

PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

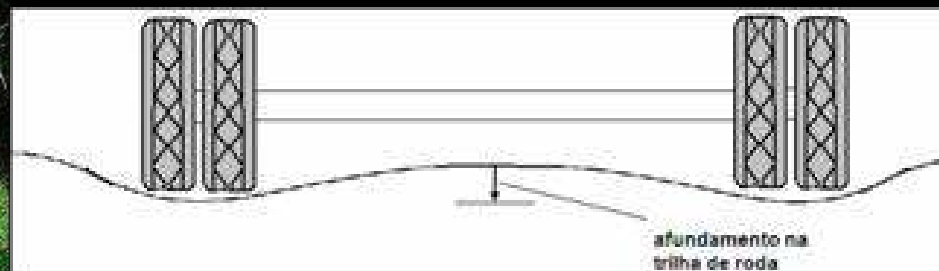
Monitoração e Modelagem de Desempenho

Prof. José Tadeu Balbo
Laboratório de Mecânica de Pavimentos
Universidade de São Paulo



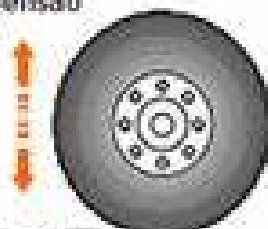
Laboratório de Mecânica de Pavimentos
www.lmp.ptr.usp.br

Monitoração dos Pavimentos



(Balbo, 2007)

deslocamentos
verticais da
suspensão

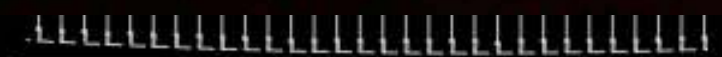


sentido do tráfego

distorções na superfície do
pavimento



Monitoração dos Pavimentos



Laboratório de Mecânica de Pavimentos
www.lmp.ptr.usp.br

Monitoração dos Pavimentos

Processos de aferição periódica de parâmetros funcionais ou estruturais relacionados aos pavimentos que permitem a descrição temporal da evolução do estado desse equipamento, o que é possível de ser correlacionado com tráfego e clima atuantes.
(Balbo, 2007)

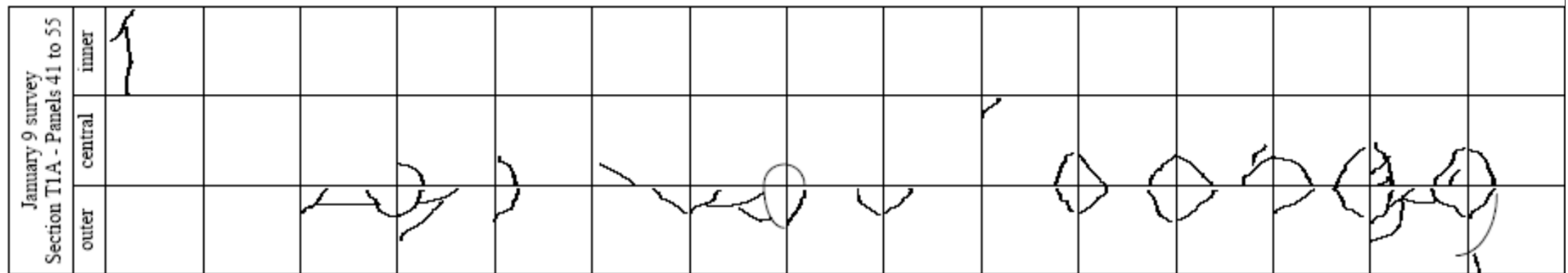
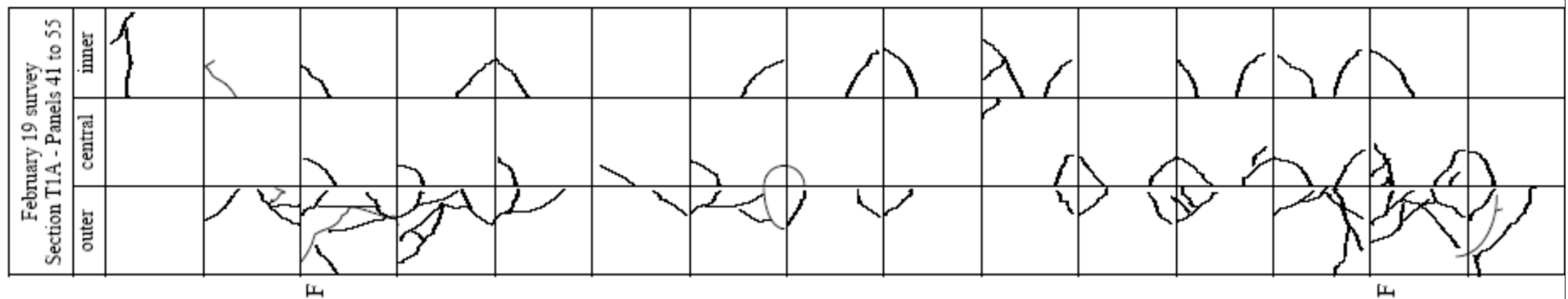


Monitoração dos Pavimentos

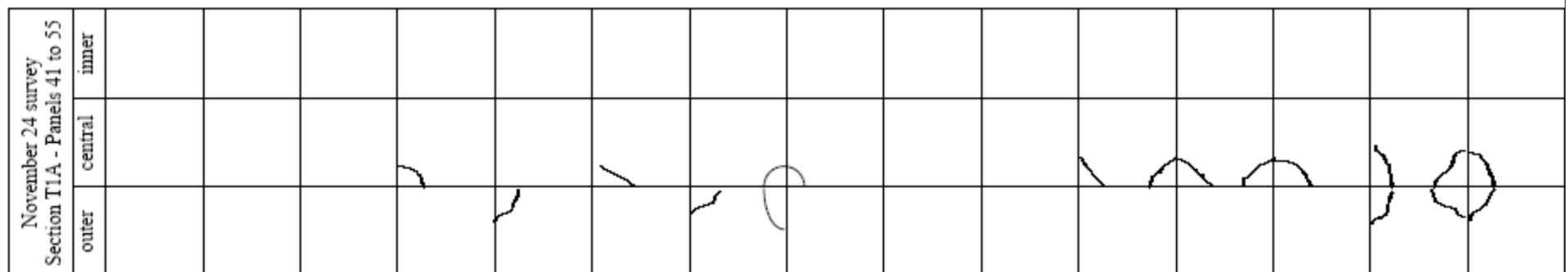


(Balbo, 1999)

Monitoração dos Pavimentos



(Balbo, 2003)



