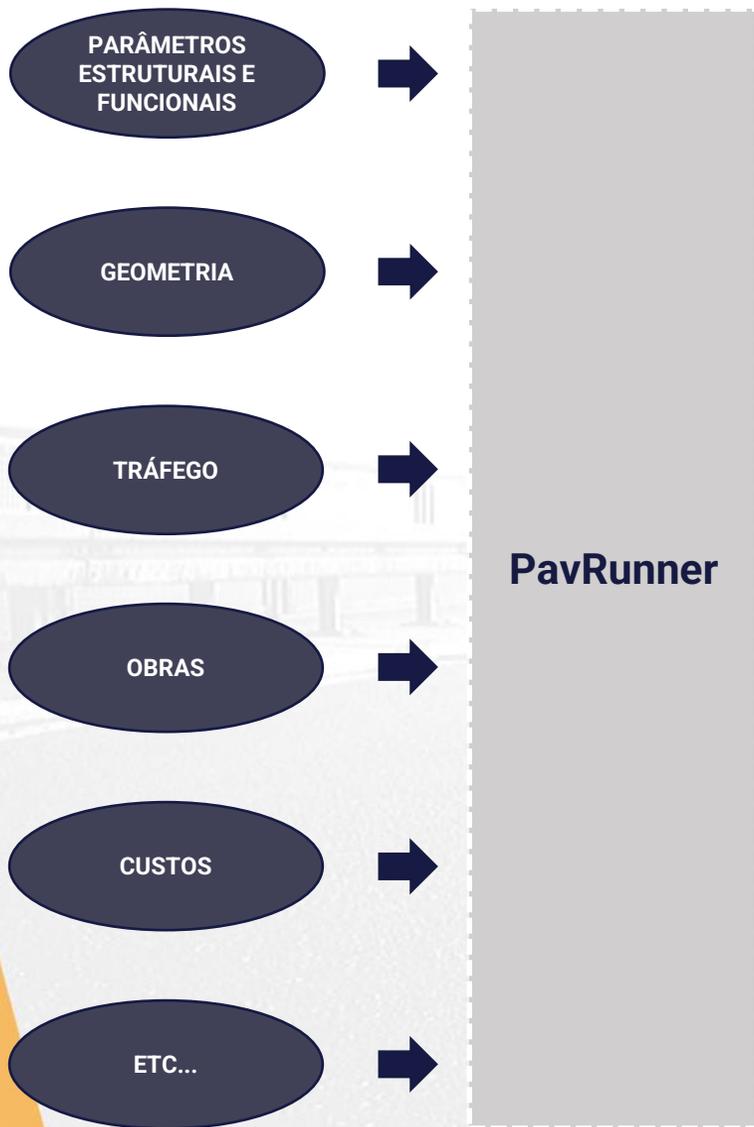
- Centralização, organização e universalização das **informações**
- Facilidade na **checagem** e **análise** dos dados de forma consistente
- Atualização do **cadastro** das rodovias
- Armazenamento das condições **estruturais** e **funcionais** dos pavimentos
- Melhor conhecimento do **patrimônio rodoviário**
- Fácil identificação de **não-conformidades**



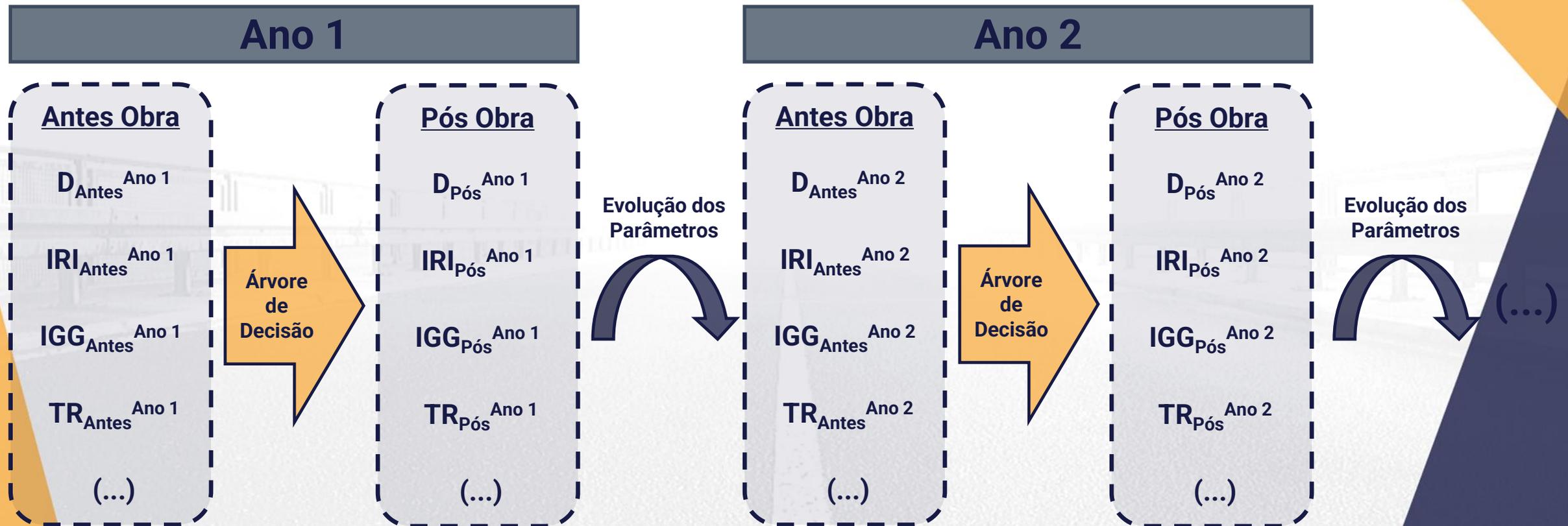
PavRunner: Possibilidades

- Análise da rodovia como parte de uma rede
- Estimativa das condições futuras
- Elaboração de programas de manutenção
- Elaboração de estudos orçamentários
- Determinação dos tipos e épocas ideais de intervenção
- Determinar os benefícios de cada obra ao final de cada ano
- Identificação de prioridades de intervenção





Processo Sistema



Consolidação dos Resultados

Custo total (R\$):

R\$744.744.182

Custo Total - R\$ (x1.000)



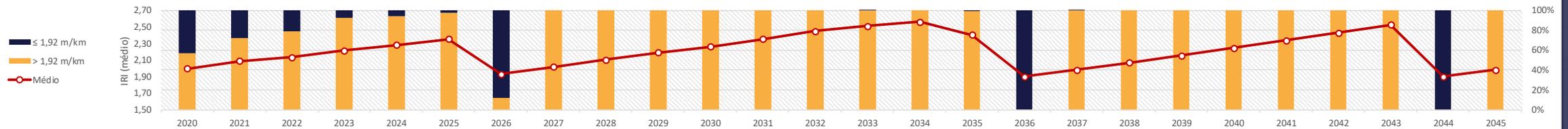
Total (kmf):

2.610,96

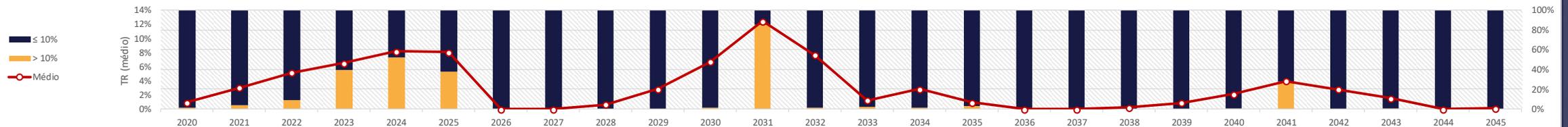
Quilômetros de Intervenção - kmf



Irregularidade Longitudinal- IRI (m/km)



