

Estradas de Concreto: Uma Escolha Inteligente e Sustentável



TECNOLOGIA DO PAVIMENTO DE CONCRETO

Eng^o Rubens Curti

Concreto simples

- **Definição**
- **Utilização**
- **Vantagens**
- **Materiais**
- **Controle tecnológico**
- **Texturização**
- **Cura**
- **Perfilógrafo**



Definição

Concreto Simples (C.S.) concreto com consumo de cimento relativamente alto, baixa relação água/cimento e elevada resistência à tração na flexão, à compressão e à abrasão, com ou sem armadura distribuída, estrutural.

Utilizado como base e revestimento do pavimento, sendo ao mesmo tempo camada estrutural e de rolamento.

Utilização

Utilizado como base e revestimento do pavimento, sendo ao mesmo tempo camada estrutural e de rolamento.

Vantagens

TRADIÇÃO NO BRASIL;

- Não promove aquaplanagem;
- Melhor visibilidade por reflexão;
- Economia de energia elétrica;
- Grande durabilidade com pouca manutenção;
- Não sofre deformação plástica, buracos;
- Menor distância de frenagem;
- Economia de combustíveis;
- Menor absorção de calor;
- Conforto de rolamento;
- Custo de construção competitivo;
- Execução por modernas técnicas;
- Vantagens ambientais do concreto.

Materiais

- **Cimento portland (I, II, III, IV ou V) – ABNT NBR 16697:2018**
- **Agregado graúdo**
- **Agregado miúdo**
- **Água**
- **Aditivo redutor de água (plastificante)**
- **Adições minerais ativas**
- **Fibras**

Agregado miúdo (natural ou artificial)

- **Deve atender à ABNT NBR 7211:**
 - **Torrões de argila $\leq 1,5\%$** **(ABNT NBR 7218)**
 - **Material pulverulento $\leq 3\%$, admitindo-se até 5 % quando se tratar de areia artificial** **(ABNT NBR NM 46)**
 - **Materiais carbonosos $\leq 1\%$** **(ASTM C 123)**
 - **Impurezas orgânicas < 300 p.p.m.** **(ABNT NBR NM 49)**
 - **Caso não se atenda a esse requisito, realizar o ensaio de qualidade de agregado miúdo.** **(ABNT NBR 7221)**
 - **Granulometria** **(ABNT NBR NM 248)**

Agregado graúdo (seixo rolado ou pedra britada)

- Deve atender à ABNT NBR 7211:
 - Torrões de argila $\leq 2\%$ (ABNT NBR 7218)
 - Material pulverulento $\leq 1\%$ (ABNT NBR NM 46)
 - Materiais carbonosos $\leq 1\%$ (ASTM C 123)
 - Abrasão “Los Angeles” $\leq 50\%$ (ABNT NBR NM 51)
 - Índice de forma dos grãos ≤ 3 (ABNT NBR 7809)
 - Granulometria – limites (ABNT NBR NM 248)
- Dimensão máxima entre $1/4$ e $1/5$ da espessura da placa e inferior a 50 mm

Água de amassamento

Substâncias	ABNT NBR 15900
Sólidos totais	< 50000 mg/L
pH	≥ 5,0
Sulfatos, expresso em SO_4^{2-}	< 2000 mg/L
Álcalis, equivalente alcalino	1500 mg/L
Cloretos, expresso Cl	≤ 500 mg/L
Açúcar	≤ 100 mg/L
Fosfato, expresso em P_2O_5	≤ 100mg/L
Nitrato, expresso em NO_3	≤ 100mg/L
Chumbo, expresso em Pb^{2+}	≤ 100mg/L
Zinco, expresso em Zn^{2+}	≤ 100mg/L

Controle tecnológico

- **Na usina de concreto (laboratório)**
- **Na pista**

Controle tecnológico

- **Amostragem dos materiais** (laboratório)
- **Controle de produção** (pista)
- **Consistência** (laboratório e pista)
- **Resistência à tração na flexão** (pista)
- **Resistência à compressão axial** (pista)
- **Texturização** (pista)
- **Cura** (pista)
- **Conforto de rolamento** (pista)

Recebimento do concreto

No recebimento do concreto, alguns procedimentos são necessários:

- **Verificar a documentação de entrega, conferindo as características indicadas no projeto e contratadas junto a empresa de serviço de concretagem.**
- **Amostragem do concreto fresco – ABNT NBR NM 33:1998;**
- **Medir a consistência do concreto fresco pelo ensaio de abatimento, conforme a ABNT NBR NM 67;**
- **Moldagem dos corpos de prova conforme a ABNT NBR 5738:2015**



Consistência pelo abatimento do tronco de cone correlacionado com alguns equipamentos

