

A seleção de materiais para pavimentação asfáltica – novos ensaios e novos critérios

Laura Maria Goretti da Motta

COPPE/UFRJ

laura@coc.ufrj.br

Sumário

- **Introdução**
 - O pavimento como uma estrutura de múltiplas camadas
- **Seleção de materiais para as camadas:**
 - **Camadas geotécnicas**
 - O clima e a formação dos solos
 - A pedologia e a classificação MCT
 - Ensaio mecânicos: MR e DP
 - **Camadas estabilizadas quimicamente**
 - **Revestimento asfáltico**
 - Tratamento superficial e Concreto asfáltico
 - Dosagem Concreto Asfáltico
 - Ensaio mecânicos: MR, DP, RT e Fadiga
 - **Critérios de aceitação/dimensionamento**

Laura Motta (COPPE)

Preâmbulo

Lembranças de uma defesa de dissertação Fotos de 2003 – Eduardo Suassuna na COPPE



Lembranças de Palmas — Fotos de 2005



Turma Minicurso promovido por Eduardo Suassuna - ULBRA (2005)



Em Palmas (2005) visitando uma obra solo laterítico e lateritas



Introdução

- Pavimento asfáltico: estrutura de múltiplas camadas assente sobre um solo denominado subleito (CFT)
- A camada que recebe o tráfego é denominada revestimento (capa asfáltica)
- Muitas camadas são construídas com solos, britas ou combinação de solos e britas
- A escolha dos materiais depende de:
 - método de dimensionamento
 - Distância de transporte
 - Tráfego

INTRODUÇÃO

NBR 7207/82: Terminologia e classificação dos pavimentos:

- O pavimento é uma ESTRUTURA construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu CONJUNTO, a:
- **Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;**
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- **Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.**

O pavimento asfáltico típico brasileiro



Introdução



Propriedades, características e seleção dos materiais

FUNÇÃO DAS CAMADAS SOBREPOSTAS AO SUBLEITO:

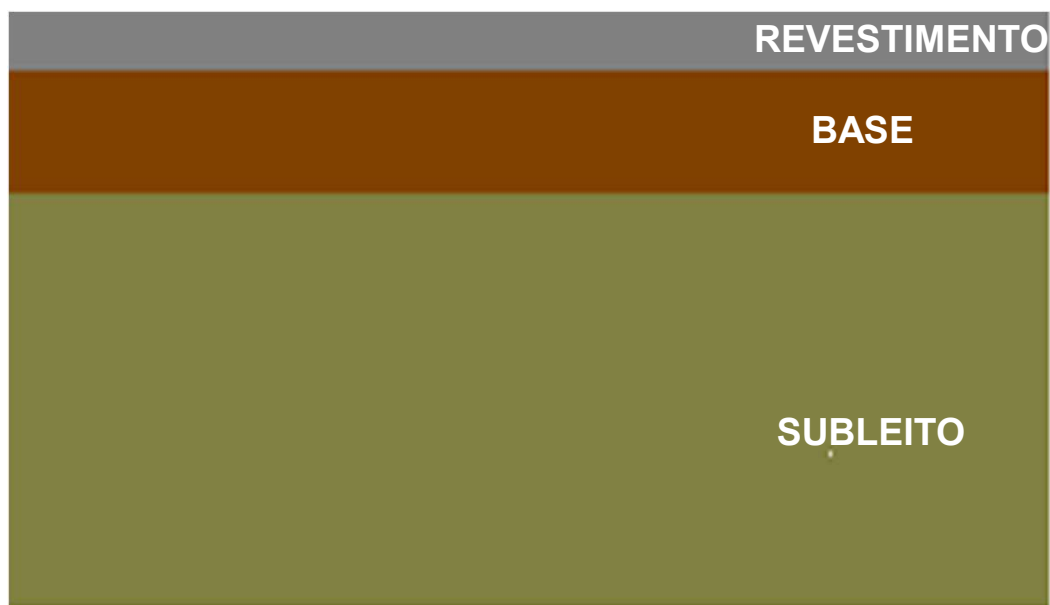
PROTEGER O SUBLEITO CONTRA
AFUNDAMENTOS

REDUZIR A FLEXÃO DA CAMADA DE
REVESTIMENTO
(Proteção contra trincamento)

FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

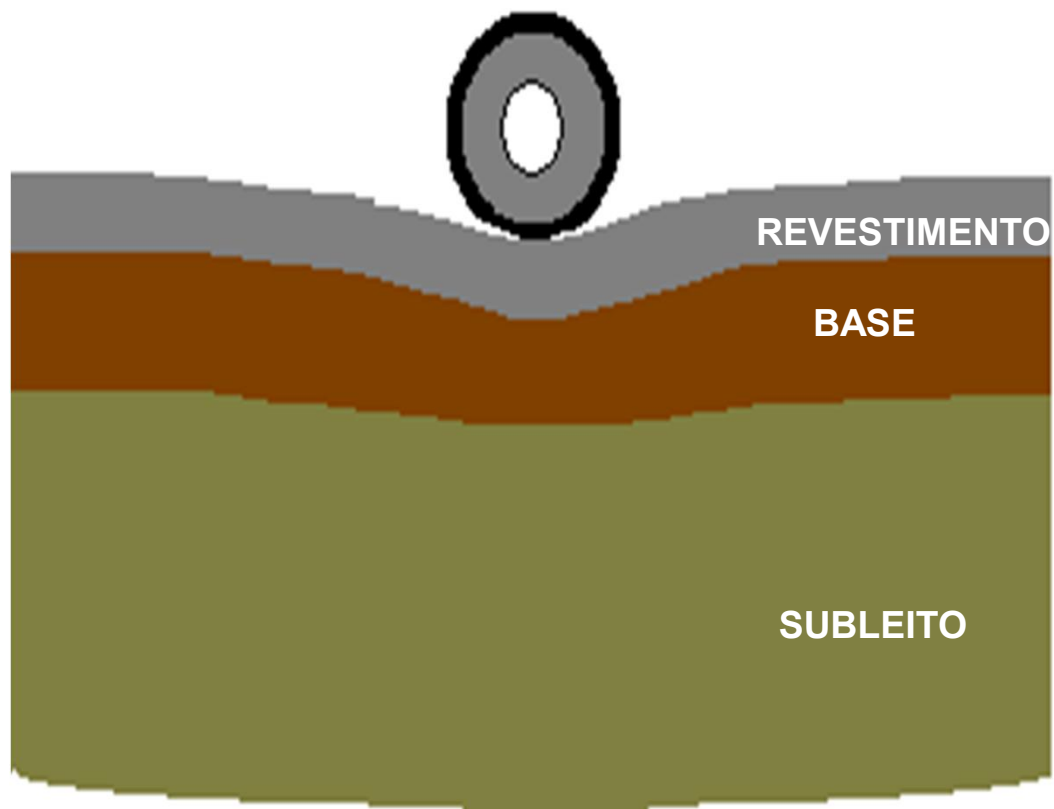
Principais defeitos
estruturais:

**Trincamento e
afundamento trilha roda
(ATR)**



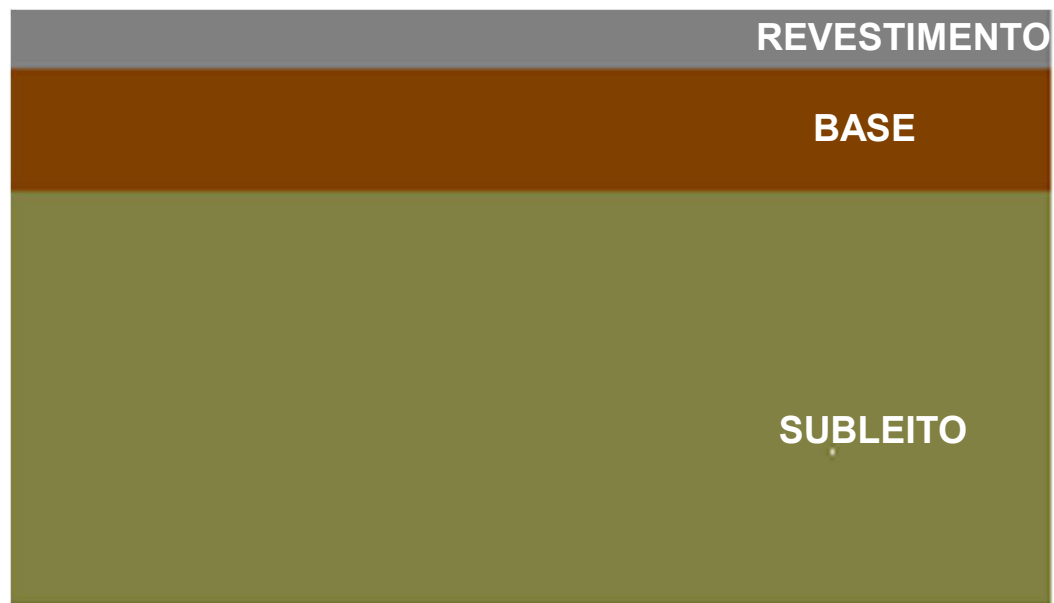
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



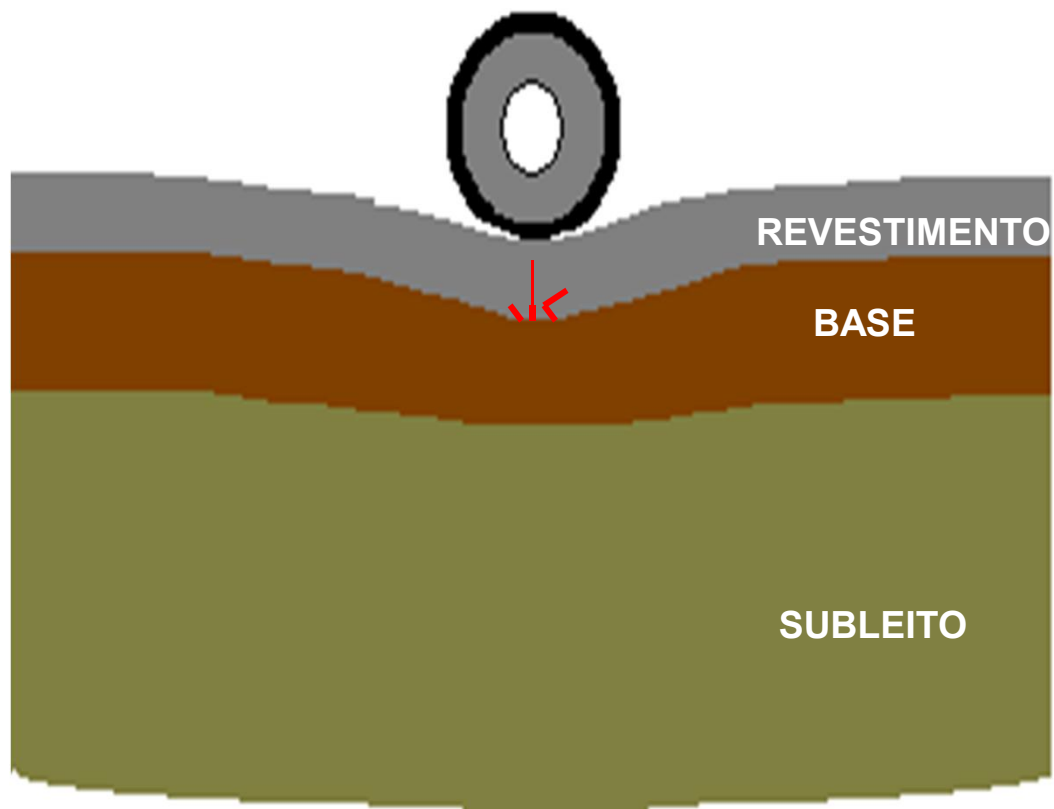
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