Trincamento - TR (%)



Exemplo Plano de Manutenção

- Plano de manutenção de uma rodovia (RR-123) no interior de SP
 - Pista simples
 - km 144,1 ao km 159,0
 - Largura Faixa 3,6 m
 - Largura Acostamento 3,0 m



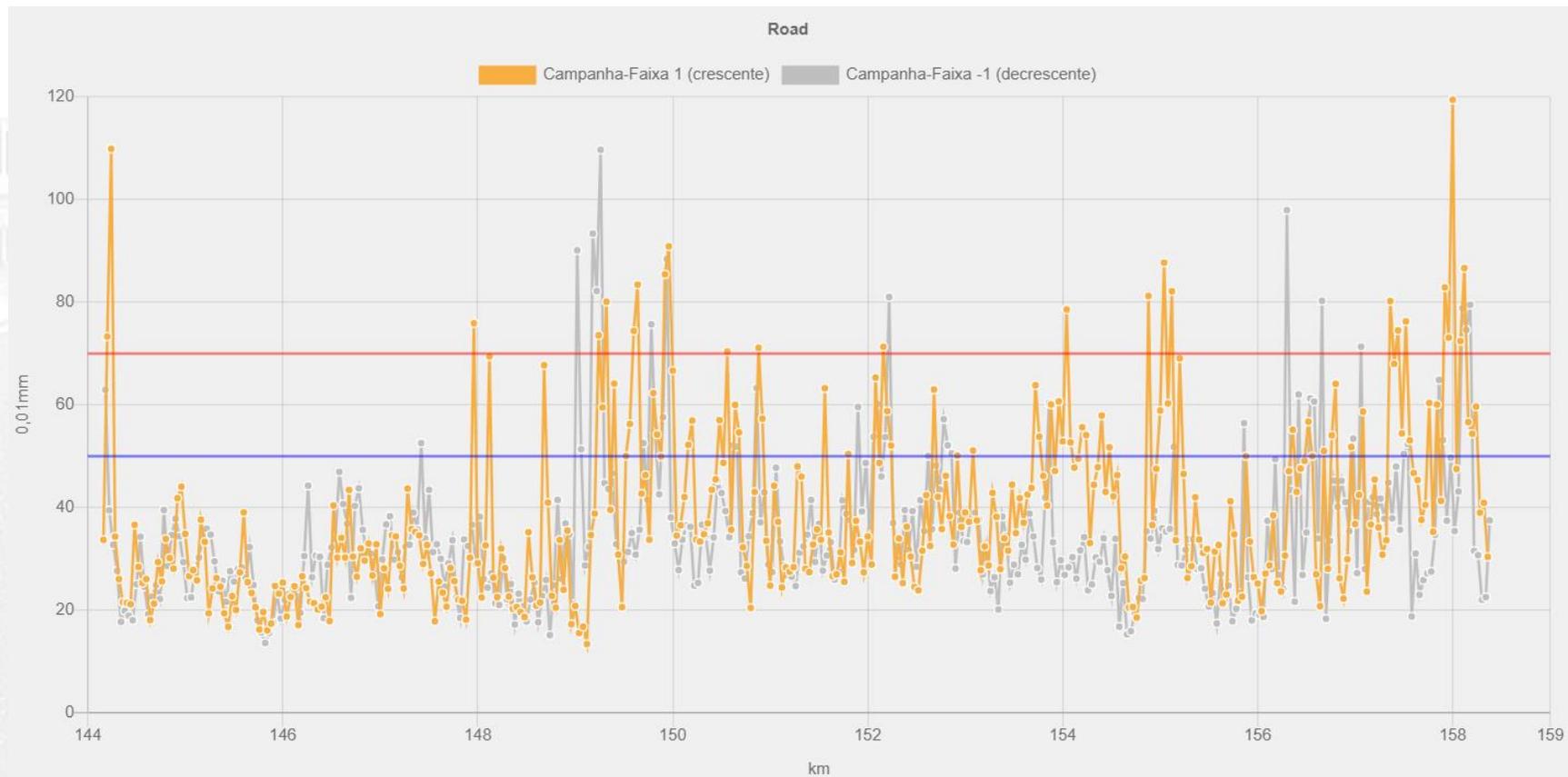
Exemplo Plano de Manutenção

- Tráfego
 - $VDM_{\text{comercial}}^{2023} = 675$ (direcional)
 - $FV_{\text{USACE}} = 10,0$
 - $FV^{\text{AASHTO}} = 3,0$
 - Taxa de Crescimento 2% aa.