■ Critério de aceitação:

- Consistência estabelecida na dosagem em laboratório e adequada para o equipamento:

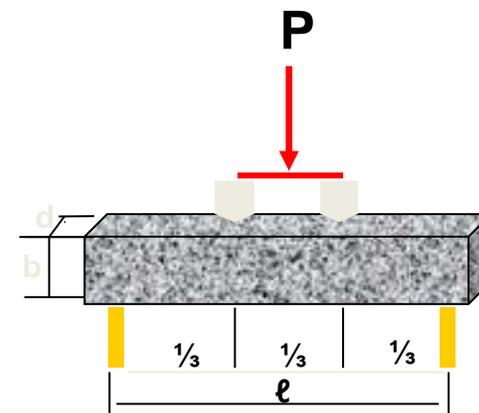
– CMI 3004:	30 ± 10 mm
– Wirtgen 850	20 ± 10 mm
– GP 2600:	40 ± 10 mm
– Comander III:	40 ± 10 mm
– C 450:	60 ± 10 mm
– Régua vibratória:	70 ± 10 mm

Resistência à tração na flexão

- **Amostragem:**
 - Lote não maior que 500 m³ e nem corresponder à uma área concretada com mais de 2500 m².
 - 32 exemplares de 2 corpos-de-prova prismáticos cada, por lote
- **Ensaio:** ABNT NBR 5738:2015 (moldagem)
ABNT NBR 12142:2010 (ensaio)
- **Molde:** prismático 15 X 15 X 50 cm
ou
10 X 10 X 40 cm



Ensaio de tração na flexão

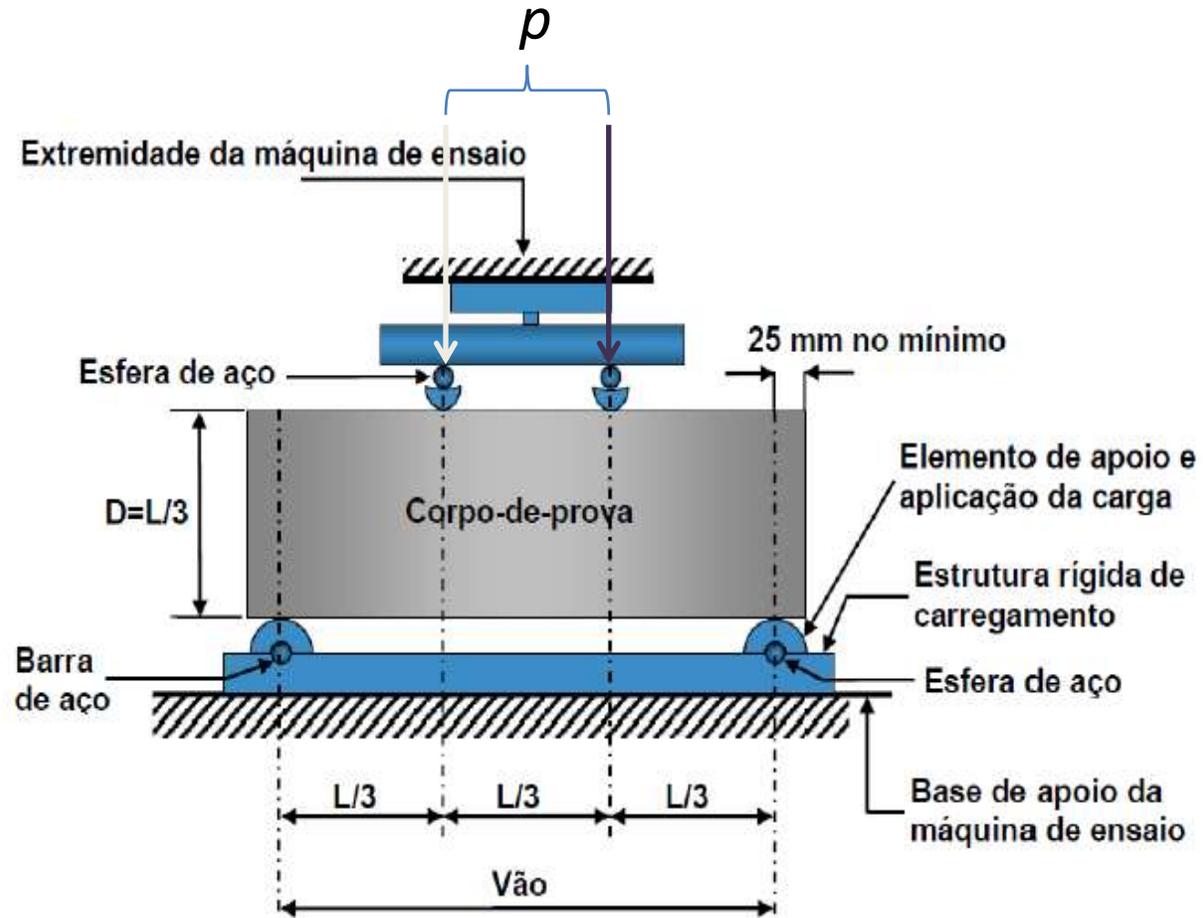


$$f_{ctM} = \frac{pl}{bd^2}$$

p = carga máxima aplicada, N
 l = distância entre apoios, mm
 d = largura média na seção de ruptura, mm
 b = altura média na seção de ruptura, mm