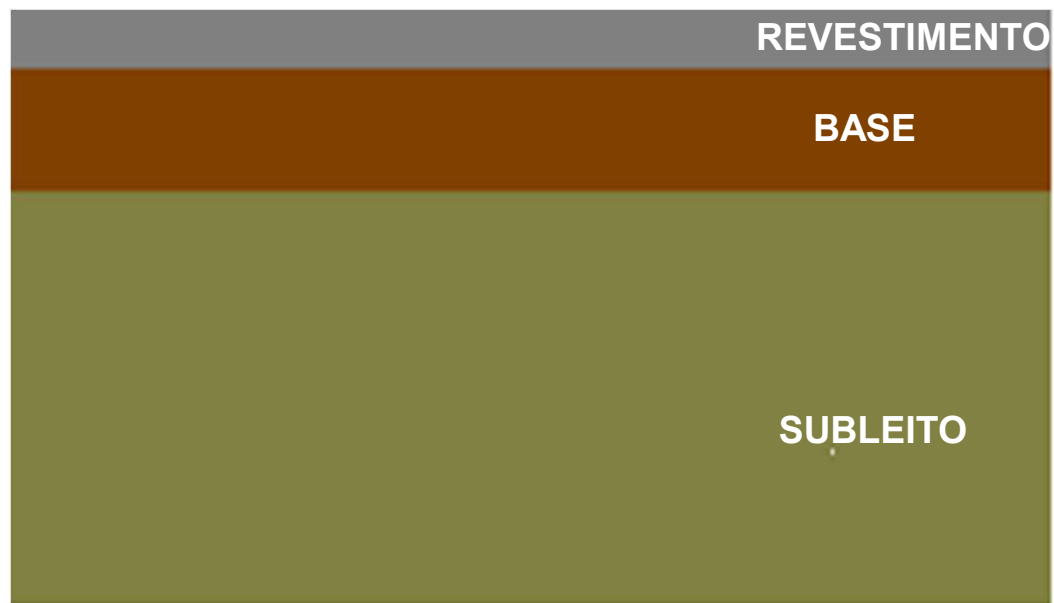
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



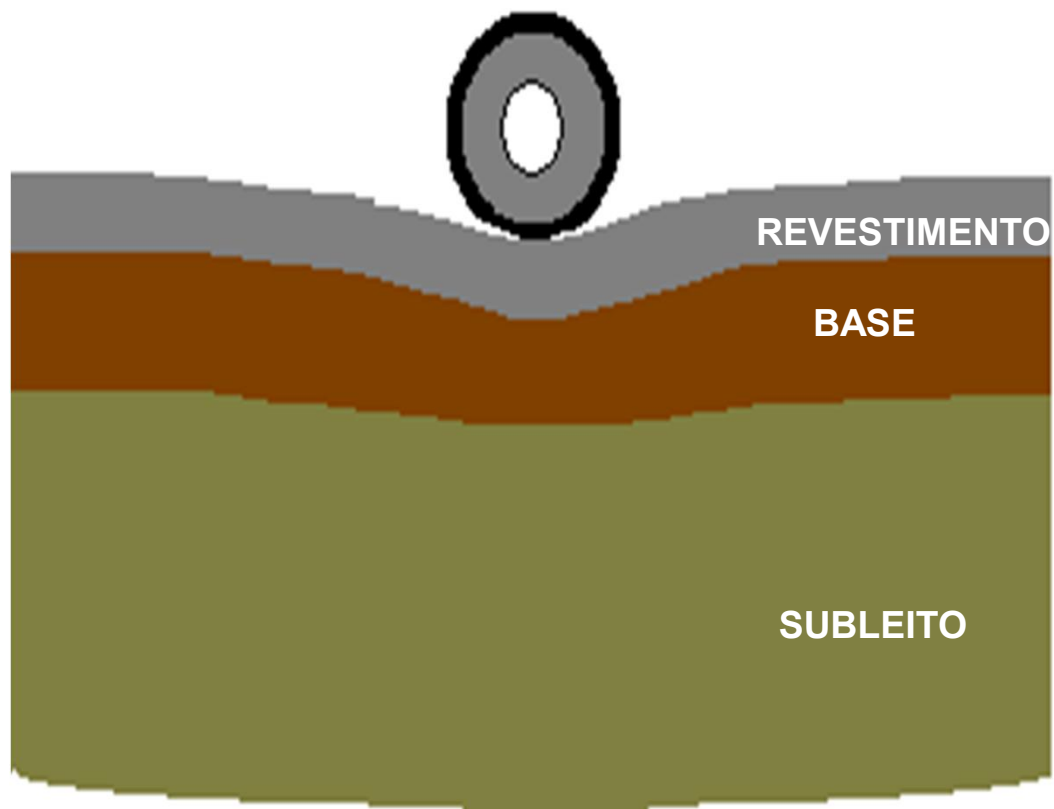
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