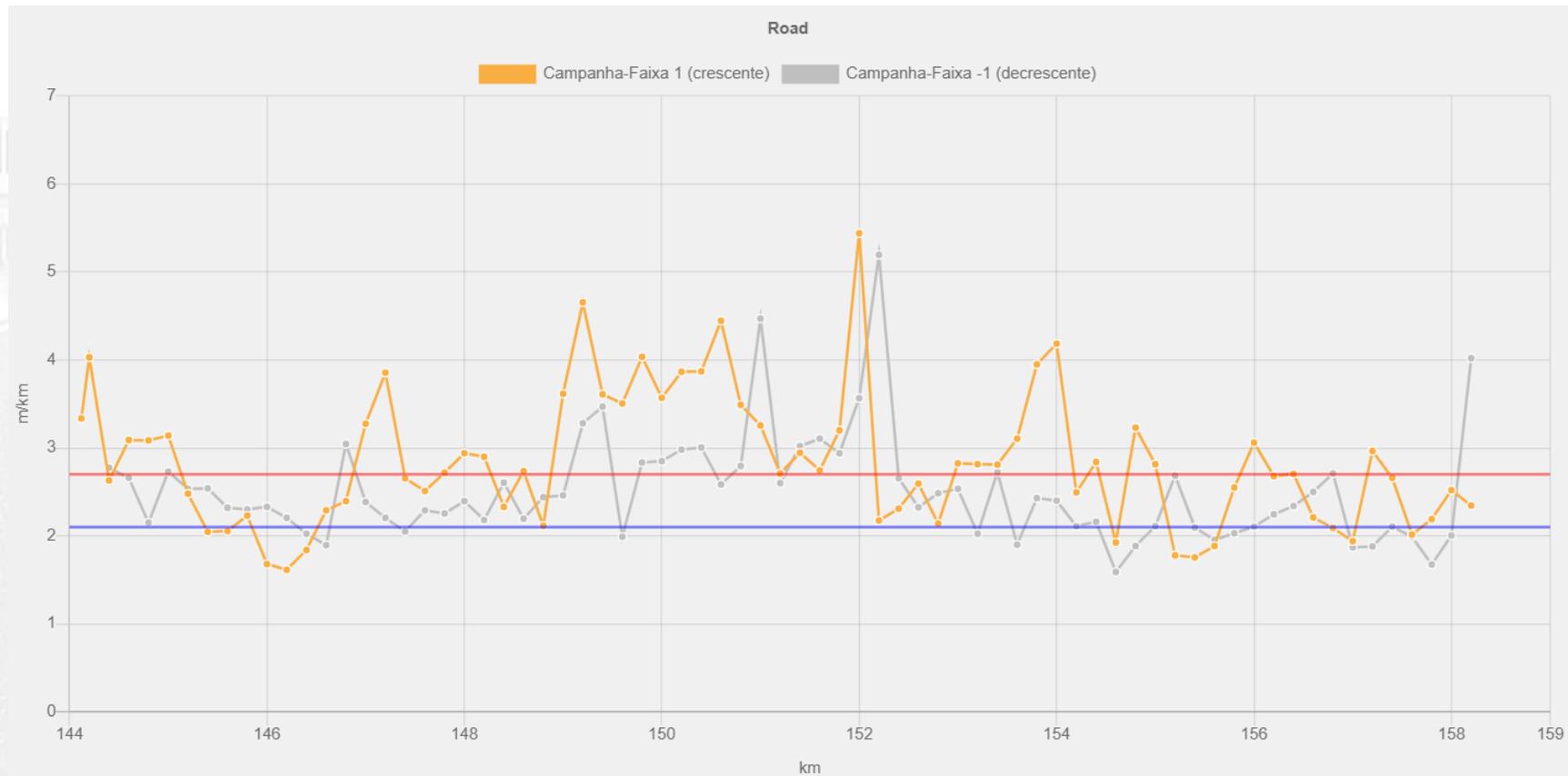
Exemplo Plano de Manutenção

- Condição Estrutural



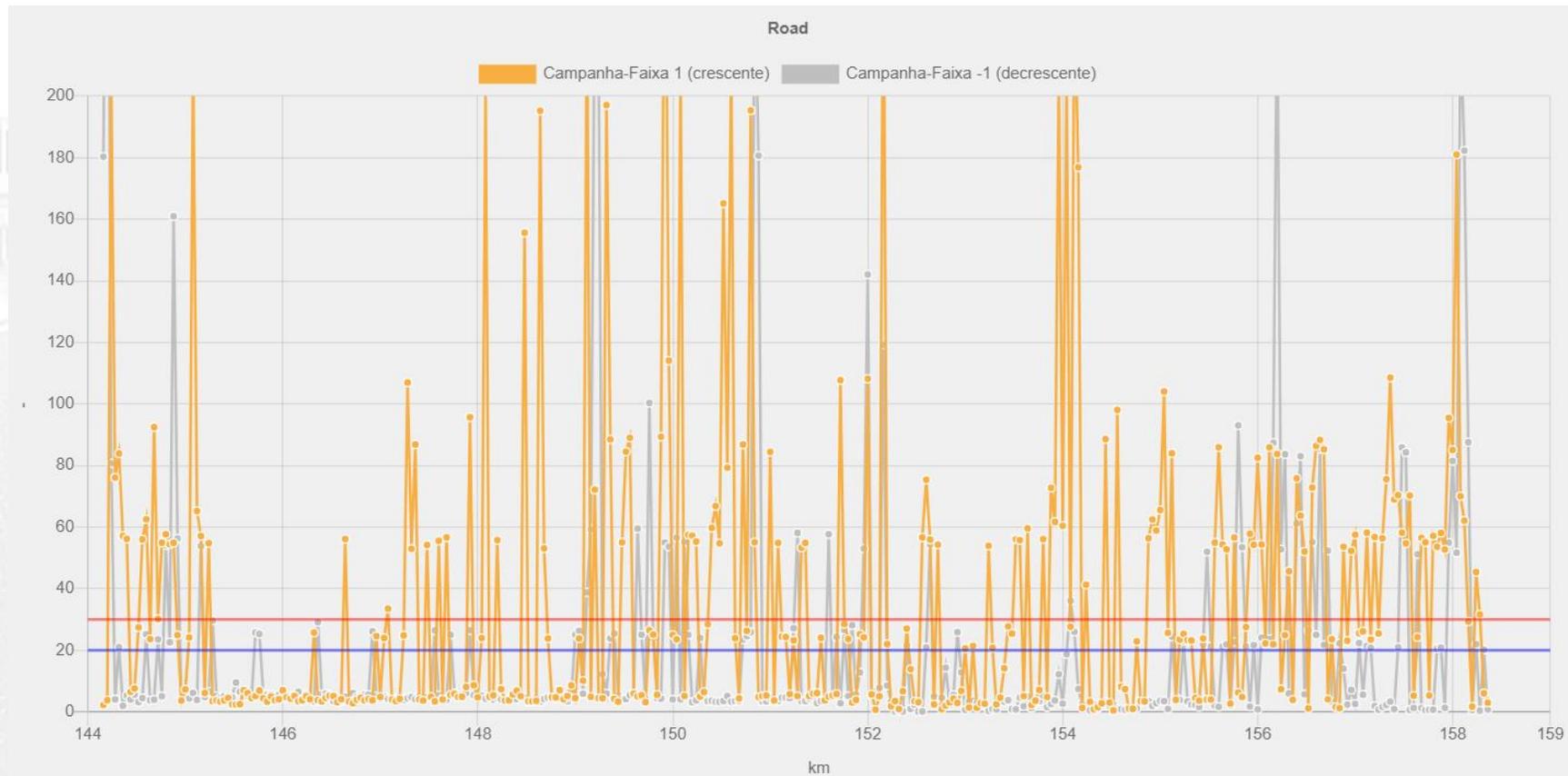
Exemplo Plano de Manutenção

- Condição Conforto Rolamento



Exemplo Plano de Manutenção

- Condição Superfície



Exemplo Plano de Manutenção

- Obras obrigatórias (com recobrimento de 100% da área) nos anos:
 - 2025/2033/2041
- Até o ano de 2025 manter os seguintes parâmetros:
 - $ATR < 10$ mm / $IGG < 50$ / $TR < 25\%$ / $IRI < 3,5$ m/km
- Após o ano de 2025 manter os seguintes parâmetros:
 - $ATR < 7$ mm / $IGG < 30$ / $TR < 15\%$ / $IRI < 2,7$ m/km