Monitoração dos Pavimentos



Monitoração dos Pavimentos

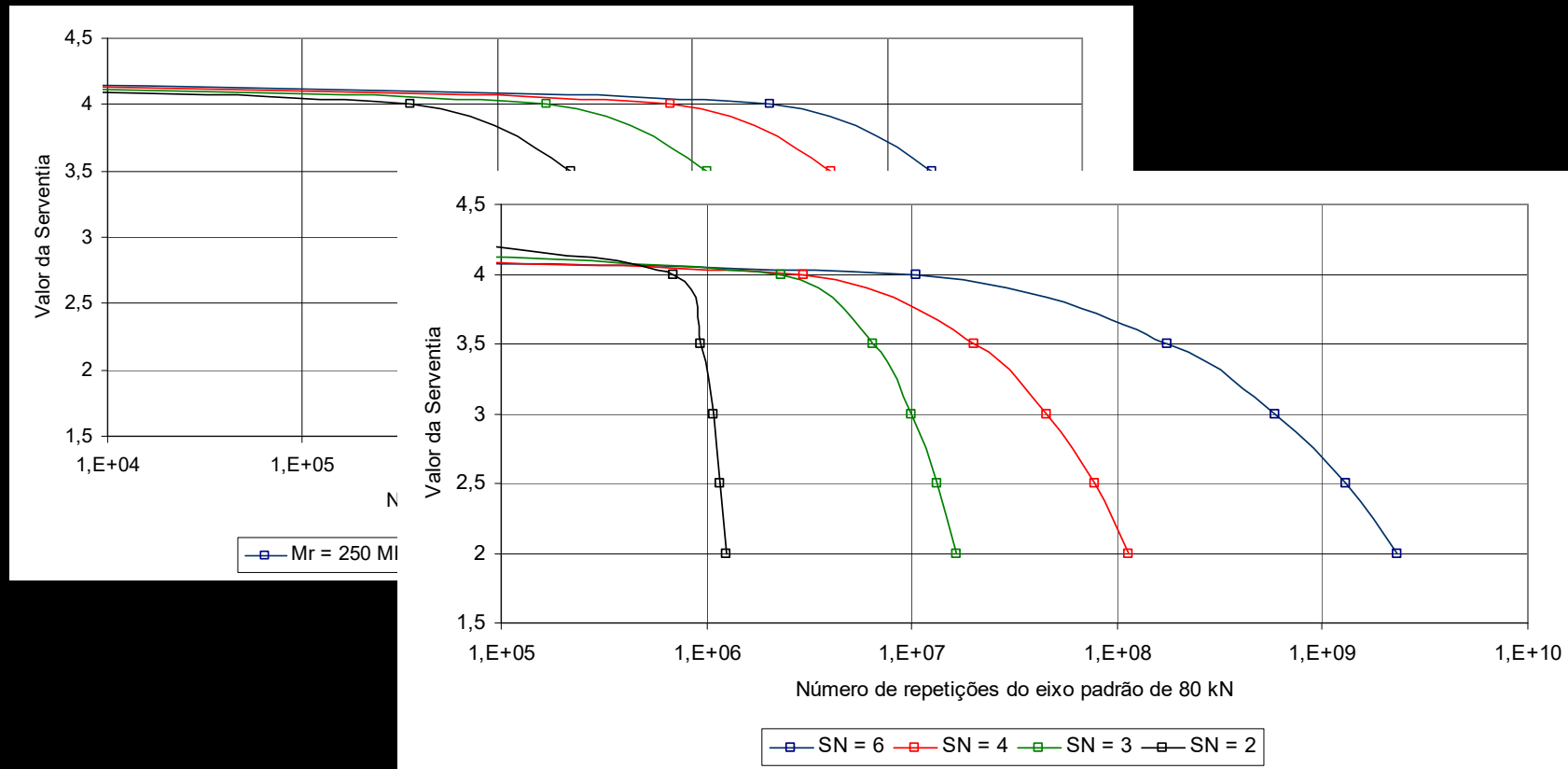
Informação	Detalhes
Temperaturas e Clima	<p>Média no mês de julho = 24,5 °C Média no mês de janeiro = - 2,8 °C Índice pluviométrico anual = 837 mm Profundidade média de congelamento do pavimento = 711 mm</p>
Pistas	<p>Seis <i>circuitos</i> <i>Circuitos</i> 2 a 6 submetidos ao tráfego <i>Circuito</i> 1, apenas para estudo de efeitos do clima</p>
O que se mediu durante os testes	<p>Irregularidade Serventia Defeitos (visualmente) Deflexões Deformações</p>
Tráfego durante os testes	<p>Loop 2 - ESRD com 8,9 kN e 26,7 kN Loop 3 - ESRD com 53,3 kN e ETD com 106,7 kN Loop 4 - ESRD com 80 kN e ETD com 142,2 kN Loop 5 - ESRD com 99,6 kN e ETD com 177,8 kN Loop 6 - ESRD com 133,3 kN e ETD com 213,3 kN</p>

Monitoração dos Pavimentos

Misturas asfálticas	<p><u>Revestimentos</u> em CAUQ com agregado de calcário, areia silicosa natural e cal como material de enchimento, empregando um CAP 80-100. Material dosado pelo ensaio Marshall com 50 golpes por face. O teor de asfalto foi de 5,4% e os vazios em torno de 7,7%.</p> <p><u>Camadas de ligação</u> (binder) em PMQ com agregado de calcário, areia silicosa natural e cal como material de enchimento, empregando um CAP 80-100. Material dosado pelo ensaio Marshall com 50 golpes por face. O teor de asfalto foi de 4,4% e os vazios em torno de 7,7%.</p>
Bases e sub-bases	<p><u>Bases</u> de BGS (principal estudo) com CBR de 107% em laboratório, porém entre 52 e 160% em pistas, umidade variando entre 5,6 e 6,1% e massa específica aparente seca máxima entre 22,42 kN/m³ e 22,75 kN/m³.</p> <p><u>Sub-bases</u> com misturas de areia natural e pedregulhos naturais com CBR entre 28 e 51%, umidade variando entre 6,1 e 6,8% e massa específica aparente seca máxima entre 22,27 kN/m³ e 22,59 kN/m³.</p> <p>Estudos secundários com bases tratadas com asfalto e com cimento e também com pedregulho não britado.</p>
Subleito na área total das pistas	<p>A CFT foi construída em um metro de espessura com solo tipo A-6 (HRB-AASHO), LL de 31%, IP de 16% e umidade de compactação de 13%, com CBR variando entre 1,9 e 3,5% e grau de compactação de 98%.</p>

Monitoração dos Pavimentos

$$\log_{10} N = Z_r \times S_0 + 9,36 \times \log_{10} (SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \frac{p_0 - p_t}{p_0 - 1,5}}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1) \times 5,19}} + 2,32 \times \log_{10} M_r - 8,07$$



Modelagem de Desempenho

$$\%TRINCAS = f (TRÁFEGO, DEFLEXÃO, CLIMA, ESPESSURA)$$

$$IRI = f (TRÁFEGO, DEFLEXÃO, CLIMA, IRI_{inicial}, ESPESSURA)$$

Os principais modelos determinísticos existentes quanto a irregularidade longitudinal e ao defeito superficial (trincamento) serão apresentados segundo a divisão proposta por Prozzi (2001), ou seja, os modelos existentes pertencem a quatro grupos principais:

- Modelos lineares baseados em dados experimentais;
- Modelos lineares baseados em dados de campo;
- Modelos lineares baseados em dados de campo e em princípios mecanicistas;
- Modelos não lineares baseados em dados de campo.