ABNT NBR 12142

Resistência à tração na flexão



$$f_{ctM} = \frac{pl}{bd^2}$$



ABNT NBR 12142

Resistência à tração na flexão

Critério de aceitação segundo DNIT 049/2013-ES

- Aceitação automática  $f_{ctMk,est} \geq f_{ctM,k}$

$$f_{ctMk,est} = f_{ctM,j} - kS$$

- $f_{ctM,k}$ = resistência característica do concreto à tração na flexão;
- $f_{ctMk,est}$ = resistência característica estimada do concreto à tração na flexão;
- $f_{ctM,j}$ = resistência média do concreto à tração na flexão na idade de j dias;
- k = coeficiente de distribuição de Student que varia de acordo com o número de exemplares (*6 a 32 exemplares*);
- S = desvio padrão.

Resistência à Tração na Flexão

■ Rejeição:

- Extração de 6 testemunhos prismáticos para cada 1000m² (testemunhos prismáticos - ABNT NBR 7680-2)
- Ou extração de testemunhos cilíndricos. **Quando aprovado pela fiscalização**, usar a curva de correlação entre a resistência à tração na flexão x resistência à compressão

■ Nova rejeição:

- Revisão do projeto
- Demolição e reconstrução
- Reforço

Resistência à Compressão

Utilizável apenas após obtenção de correlação confiável entre $f_{ctm,j}$ e $f_{c,j}$ e aprovação da fiscalização

- **Amostragem:**
 - Lote de 1000m³
 - 32 exemplares de 2 corpos-de-prova cilíndricos cada, por lote
- **Ensaio: ABNT NBR 5738 (moldagem) e ABNT NBR 5739 (ensaio)**
 - Molde cilíndrico de 15 x 30 cm ou 10 x 20 cm
- **Critério de aceitação:**
 - $f_{ck,est} \geq f_{ck}$

Nota: O $f_{ck,est}$ é determinado conforme o que estabelece a ABNT NBR 12655

Correlação da resistência à compressão X resistência à tração na flexão



Resistência à compressão

Para cada lote, os exemplares devem ser coletados aleatoriamente durante a operação de concretagem



Os corpos de prova devem ser moldados conforme o que estabelece a ABNT NBR 5738:2015 e podem ter as seguintes dimensões : 10 x 20 cm ou 15 x 30 cm (mais usuais).



**Novo método de
moldagem de corpos
de prova??????**

Tratamentos dos corpos de prova após a desforma



Câmara úmida



Retífica



Tanque de imersão



Capeamento

Determinação da resistência á compressão



Corpos de prova tratados com retifica ou capeados com enxofre.