Exemplo 2 Plano de Manutenção

- Restrição no ano de 2031 = R\$ 1 milhão



Exemplo 3 Plano de Manutenção

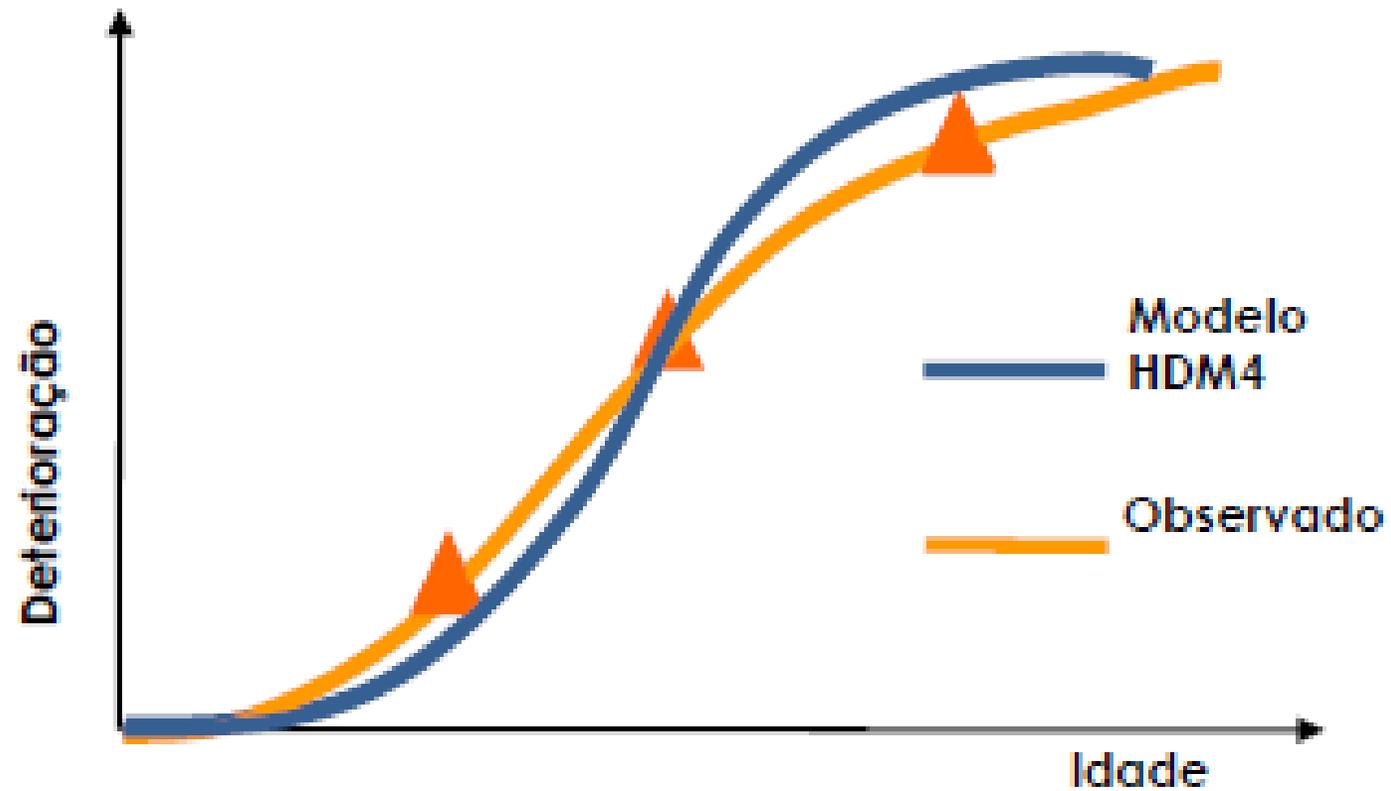
- Restrição em 2025 = R\$ 7 milhões
- Restrição em 2033 e 2041 = R\$ 3,5 milhões
- Demais anos = R\$ 1 milhão