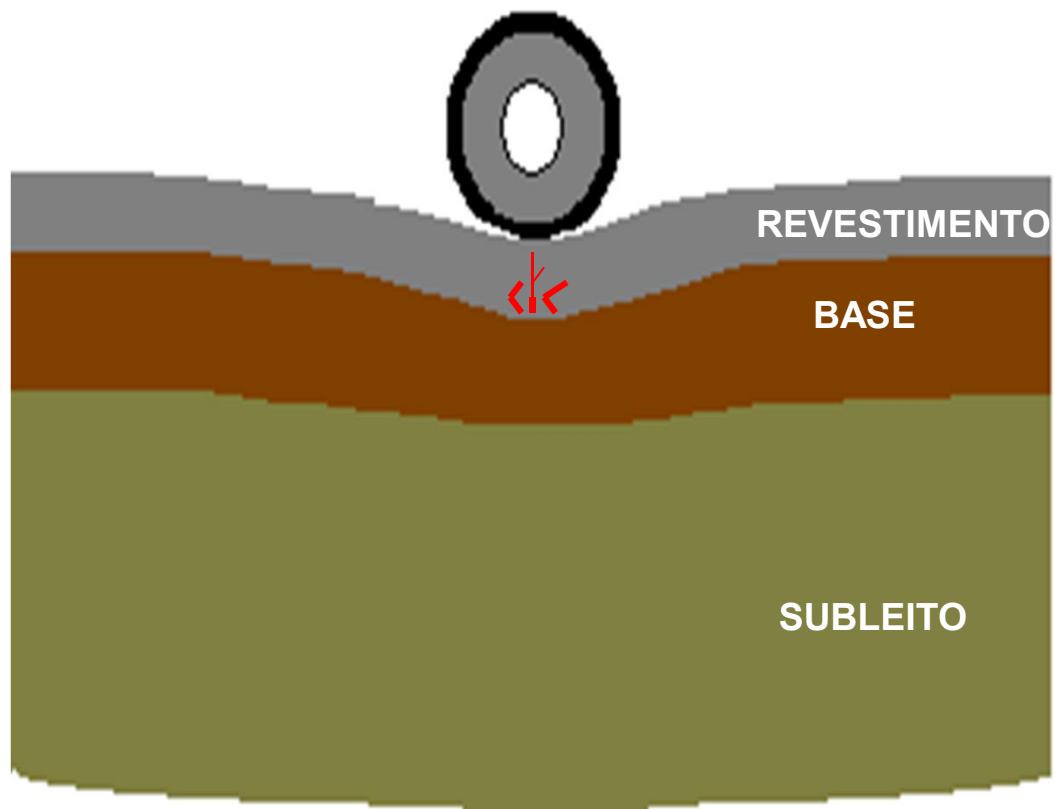
TRINCAMENTO



Tonial
06/02/2006

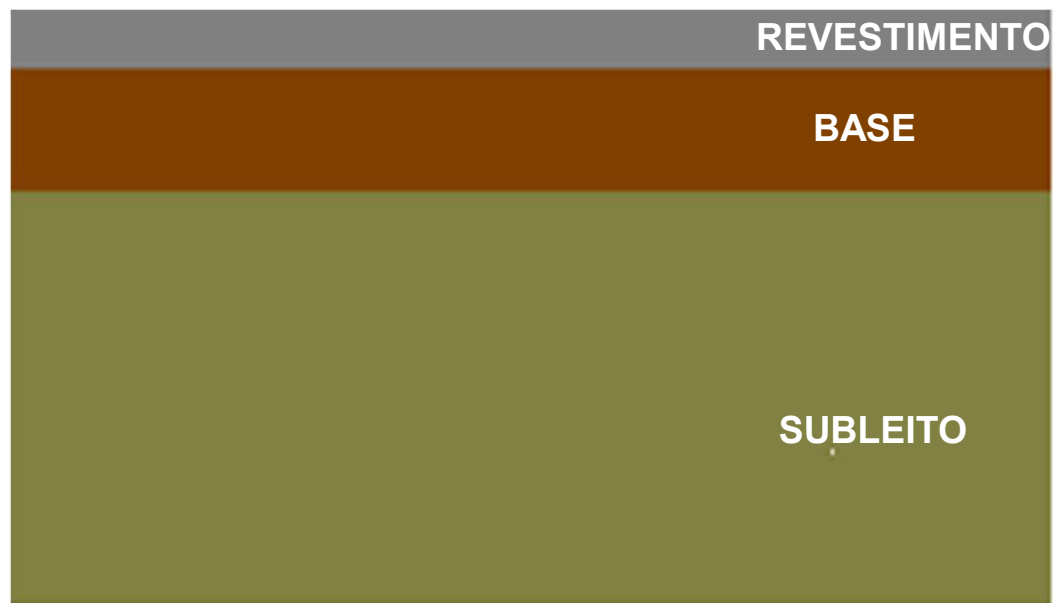
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



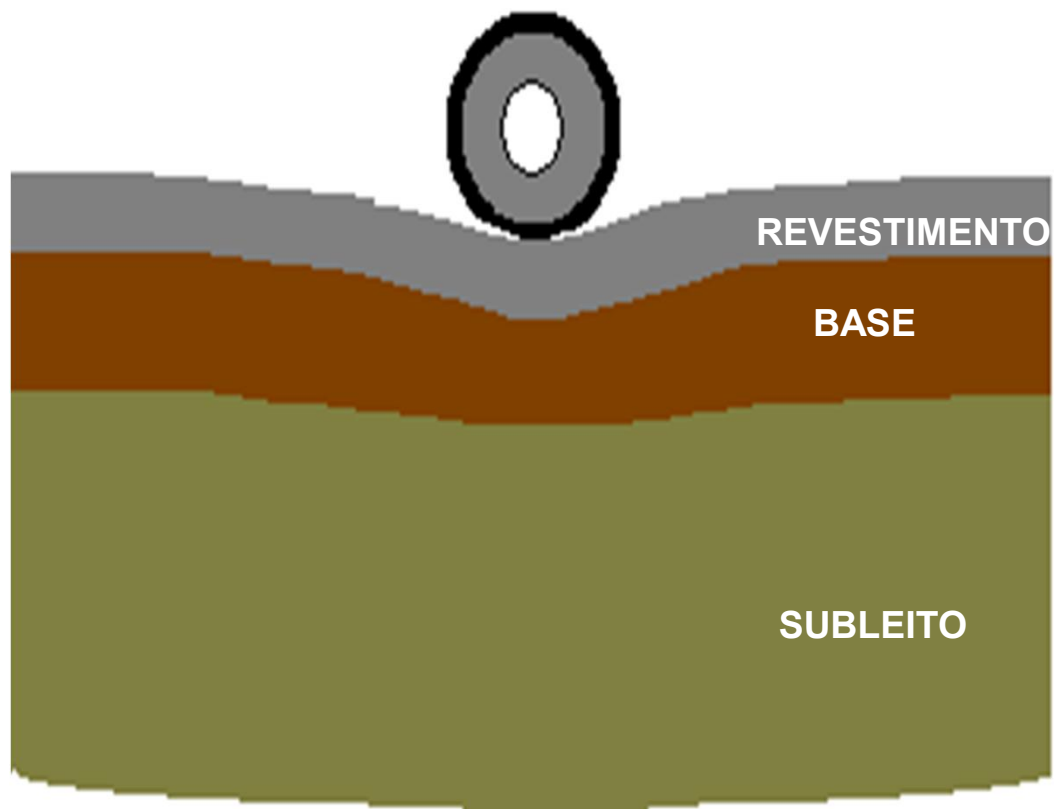
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



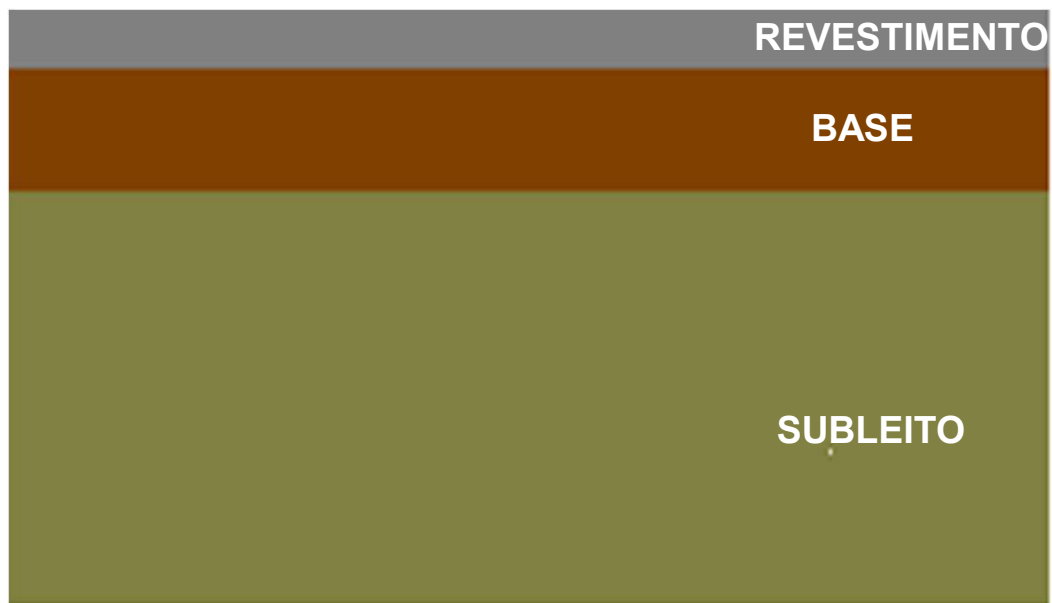
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