São modelos de natureza essencialmente empírica (observacional)

Monitoração dos Pavimentos

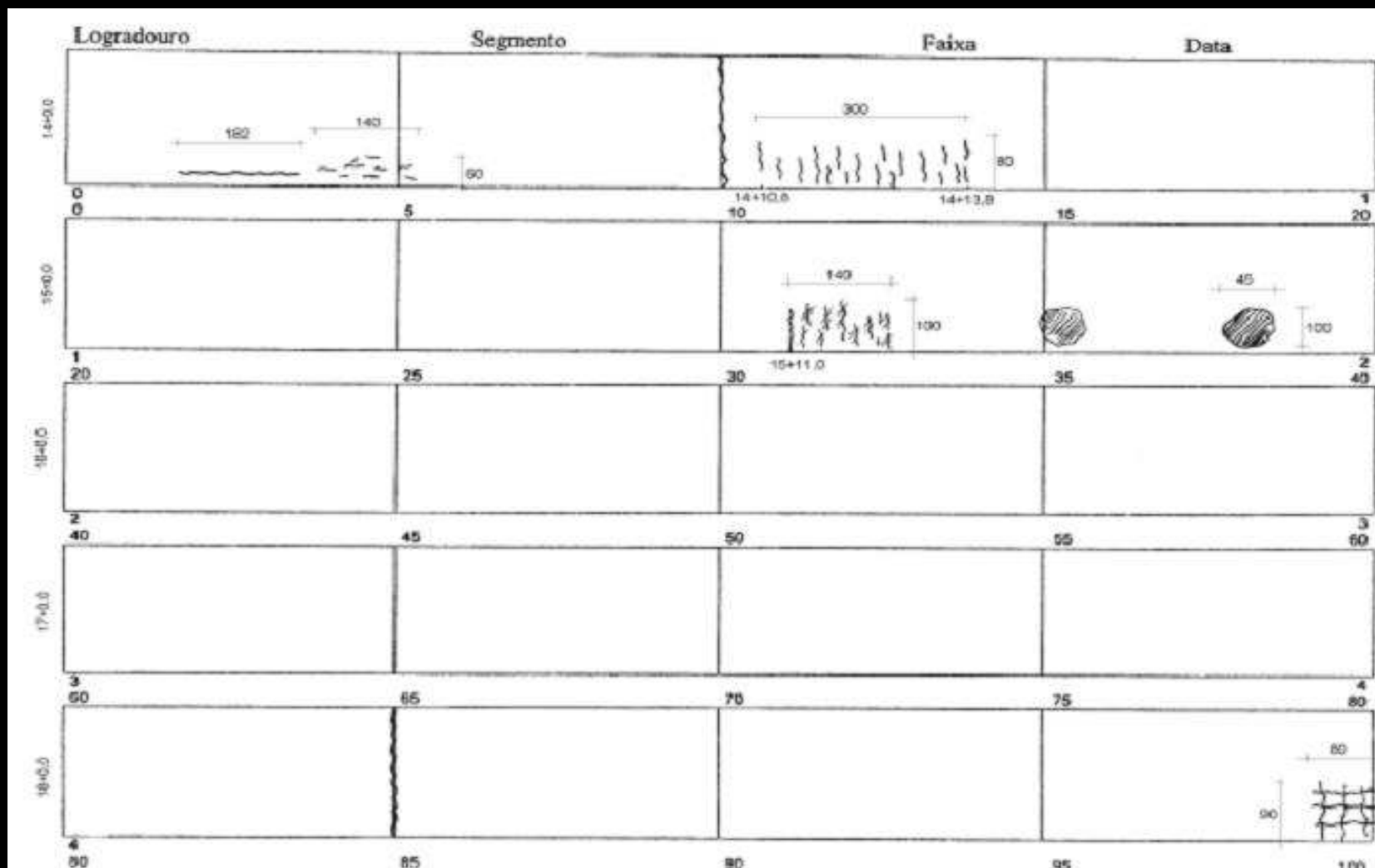
Localização das áreas (segmentos de monitoração)
Av. dos Bandeirantes, São Paulo, abril de 2002
(Nakahara, 2006)

SEÇÃO	Nº	SERVIÇO	Faixa	EXTENSÃO (m)
1	1	Rodovia dos Imigrantes	Direita	100,0
	8	Rodovia dos Imigrantes	Central Direita	100,0
2	2	Rodovia dos Imigrantes	Direita	100,0
	9	Rodovia dos Imigrantes	Central Direita	100,0
3	3	Rodovia dos Imigrantes	Direita	100,0
	10	Rodovia dos Imigrantes	Central Direita	100,0
4	4	Rodovia dos Imigrantes	Direita	100,0
5	11	Rodovia dos Imigrantes	Central Direita	100,0
5a	5	Rodovia dos Imigrantes	Direita	100,0
	12	Rodovia dos Imigrantes	Central Direita	100,0
6	6	Rodovia dos Imigrantes	Direita	100,0
	13	Rodovia dos Imigrantes	Central Direita	100,0
6a	7	Rodovia dos Imigrantes	Direita	100,0
	14	Rodovia dos Imigrantes	Central Direita	100,0
7	15	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	23	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0
7B	16	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	24	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0
7Bb	17	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	25	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0
7Bc	18	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	26	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0
7Bd	19	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	27	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0
8	20	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	28	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0
9	21	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	29	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0
10	22	Marginal Pinheiros	Direita	100,0
	30	Marginal Pinheiros	Central Direita	100,0