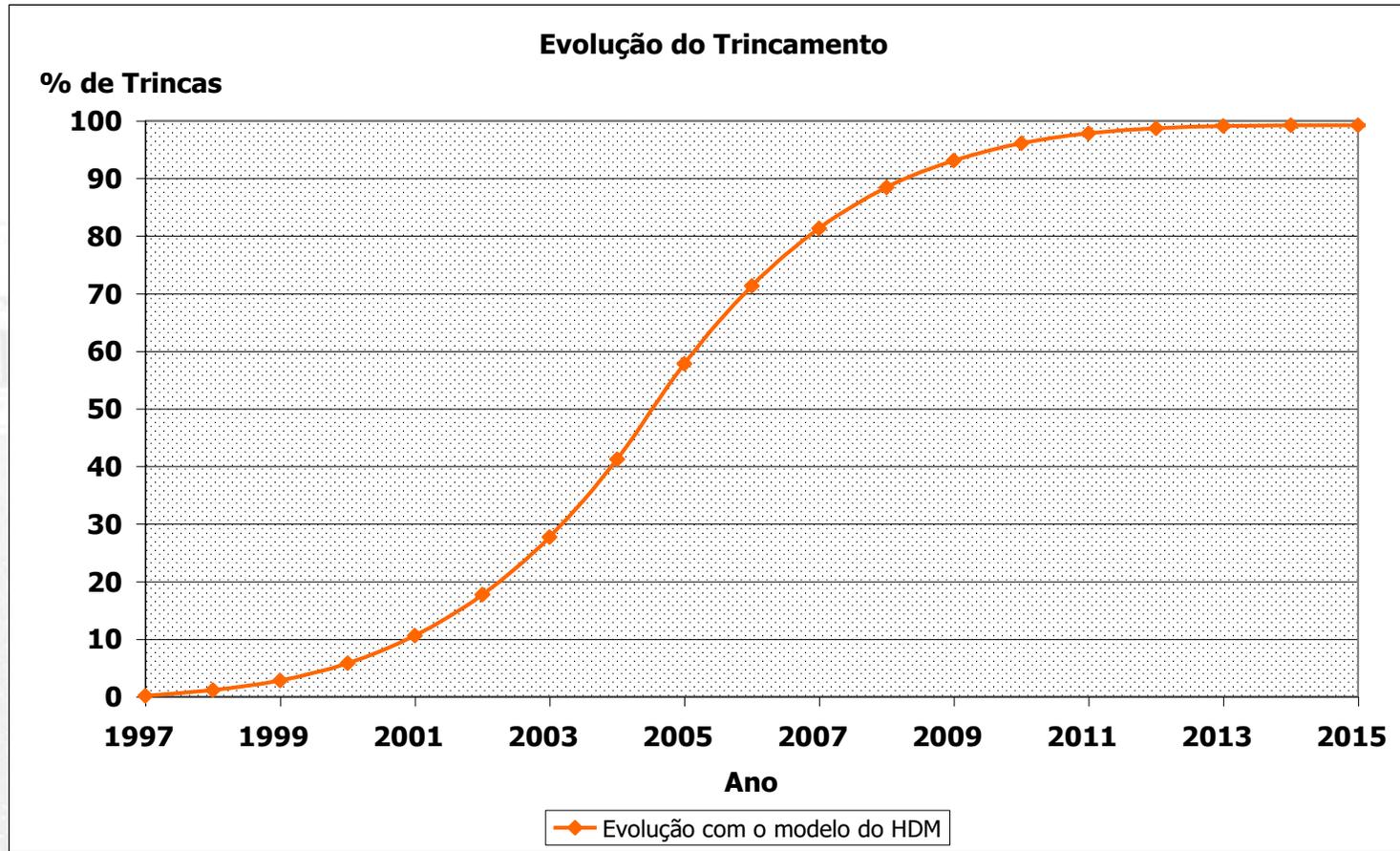


Modelos e Calibração

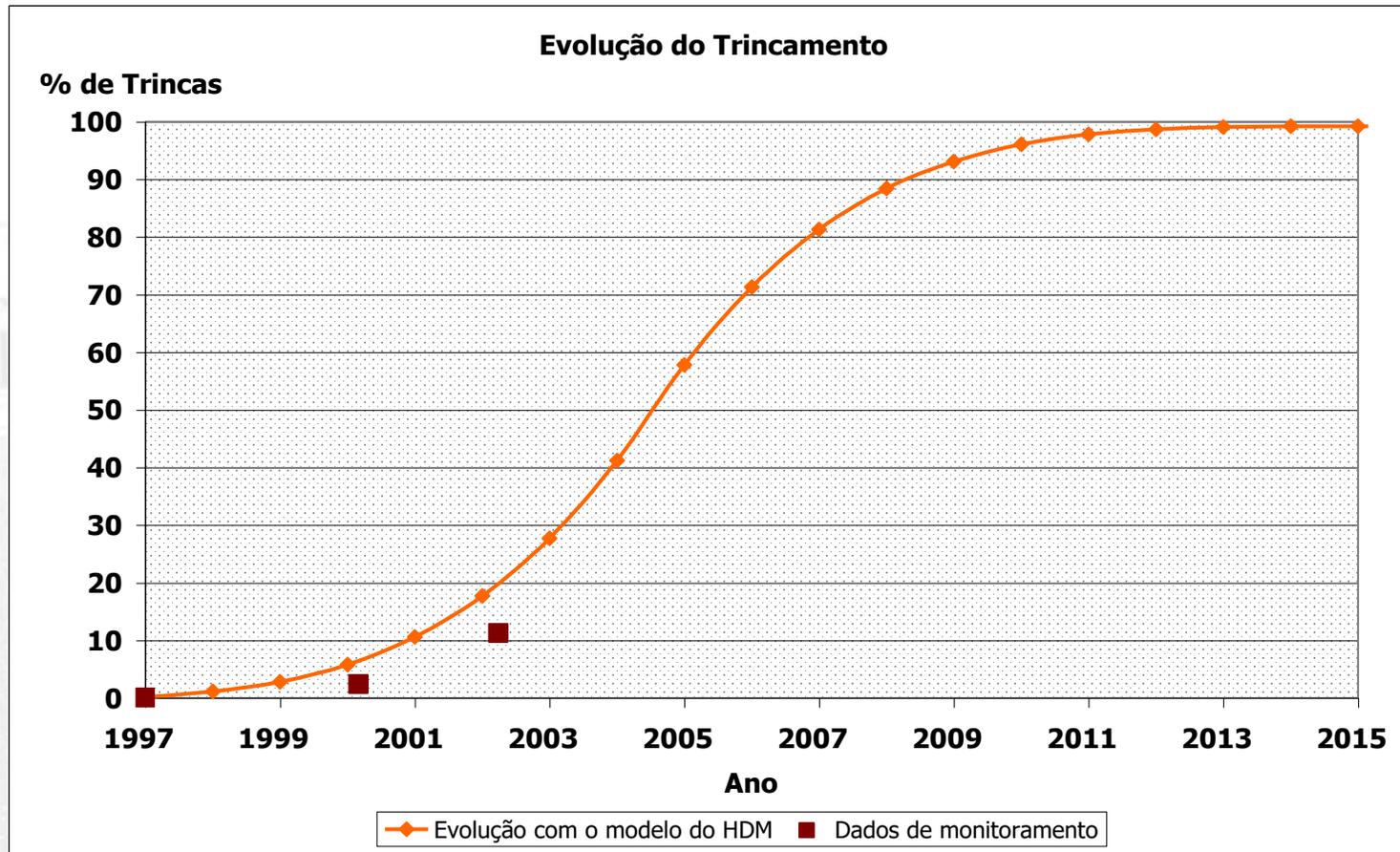
Calibração dos modelos de desempenho



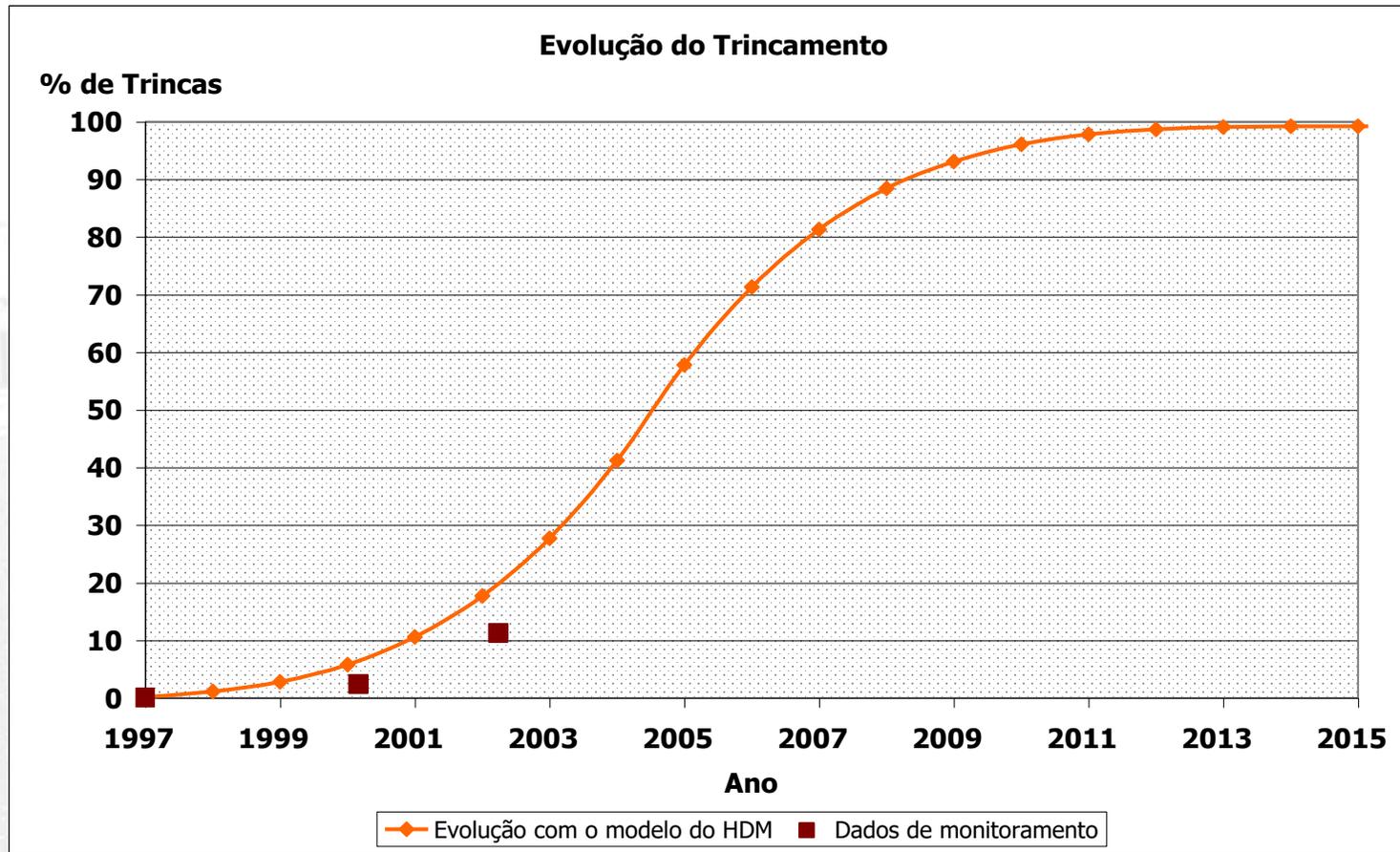
Estudo e Aplicação de Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) Trecho Experimental da Dutra