ABNT NBR 5739:2009

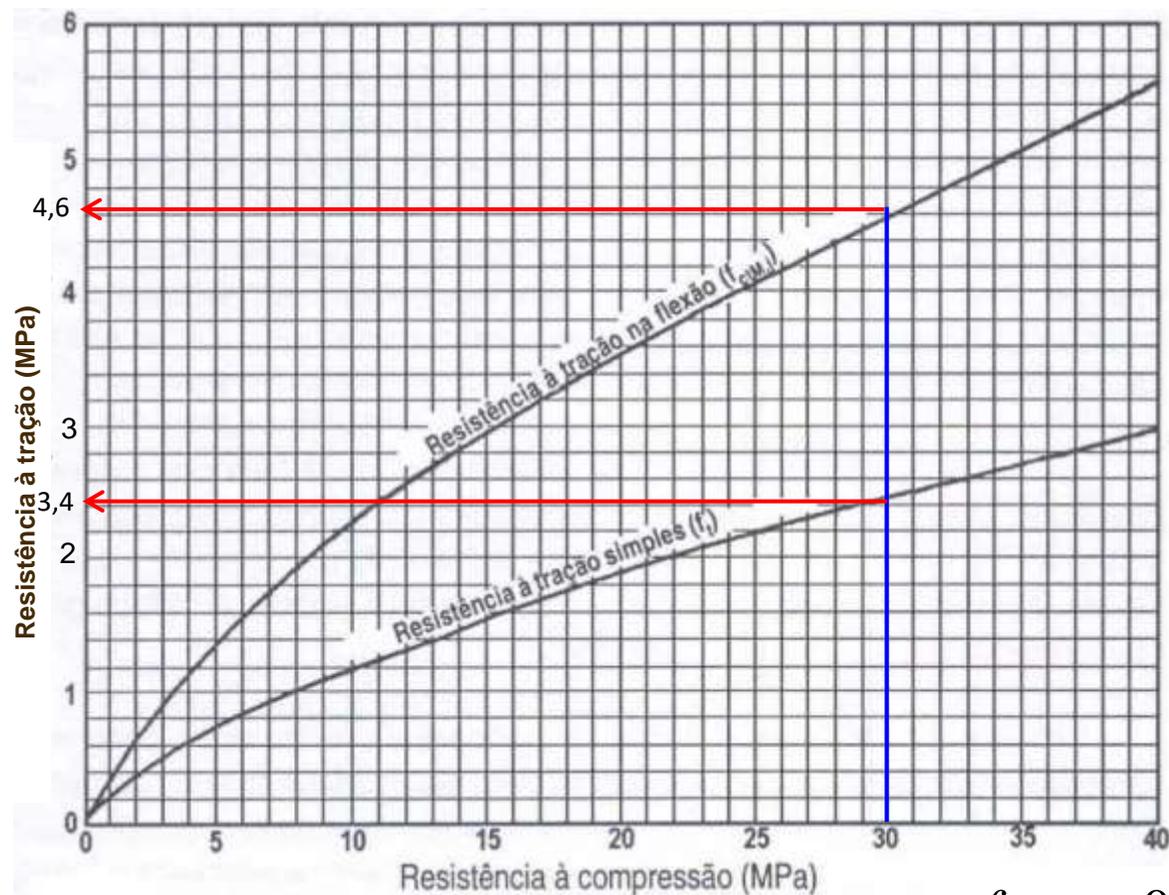
Utilização de neoprene para a execução do ensaio de compressão.

ASTM C 1231:2012

Correlação (quando aprovado pela fiscalização)

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO x TRAÇÃO NA FLEXÃO

RESISTENCIA À COMPRESSÃO x TRAÇÃO SIMPLES



$$f_{ctm,j} = 0,56x(f_{cj})^{0,6}$$

Texturização

- **Consiste de prover de ranhuras a superfície do pavimento, aumentando o atrito entre ele e os pneumáticos. Serve também como uma espécie de micro drenagem, que evite a formação de lâminas d'água capazes de produzir a aquaplanagem.**
- **A texturização deverá ser executada imediatamente após a fase do acabamento final do concreto.**

Processos de texturização

- Processo **mecânico** ou **manual**.
- **Processo mecânico** : executada com um pente de fios duros. Trabalha com o mesmo princípio eletrônico da vibro acabadora (sensores para nivelamento) executando as ranhuras no sentido transversal à pista.
- **Processo manual** : pode ser executada com a utilização de uma vassoura, com auxílio de uma passarela de serviço.
- Admite-se a também a **texturização longitudinal**.



Mecânica



Manual

Verificação da texturização

- **Verificações:**
 - Homogeneidade
 - Acabamento

- **Ensaio de mancha de areia**
 - Areia⁽¹⁾ passante na peneira de 0,25 mm e retida na peneira de 0,18 mm (ASTM E 965)

- **Limites:**
 - 0,6 mm a 1,2 mm (altura)

(1) A ASTM estabelece que o ensaio seja feito com esferas de vidro.

Ensaio de mancha de areia



Cura do pavimento de concreto

Definição

Cura é a denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento e consiste em controlar a temperatura, a saída e a entrada de umidade para o concreto.

Mais especificamente, o objetivo é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível de saturado, até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchido com água, tenham sido preenchidos pelos produtos de hidratação do cimento até uma condição desejável.