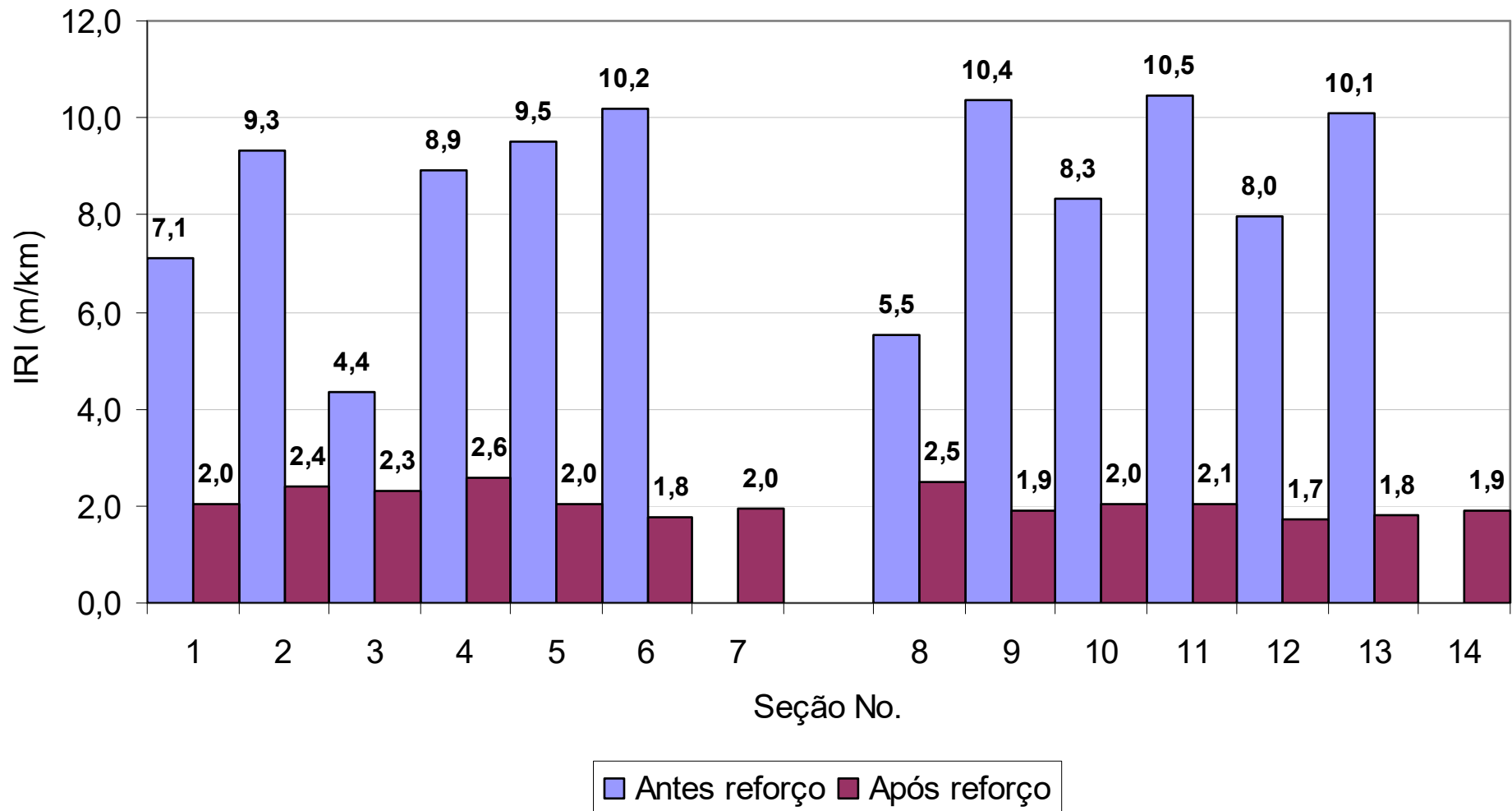
Monitoração dos Pavimentos

Padrões dos segmentos de monitoração
Av. dos Bandeirantes, São Paulo, abril de 2002
(Nakahara, 2006)

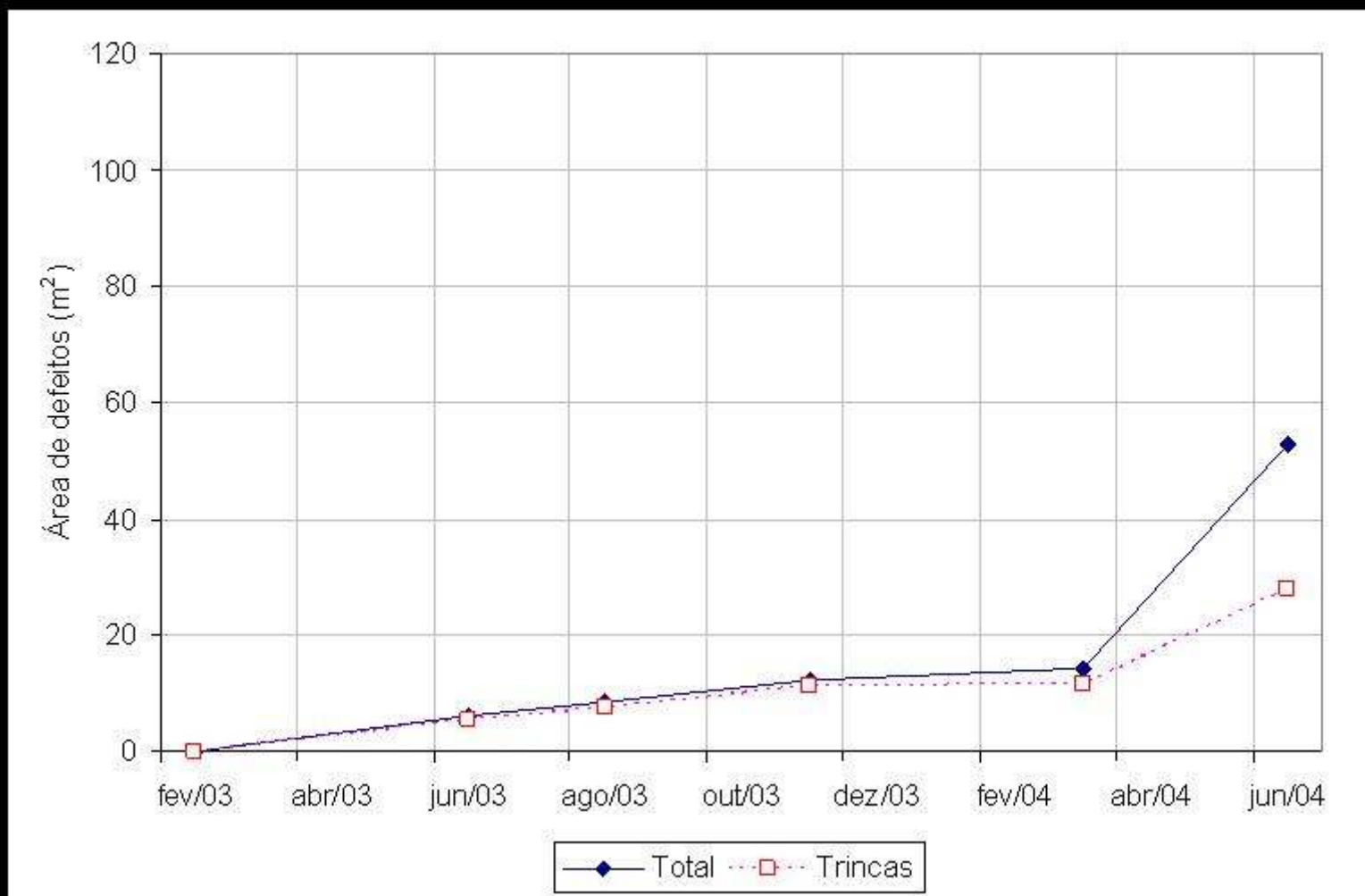


Monitoração dos Pavimentos

Alteração do IRI após Recapeamento (sentido Imigrantes)
Av. dos Bandeirantes, São Paulo, abril de 2002
(Nakahara, 2006)