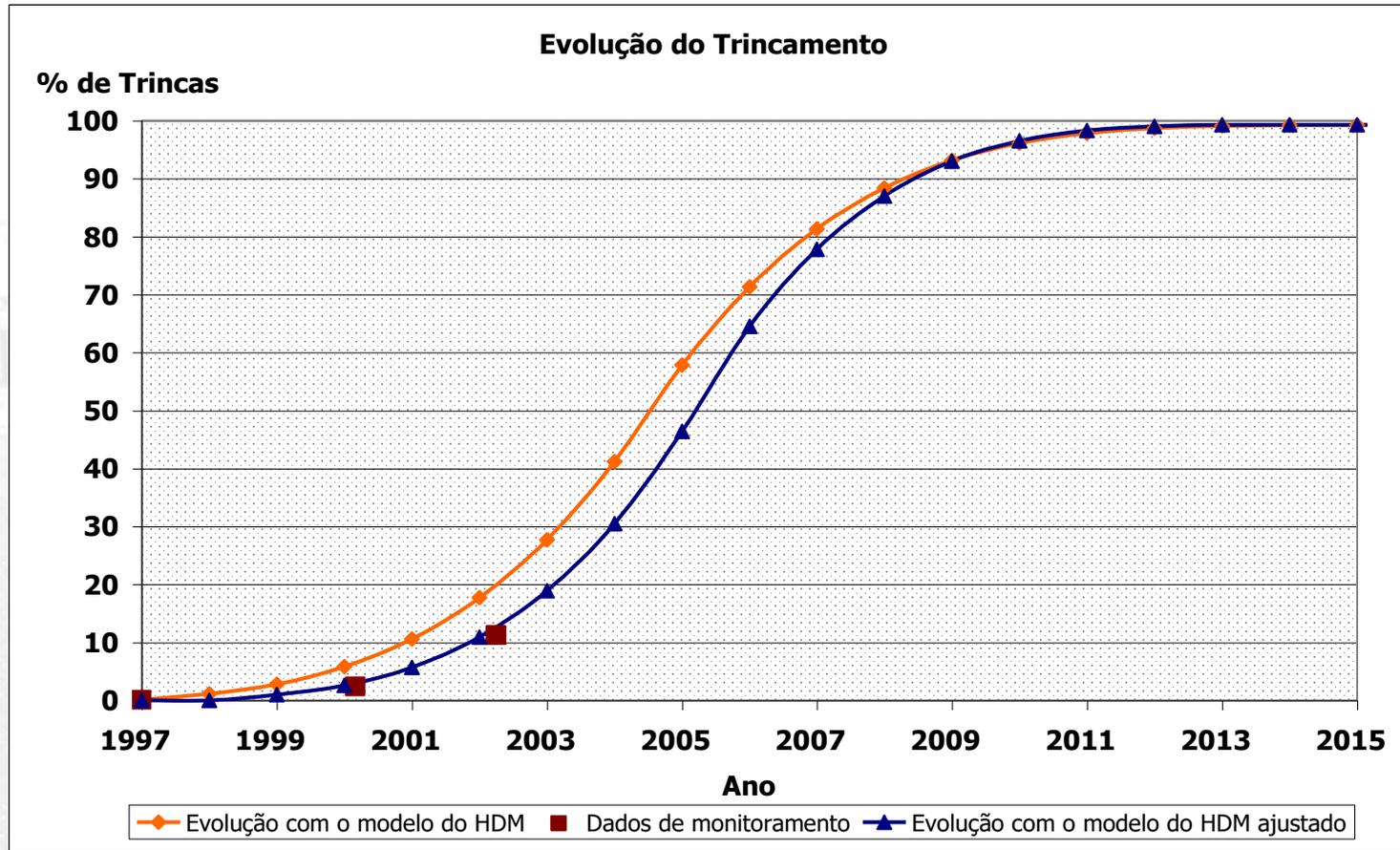
Estudo e Aplicação de Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) Trecho Experimental da Dutra



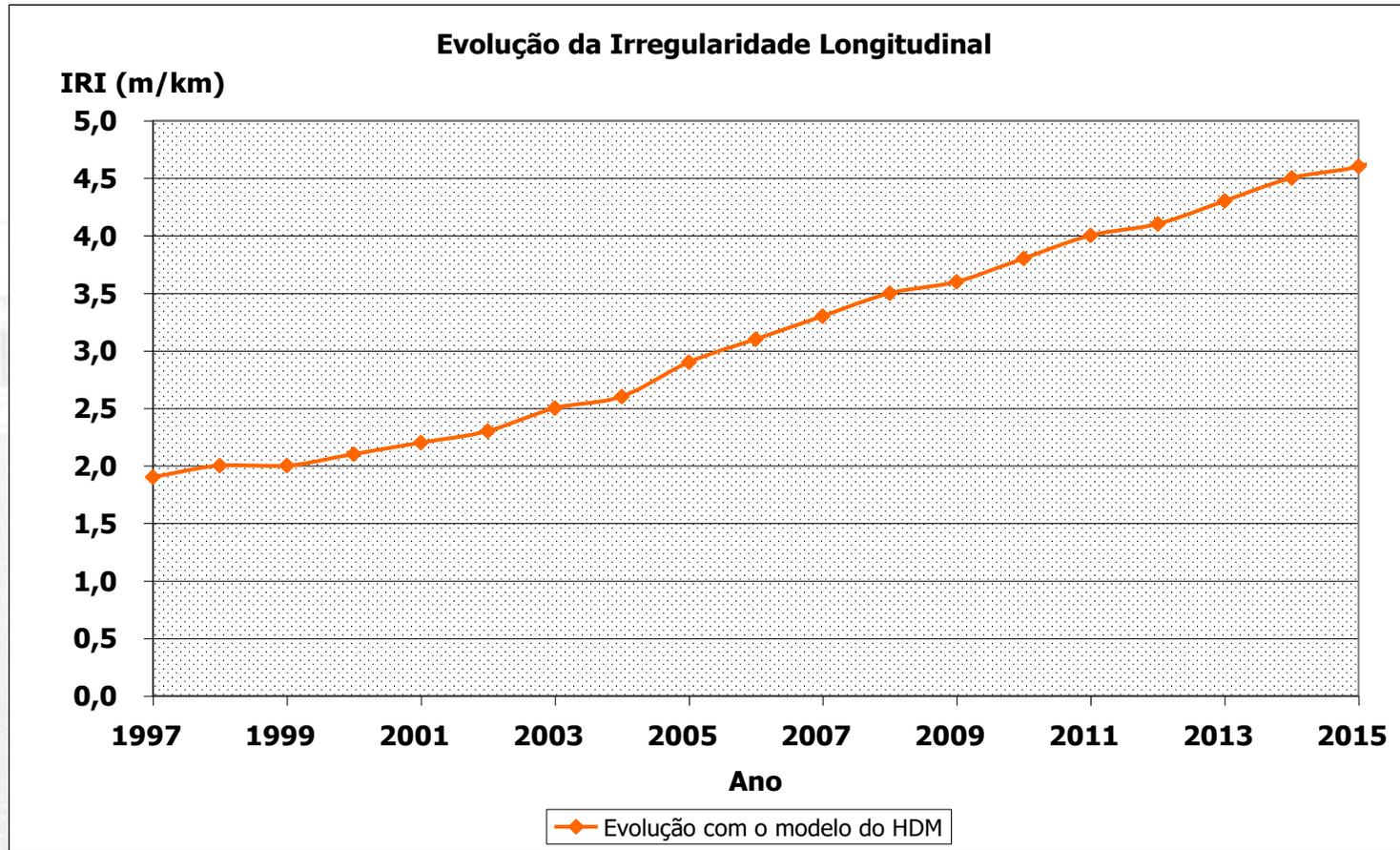
Estudo e Aplicação de Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) Trecho Experimental da Dutra