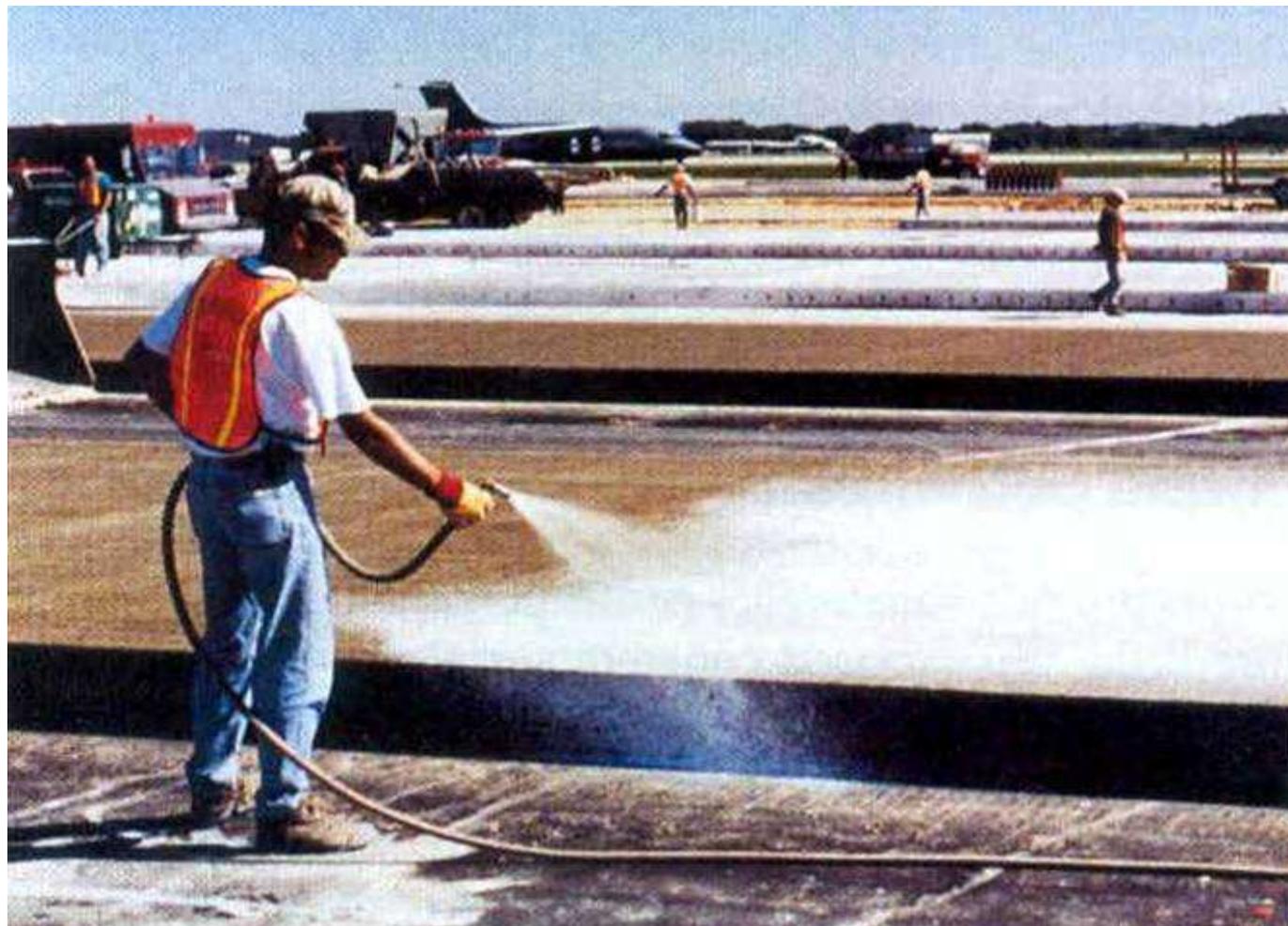
Métodos de cura

- **Cura química**
- **Cura com materiais selantes**
 - Filme plástico
 - Papel reforçado
- **Cura úmida**
 - Mantas que retém água
 - Imersão ou piscina
 - Névoa ou aspersão

Cura química (mecânica)



Cura química (manual)



Mecanismo de ação do agente de cura

- Após a aplicação na superfície, a água ou o solvente evapora e em seguida a cera ou a resina forma a membrana na superfície.

Essa membrana é que irá

retardar a perda de água por evaporação, maximizando a hidratação do cimento e minimizando a retração plástica.