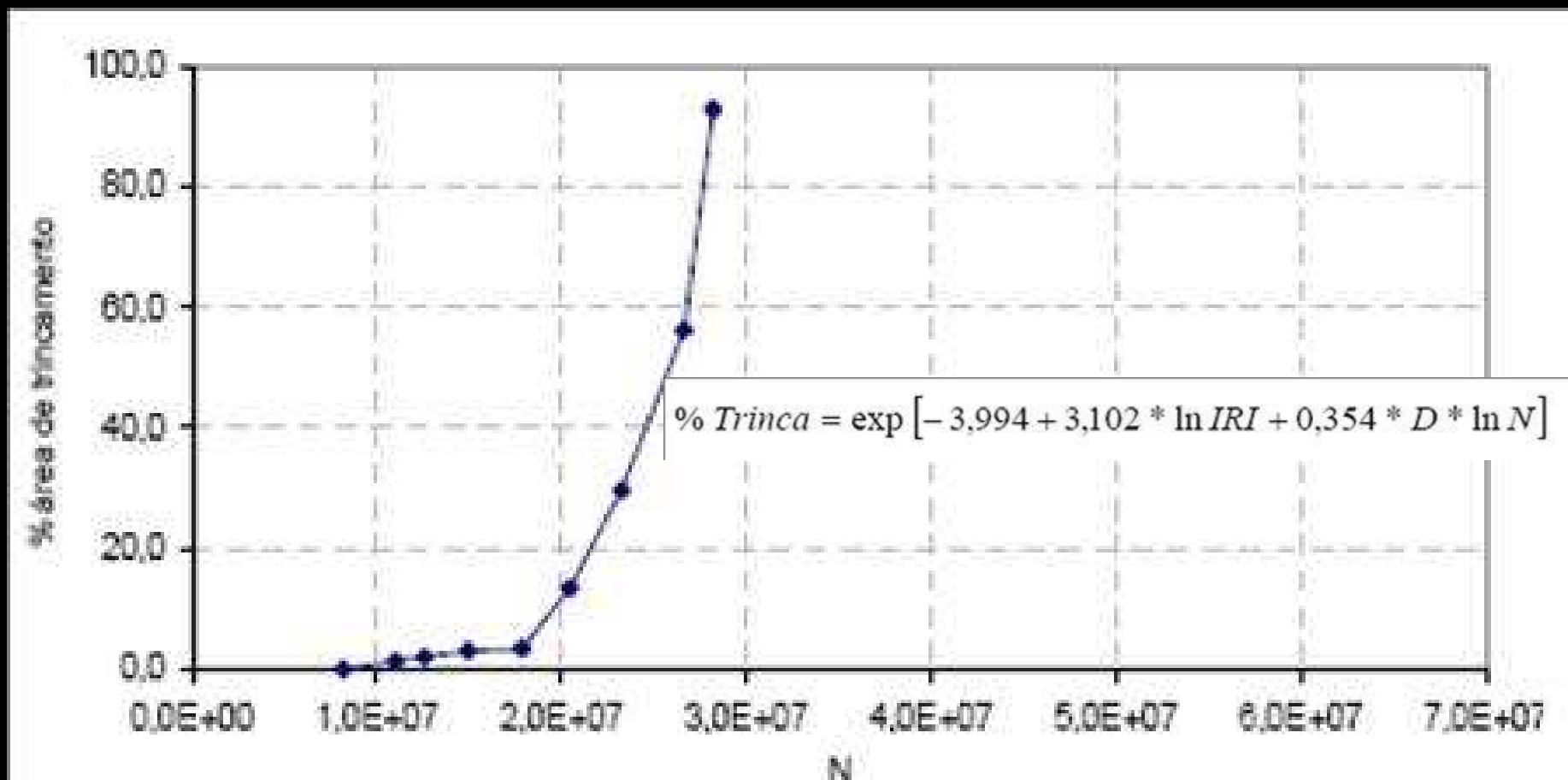
Monitoração dos Pavimentos



Evolução de área com defeitos
Av. dos Bandeirantes, São Paulo, 2002 a 2004
(Nakahara, 2006)