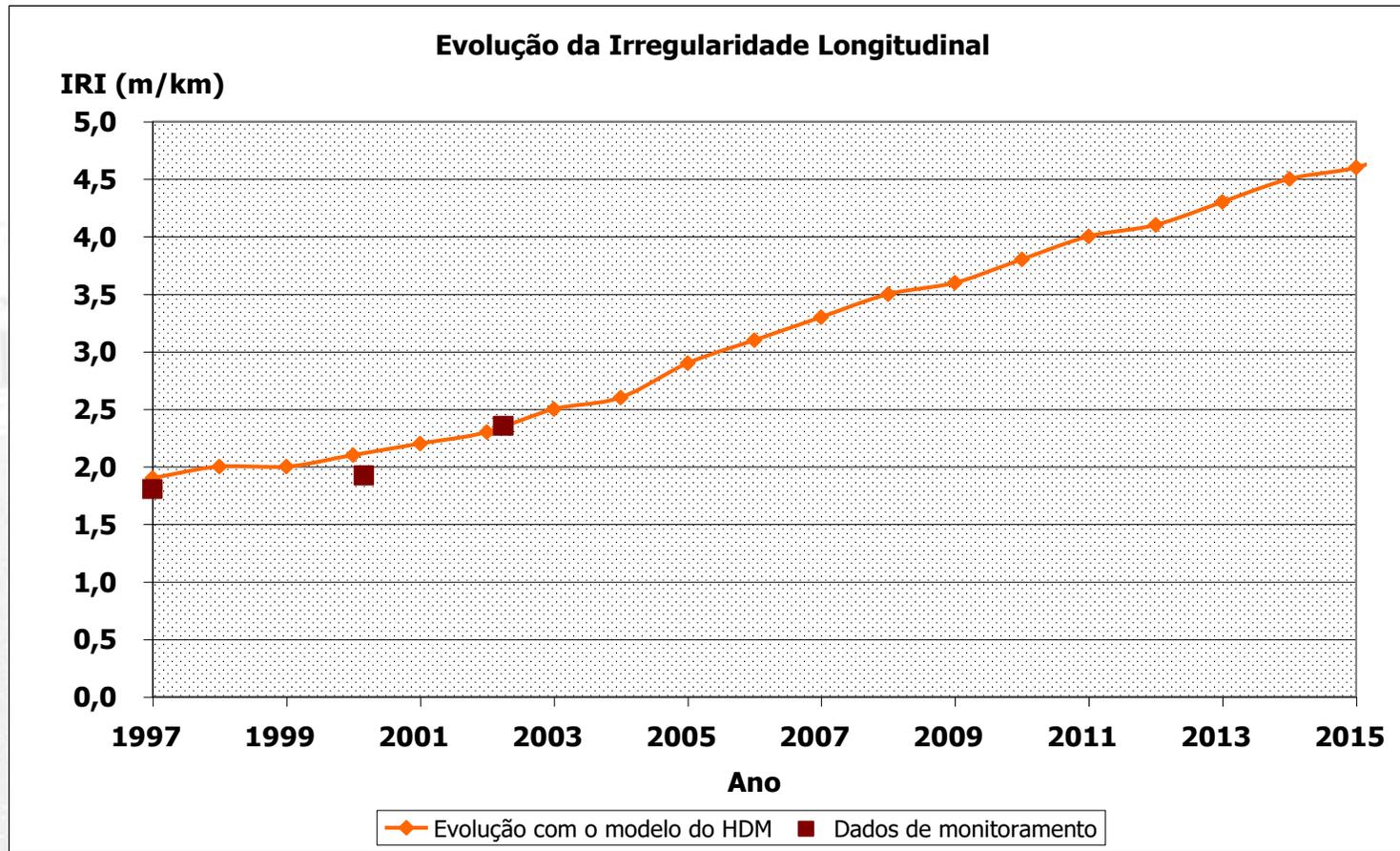
Estudo e Aplicação de Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) Trecho Experimental da Dutra



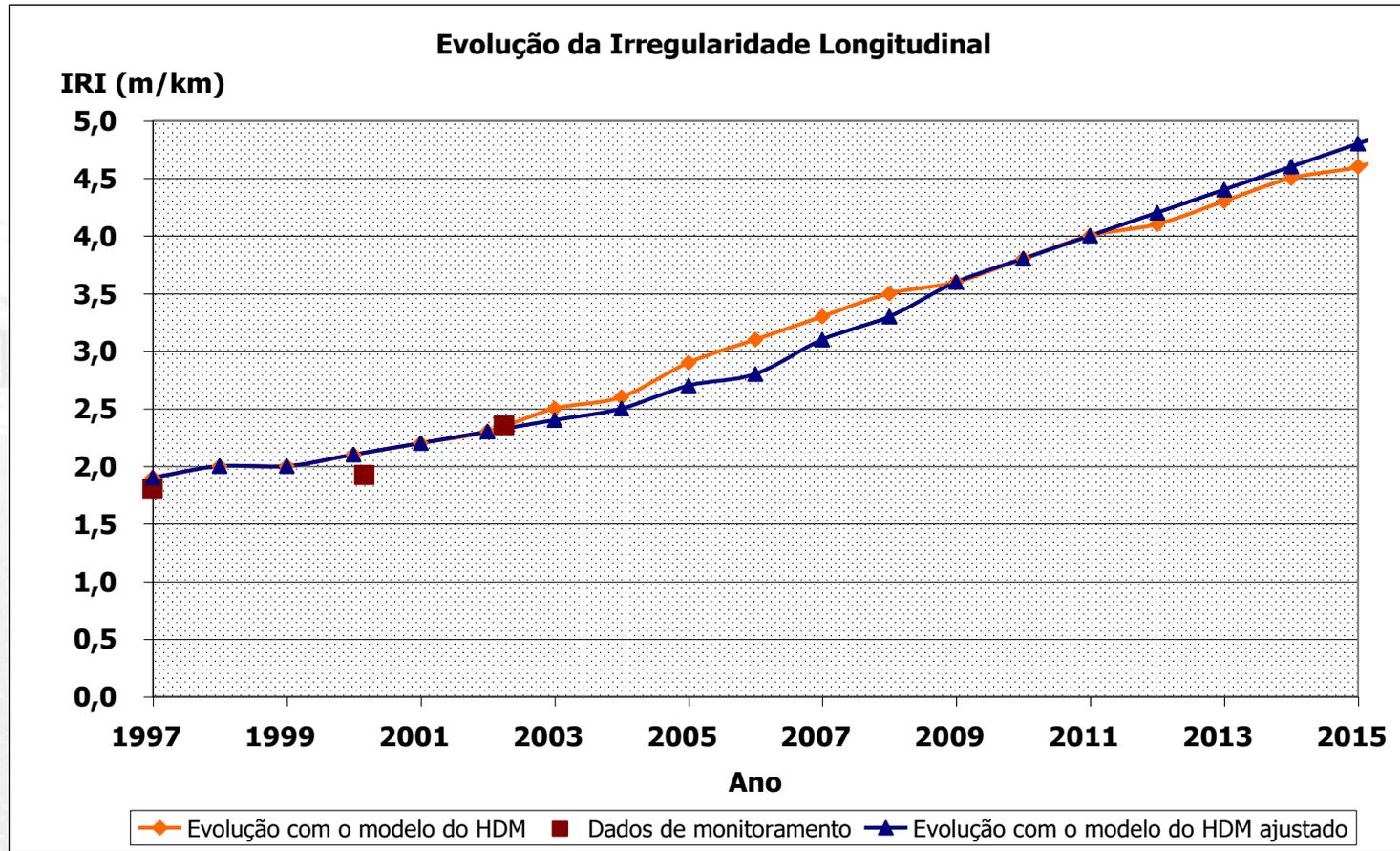
Estudo e Aplicação de Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) Trecho Experimental da Dutra



Estudo e Aplicação de Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) Trecho Experimental da Dutra



Estudo e Aplicação de Micro Revestimento Asfáltico a Frio (MRAF) Trecho Experimental da Dutra