Teste do risco com aditivo reprovado



Efeito da reação de um agente de cura inadequado

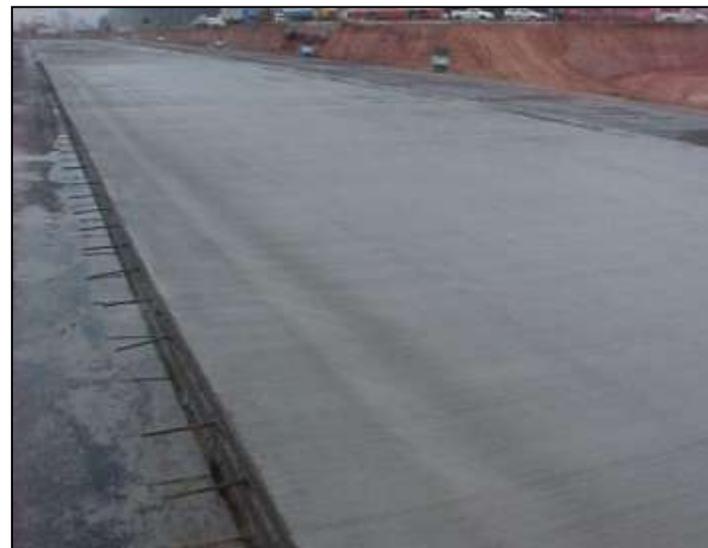


Comparativo na aplicação aditivo aprovado x um aditivo reprovado



**Efeito em campo dos 2
aditivos utilizados.**

Cura mau feita ou com falhas de aplicação



Cura muito bem feita sem falhas de aplicação



Perfilógrafo Califórnia



Equipamento que serve para medir a irregularidade longitudinal de pavimentos de concreto em fase de construção, sendo também o equipamento empregado pela maioria dos Departamentos Estaduais de Transporte (DOT) americanos.

Características



Dotado de roda censorsa, localizada no meio da estrutura, livre para movimentar-se verticalmente

Características



Os movimentos da roda censa são captados por um transdutor e um odômetro e enviados a um computador que grava os desvios do plano de referência, traçando o perfil do pavimento

Medição de irregularidade



Operação do perfilógrafo sobre cada faixa de tráfego, nas trilhas de roda externa e interna a uma velocidade máxima de operação igual a 5 km/h

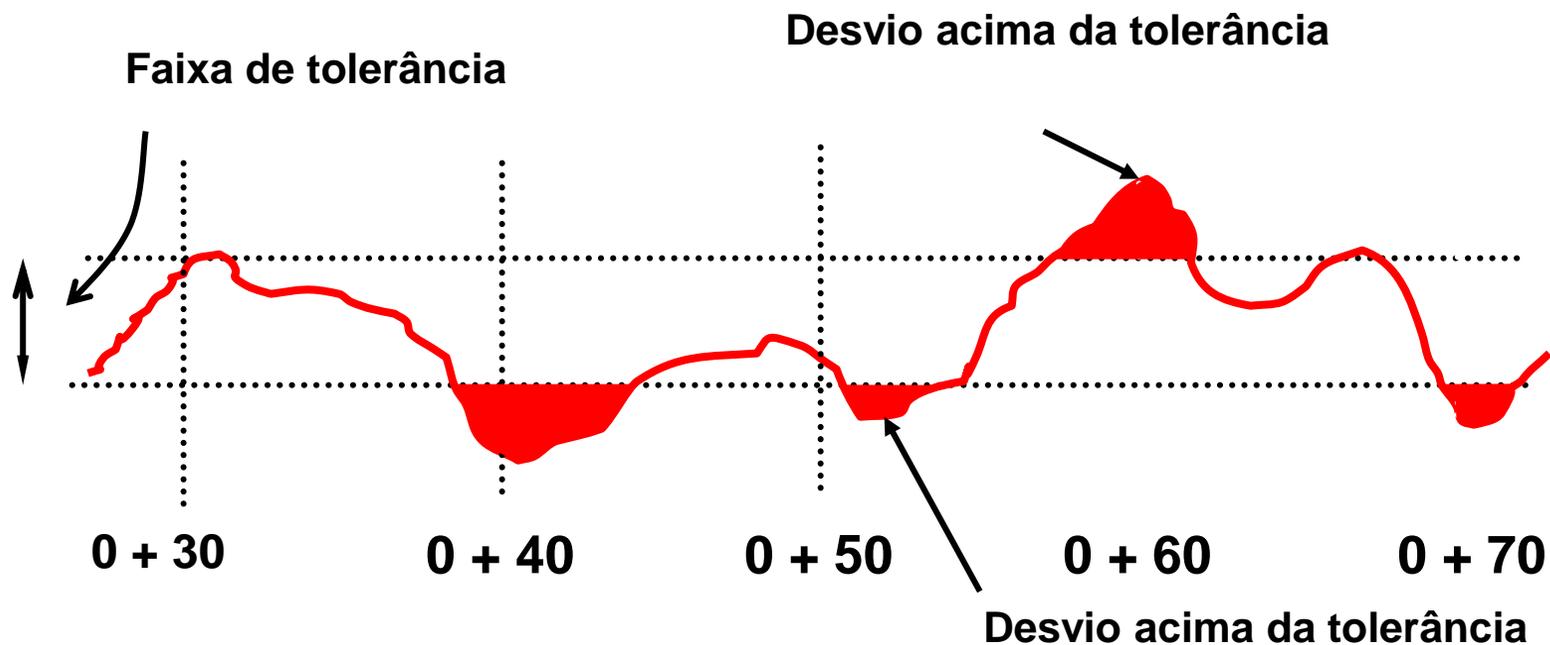
Informações geradas

- Permitem identificar com precisão áreas que necessitam de reparo
- Os perfis são processados gerando uma medida de irregularidade longitudinal: o Índice de Perfil