Laboratório de Mecânica de Pavimentos
www.lmp.ptr.usp.br

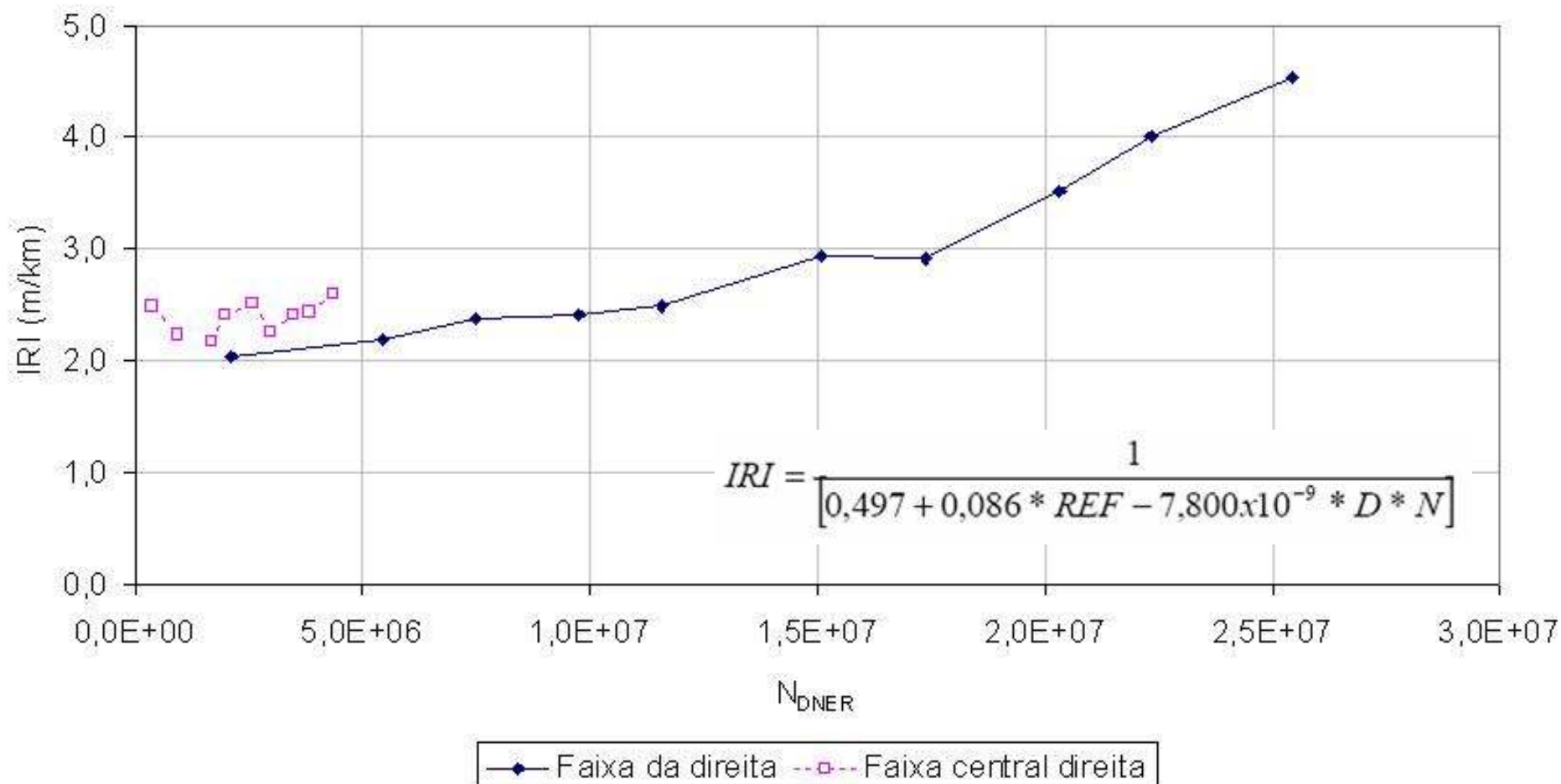
Monitoração dos Pavimentos



**Evolução da % de área com Trincas na Seção 1
Av. dos Bandeirantes, São Paulo, 2002 a 2004
(Nakahara, 2006)**

Laboratório de Mecânica de Pavimentos
www.lmp.ptr.usp.br

Monitoração dos Pavimentos

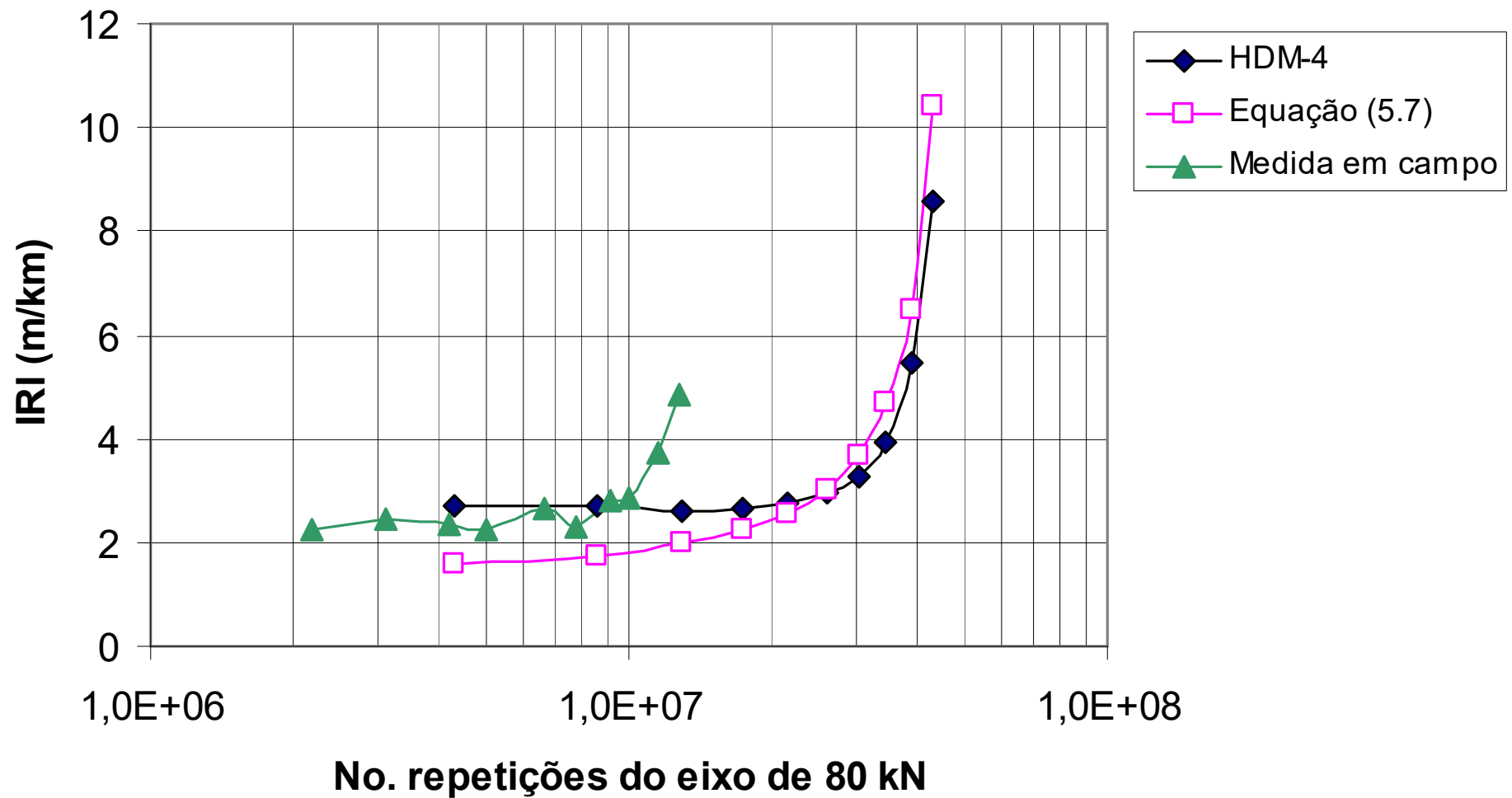


Evolução de Irregularidade Longitudinal (IRI)

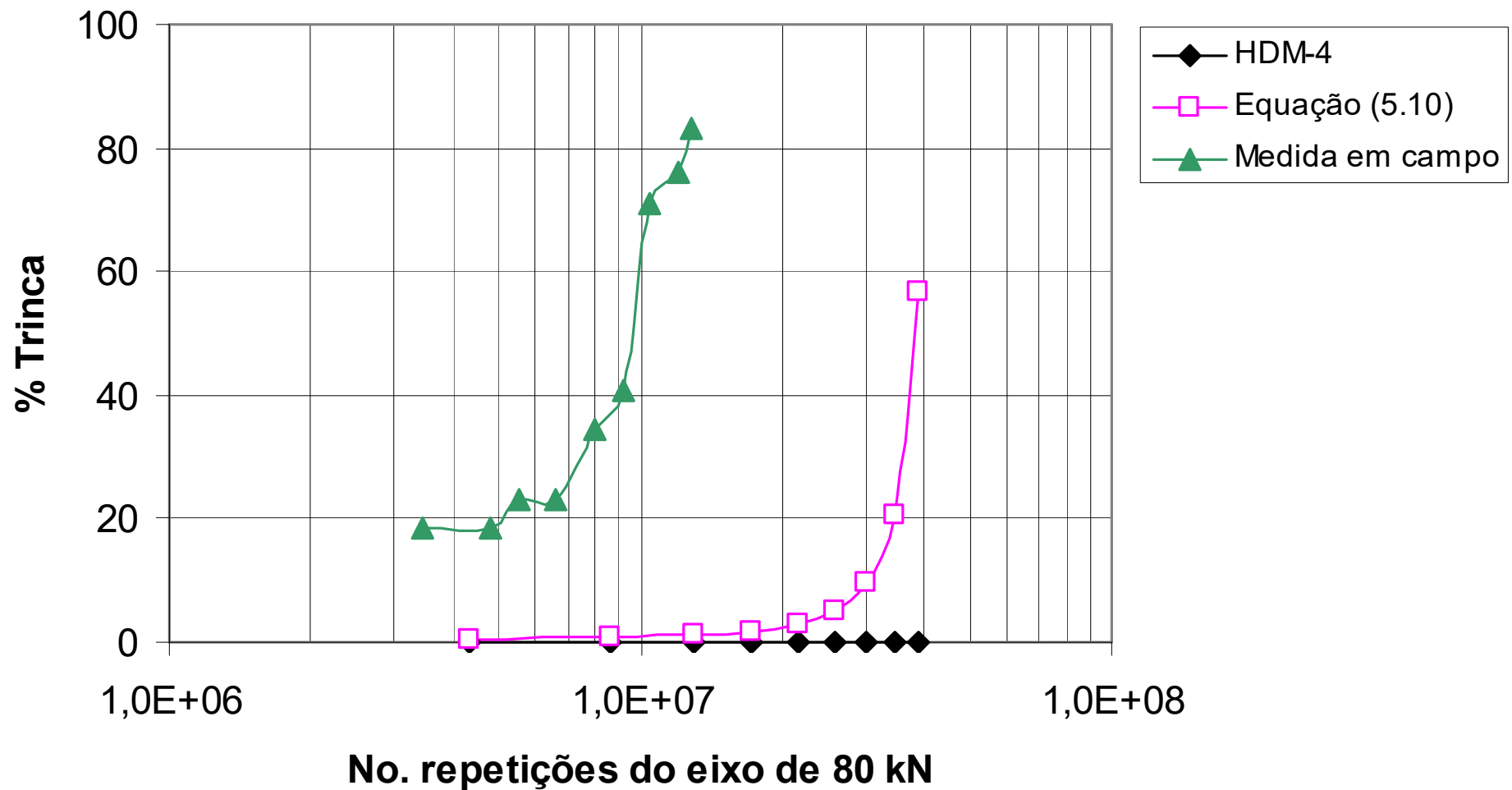
Av. dos Bandeirantes, São Paulo, 2002 a 2004