Calibração do HDM-4 realizada pelo DNIT



Fonte: Arango, 2018



Modelagem de Evolução do IGG

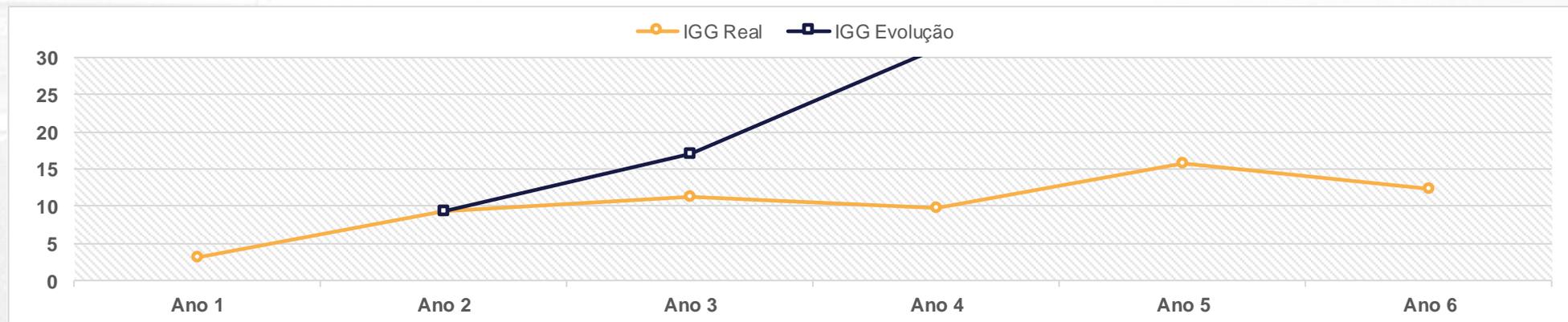
Segmentos Sem Obras					IGG Real						Tráfego
Rodovia	km inicial	km final	Sentido	Faixa	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Nano AASHTO
				2	3,2	9,3	11,4	9,8	15,8	12,2	8,36E+05

K6
K7

1,00
1,00

$$\Delta IGG_t = k_6 \times \left(IGG_{i-1}^{k_7} \times \frac{N_{ano}}{10^6} \right)$$

IGG Evolução						RMS
Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	
	9,3	17,0	31,2	57,3	105,2	263,9



Modelagem de Evolução do IGG

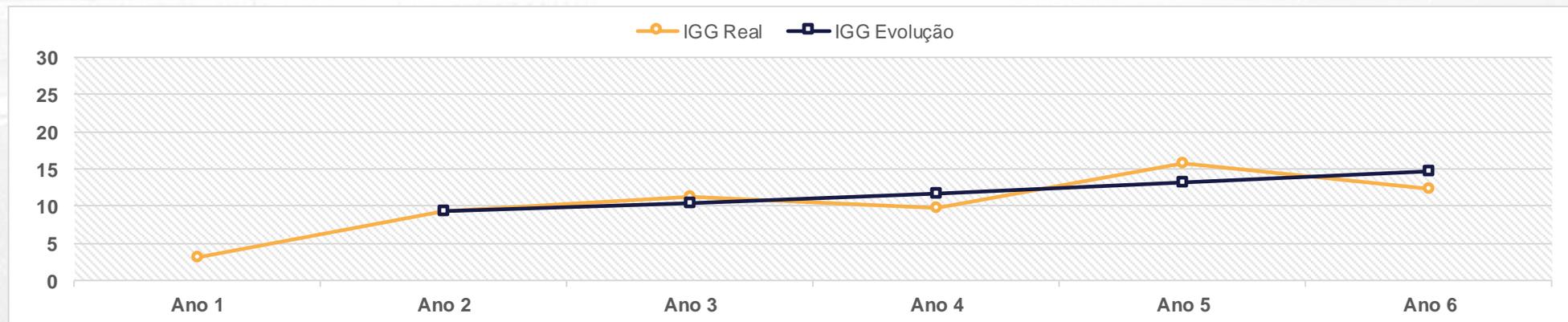
Segmentos Sem Obras					IGG Real						Tráfego
Rodovia	km inicial	km final	Sentido	Faixa	Monit 1	Monit 2	Monit 3	Monit 4	Monit 5	Monit 6	Nano AASHTO
				2	3,2	9,3	11,4	9,8	15,8	12,2	8,36E+05

K6
K7

0,30
0,70

$$\Delta IGG_t = k_6 \times \left(IGG_{t-1}^{k_7} \times \frac{N_{ano}}{10^6} \right)$$

IGG Evolução						RMS
Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	
	9,3	10,5	11,8	13,2	14,7	5,6

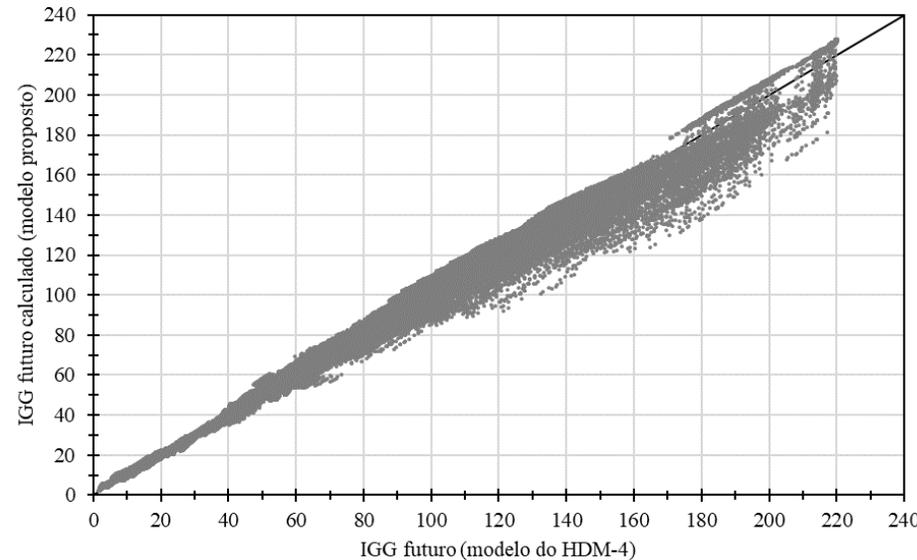


Evolução dos modelos: previsão de IGG

Modelo para determinar a evolução do IGG em pavimentos a partir de simulações de desempenho realizadas no HDM-4

Tabela: Parâmetros variados na análise com HDM

Parâmetro	Níveis
Estrutura	21
Tráfego	9
Condição funcional inicial	12
Clima	5
Idade da última restauração	2



- 98% da variabilidade nos dados foi explicada pelos modelos
- Erro médio quadrático (RMS) de 8,0%
- R^2 de 0,991

Fonte: Chaves et al, 2023

$$IGG_{\text{futuro}} = 1,259 \times IGG_{\text{ano}} + 0,358 \times I_p + 0,008 \times D_0 + 0,669 \times \log N_{\text{AASHTOano}} - 4,518 \quad (IGG_{\leq 40})$$

$$IGG_{\text{futuro}} = 0,960 \times IGG_{\text{ano}} - 0,276 \times I_p + 0,020 \times D_0 + 2,940 \times \log N_{\text{AASHTOano}} - 3,713 \quad (IGG_{>40})$$

Onde: IGG_{futuro} : IGG futuro

IGG_{ano} : IGG atual

I_p : idade do pavimento

D_0 : deflexão [0,01 mm]

$\log N_{\text{AASHTOano}}$ número "N" de solicitações pela metodologia da AASHTO, em log



PTR 3522 Gestão de Pavimentos

Obrigado!!



André Felipe Vale

andre.vale@rrunner.com.br

Caio Raul

caio.raul@rrunner.com.br

Felipe Camargo

felipe.camargo@rrunner.com.br