Índice de perfil - (IP)

- É a soma dos valores absolutos dos desvios (picos e depressões) que excedem os limites de uma faixa neutra
- No Brasil tem-se estabelecido faixa neutra igual a 5 mm
- O Índice de Perfil (IP) é expresso em mm/km
- Os lotes de avaliação são compostos por trechos de 1.000 m de extensão, divididos em segmentos de 100 m

Esquema simplificado registrado no computador



Segmentos 0+00 a 10+00

Distância medida: 1000 m

Índice de Perfil: 220 mm/km

Gráfico (Índice de perfil ruim)

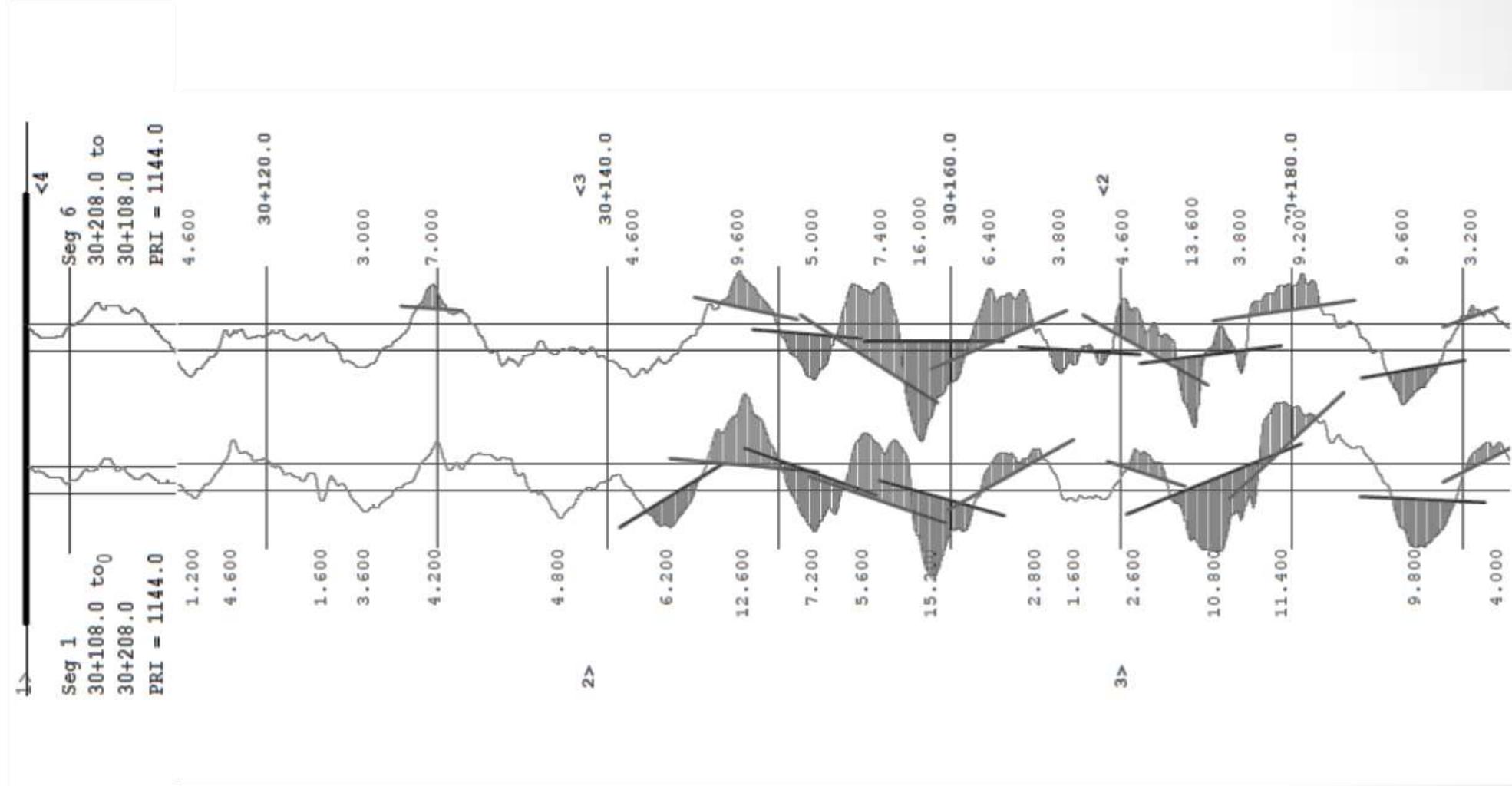
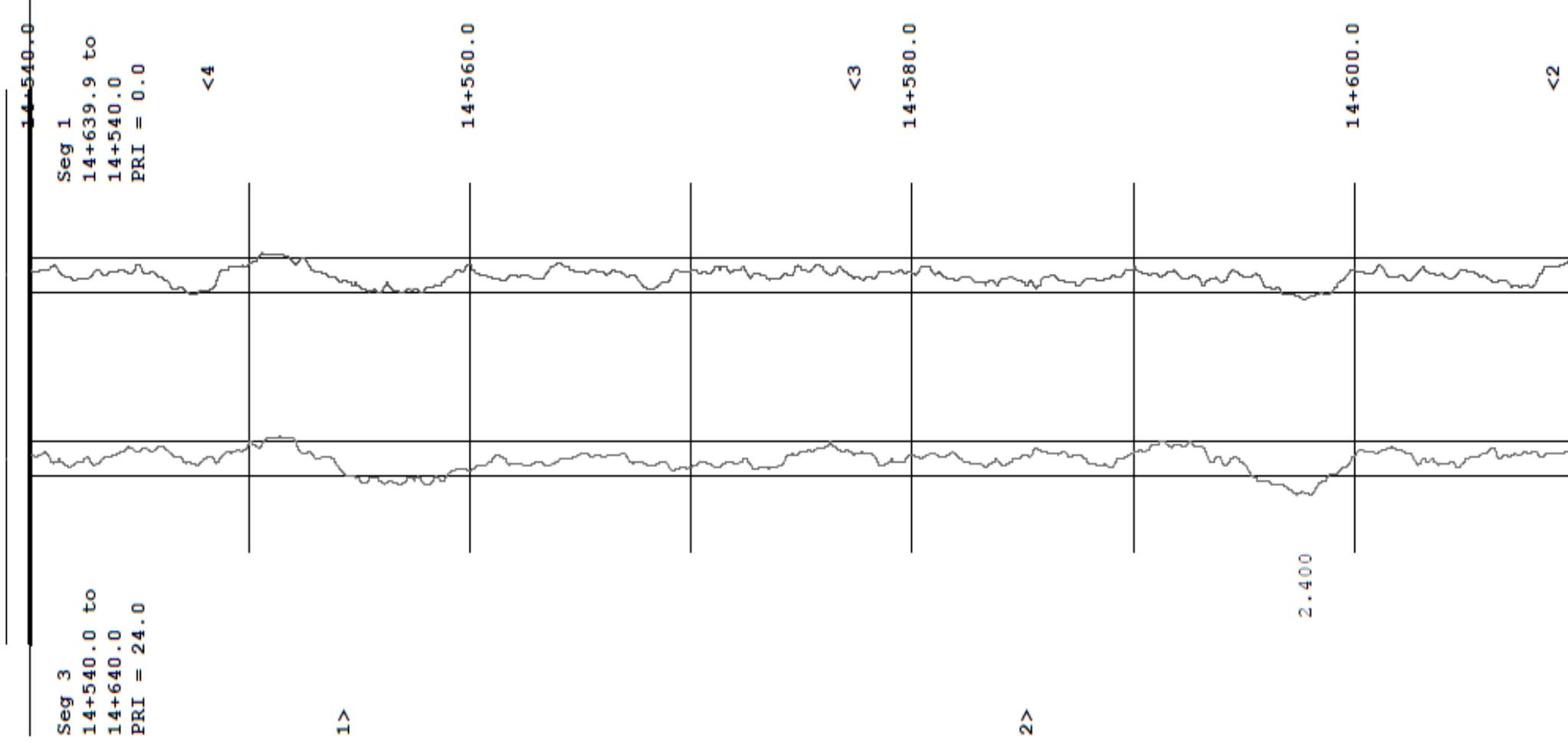


Gráfico (Índice de perfil bom)



Índices de perfilógrafo nos USA e CE

Índice Internacional para Rodovias de Alto tráfego

VALORES mm/km	% DE PAGAMENTO	
	AASHTO	ACPA
<47	105	110
47 - 63	104	108
63 - 79	103	106
79 - 95	102	104
95 - 110	101	102
110 - 158	100	100
158 - 174	98	98
174 - 190	96	96
190 - 205	94	94
205 - 221	92	92
221 - 237	90	90
>237	Correção	Correção

Tabela que normalmente faz parte dos contratos de obras nos Estados Unidos e alguns países da Europa.

Índice aceito como normal a empresa simplesmente cumpriu o contrato (USA e CE)

Índice aceito como normal
Pelo DNIT é de 240 mm/km ???