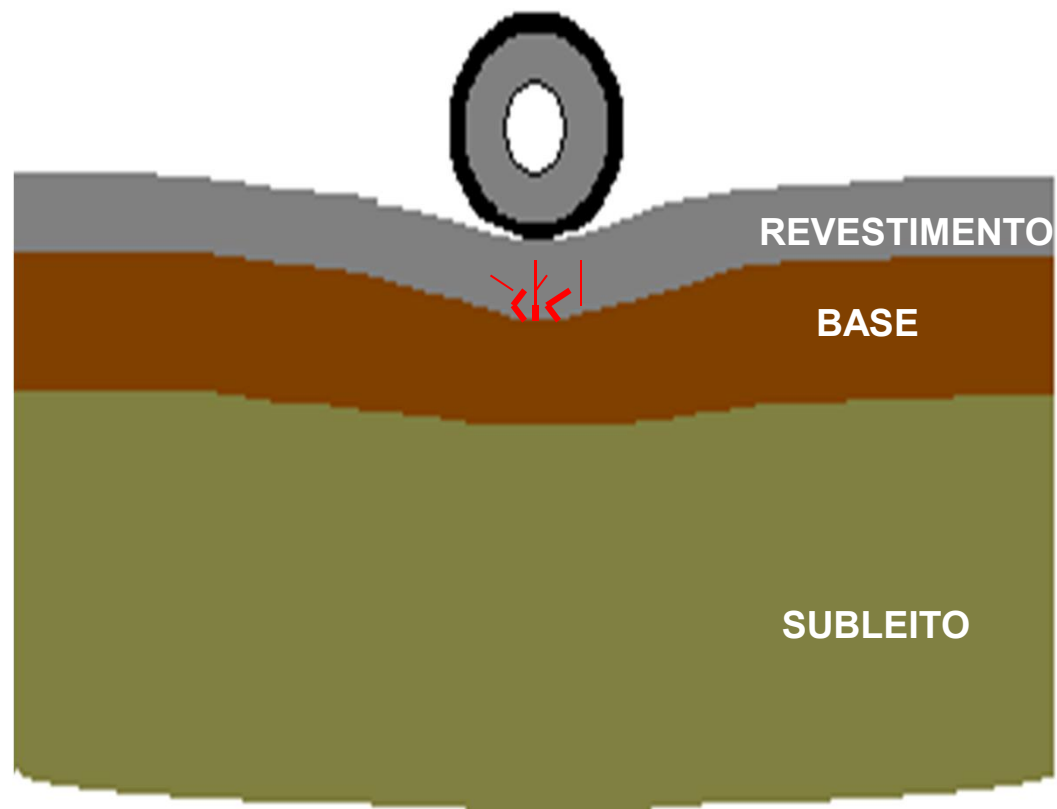
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



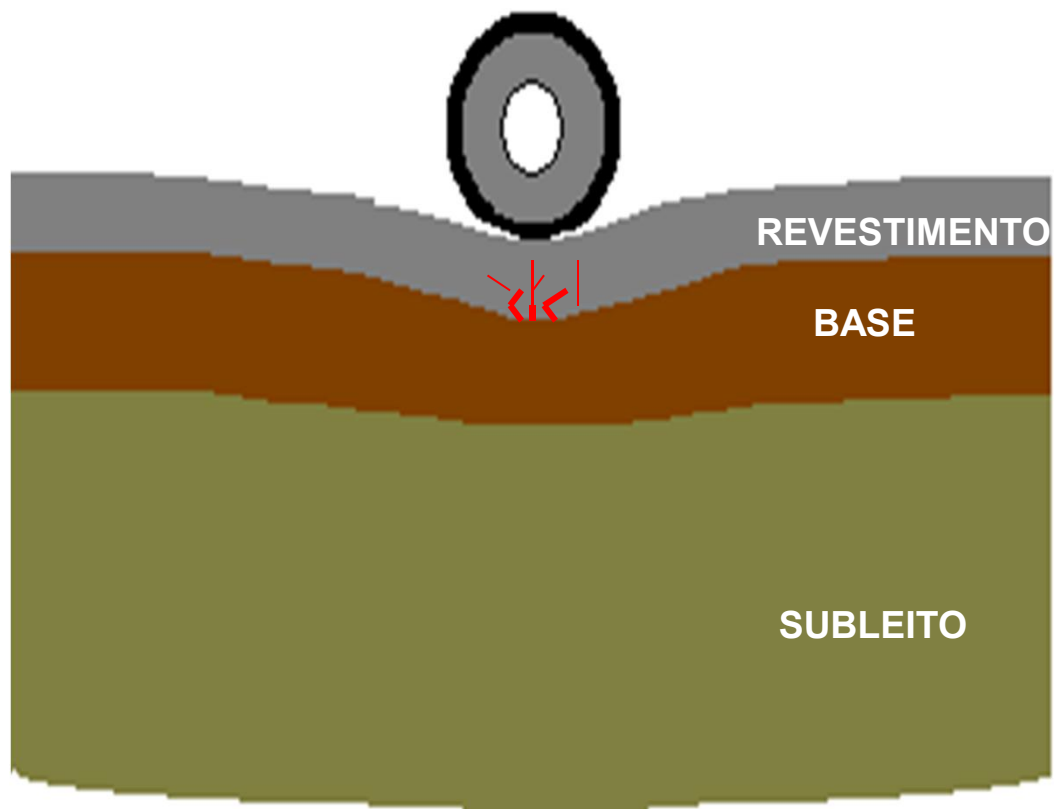
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