(Nakahara, 2006)

Monitoração dos Pavimentos



Monitoração dos Pavimentos



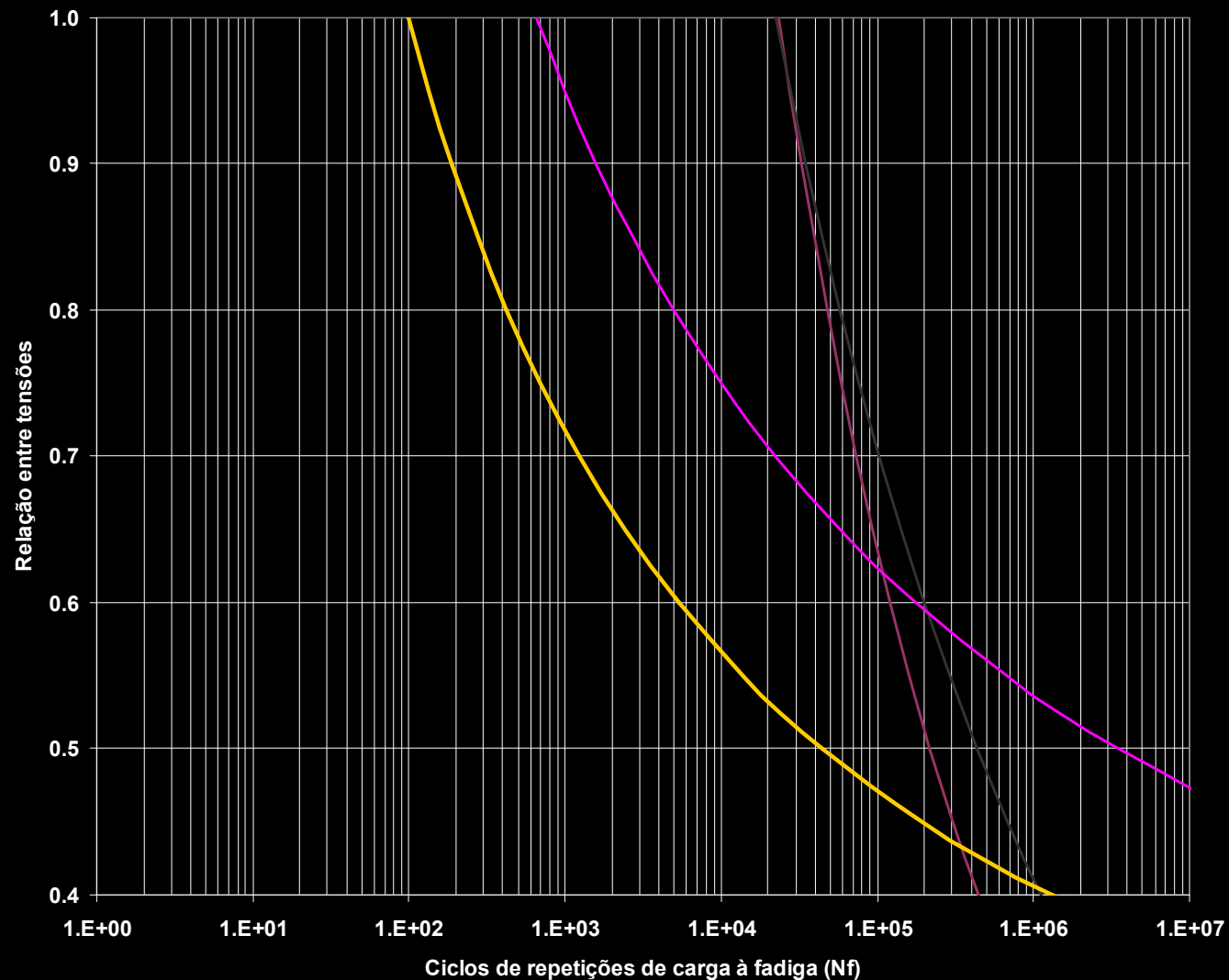
Monitoração dos Pavimentos

Modelos de Previsão de Trincas, Escalonamento entre Placas e de Evolução da Irregularidade em PCS

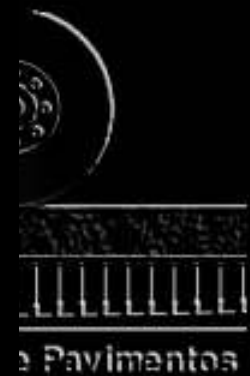


Monitoração dos Pavimentos

Modelos (semi-empíricos) de Previsão de Trincas por Fadiga



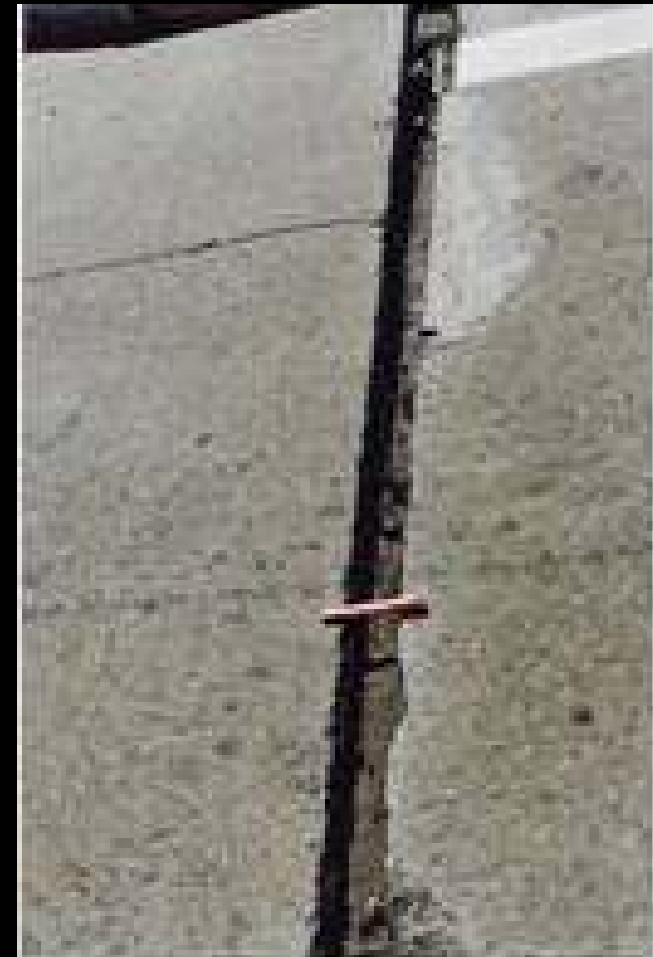
— Modelo ARE - AASHTO (1977) — Modelo RISC - AASHTO (1983) — NCHRP — AASHTO 2002