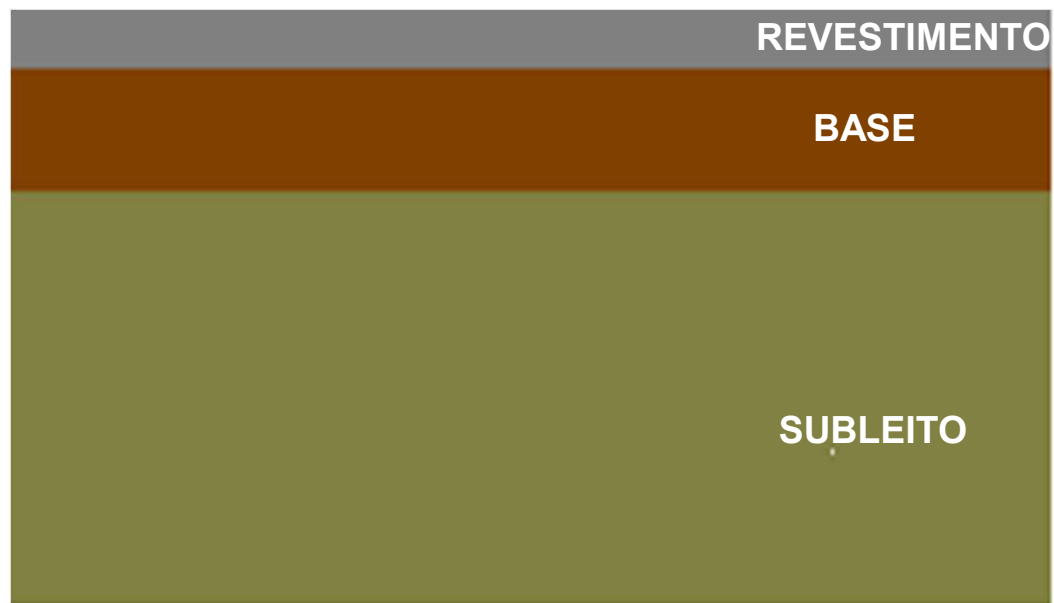
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



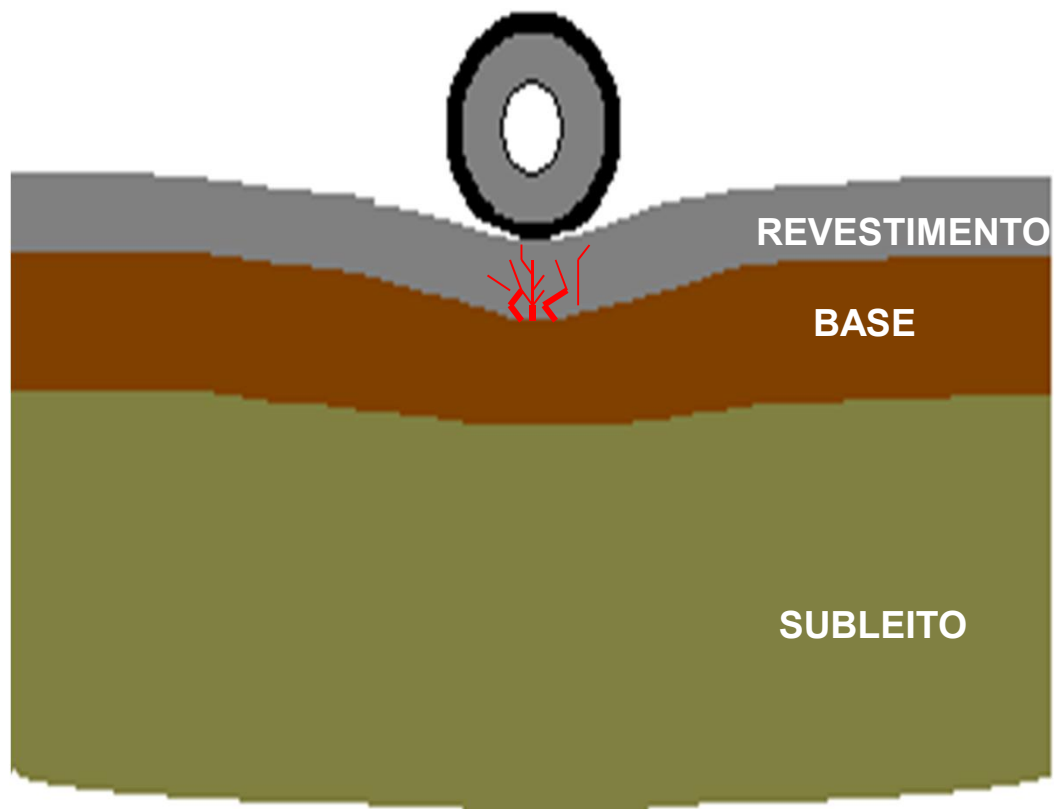
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