Pavimentos

Monitoração dos Pavimentos

Escalonamento entre Placas



www.lmp.ptr.usp.br

LLI
tos

Monitoração dos Pavimentos

Escalonamento entre Placas

Com barras de transferência de cargas

$$FAULT = \sqrt[4]{N} \cdot \left[0,0238 + 0,0006 \cdot \left(\frac{JT}{10} \right)^2 + 0,0037 \cdot \left(\frac{100}{k} \right)^2 + 0,0039 \cdot \left(\frac{AGE}{10} \right)^2 - 0,0037 \cdot SHOU - 0,0218 \cdot \Phi_{BT} \right]$$

Sem barras de transferência de cargas

$$FAULT = \sqrt[4]{N} \cdot \left[-0,0757 + 0,0251 \cdot \sqrt{AGE} + 0,0013 \cdot \left(\frac{P}{10} \right)^2 + 0,0012 \cdot \left(\frac{IF \cdot P}{1000} \right) - 0,0378 \cdot D \right]$$



Laboratório de Mecânica de Pavimentos
www.lmp.ptr.usp.br

Monitoração dos Pavimentos

Escalonamento entre Placas

FAULT = escalonamento em polegadas;

N = número de repetições de carga do eixo padrão (ESRD) de 80 kN;

JT = espaçamento entre juntas transversais em pés;

k = módulo de reação do subleito estático em libras por polegada cúbica;

AGE = idade do pavimento em anos;

SHOU = 1 se o acostamento é de concreto e existem barras de ligação; 0 se qualquer outro;

Φ BT = diâmetro da barra de transferência de carga;

P = precipitação média anual em polegadas;

IF = índice de congelamento médio em graus F por dia;

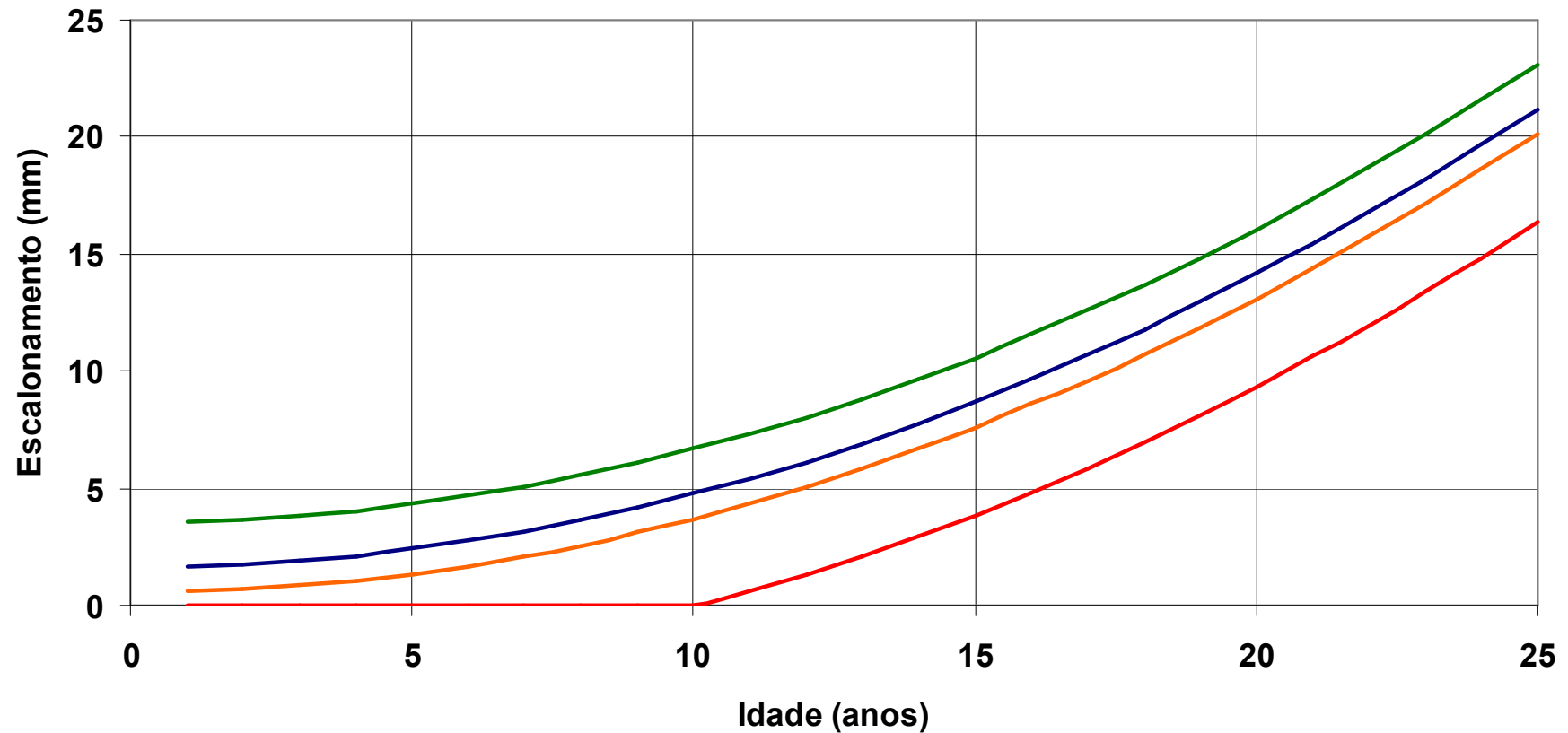
D = 1 se o pavimento possui drenos longitudinais; 0 em contrário.



Laboratório de Mecânica de Pavimentos
www.lmp.ptr.usp.br

Monitoração dos Pavimentos

Escalonamento entre Placas



— BT=25 mm; k=40 MPa/m; acostamento em CCP com BL — BT=32 mm; k=40 MPa/m; acostamento em CCP com BL
— BT=25 mm; k=80 MPa/m; acostamento em CCP com BL — BT=25 mm; k=40 MPa/m; acostamento asfáltico

Monitoração dos Pavimentos

Evolução da Irregularidade (IRI)

$$IRI = 141 + 0,849 \cdot AGE + 0,347 \cdot P + 1390 \cdot \frac{1}{k} + 21,2 \cdot T + 15,1 \cdot SHOU$$

Índice Internacional de Irregularidade (IRI, na denominação original)
idade do pavimento (AGE)

índice pluviométrico médio anual (P)

módulo de reação do subleito estático (k)

espessura da placa de concreto (T)

condições do acostamento (SHOU)



Monitoração dos Pavimentos

Evolução do Índice de Condição do Pavimento (ICP)

O USACE (1982) desenvolveu uma carta para a determinação da taxa de degradação atual de um pavimento de concreto simples com base no valor do PCI. Este modelo foi desenvolvido após dezenas de avaliações de pavimentos de aeroportos civis e militares bem como de rodovias e vias urbanas

Observe-se que tal carta, determinada com base no desempenho de diversos pavimentos de concreto, presta-se para a determinação da taxa de degradação do pavimento em função de sua idade, conhecido seu PCI. Assim sendo, é uma forma de determinação também de seu desempenho, que se apresentaria normal (próximo à média) entre as duas curvas fornecidas, acima do esperado se o par (PCI, idade) posiciona-se acima da curva superior e abaixo do esperado quando se posiciona abaixo da curva inferior.)

Monitoração dos Pavimentos

Evolução do Índice de Condição do Pavimento (ICP)