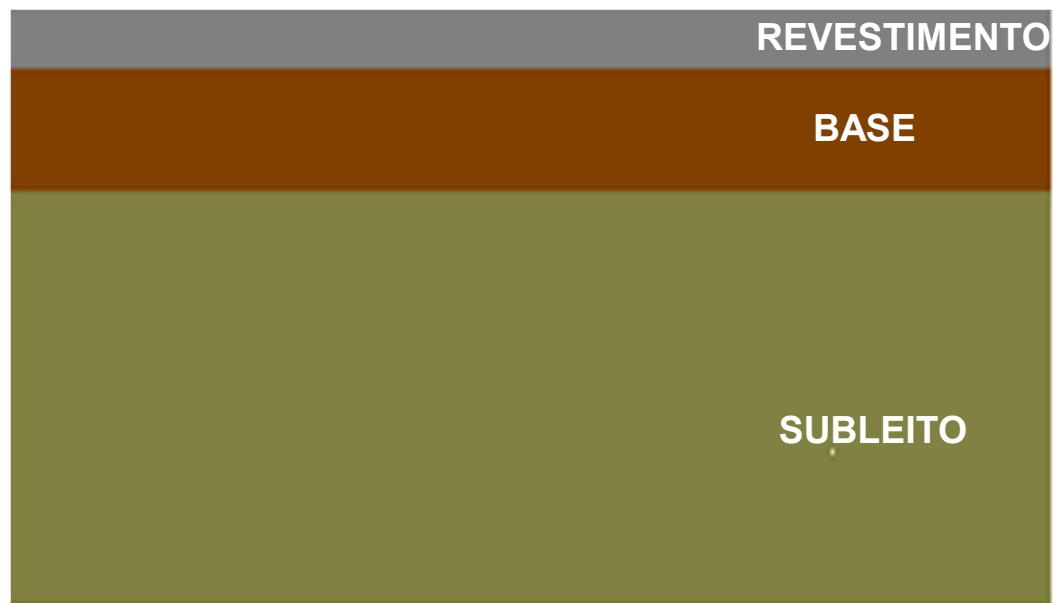
TRINCAMENTO



Tonial
06/02/2006

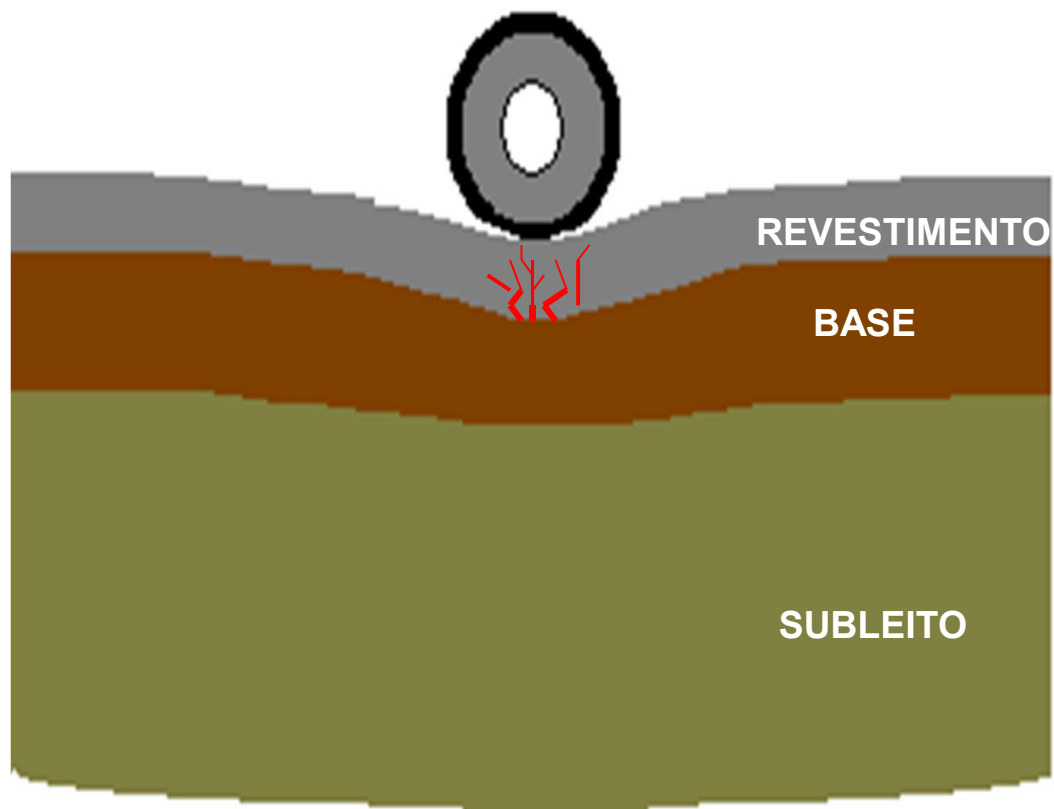
FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO

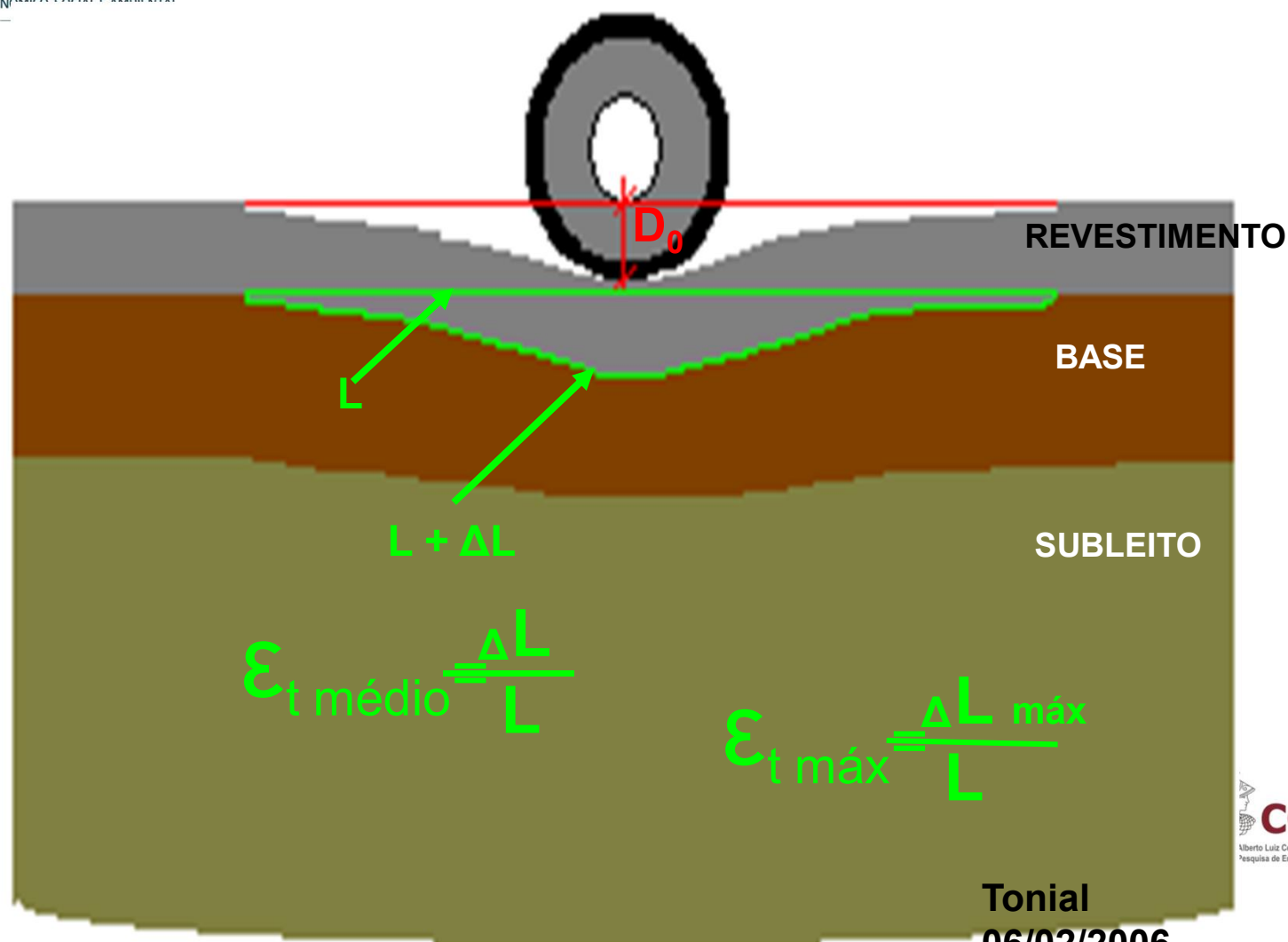


FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

TRINCAMENTO



FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

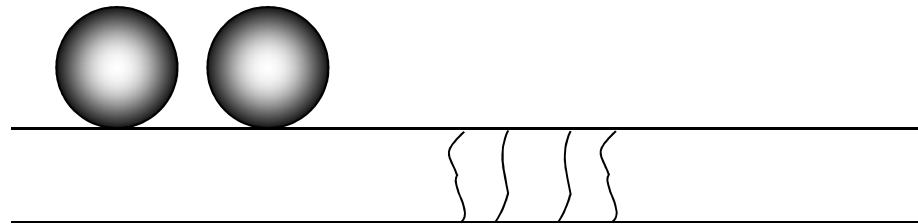


Defeito estrutural devido à repetição das cargas: trincamento por Fadiga do revestimento



Fadiga de misturas asfálticas

- Em pavimentos
 - materiais asfálticos ou cimentados
 - repetição das cargas do tráfego de veículos
 - fissuras e trincas



Defeito estrutural devido à repetição das cargas: ATR



Afundamento de Trilha de Roda



Afundamento de trilha de roda (ATR)

- Contribuição de todas as camadas



Existe mesmo esta “flexão” com a
passagem das rodas?

FUNCIONAMENTO
DO PAVIMENTO: **pode ser
medido facilmente**

**Viga Benkelman
FWD**



Fases de Execução VB

1- posiciona caminhão



2- posiciona VB



3- caminhão se afasta



4- leitura final



Vista geral FWD aberto





ENGENHARIA CIVIL COMO PROTAGONISTA DO DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL

Sistema de aplicação de carga

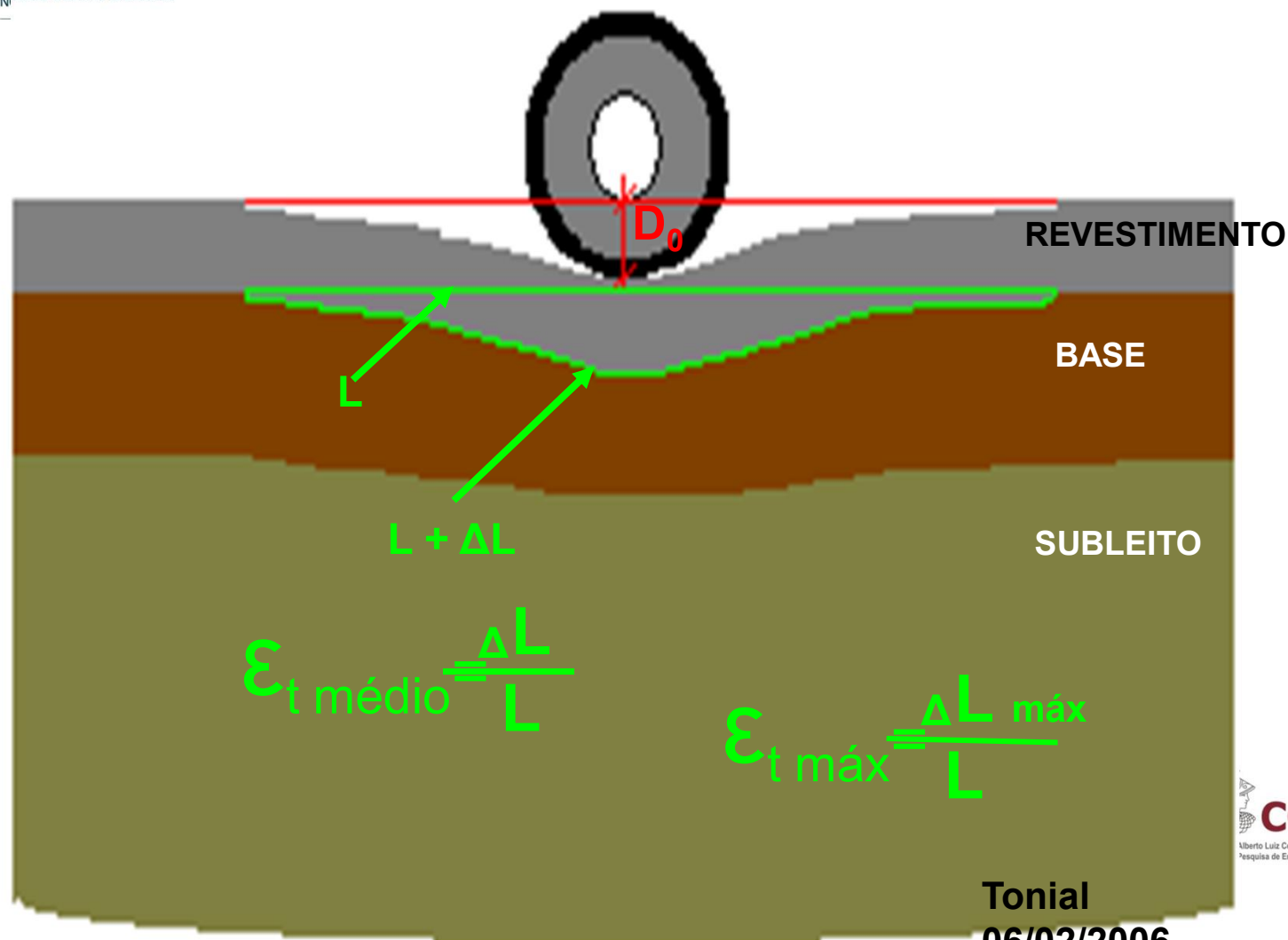


FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO

Para cada estrutura:

quanto maior a deflexão (D_0) maior serão as deformações específicas (ε_t) que ocorrem em cada ponto do revestimento e mais rápido ocorre o trincamento.

FUNCIONAMENTO DO PAVIMENTO (repetindo...)





O pavimento como uma estrutura

- Análise de tensões e deformações
- Vida útil versus vida de projeto
 - Período de análise do pavimento: construção, manutenção e reabilitação
- Critérios de ruptura:
 - Deformabilidade elástica: fadiga
 - Deformabilidade plástica: afundamentos

Porcentagem de área trincada (exemplos)





Afundamento de trilha de roda



Defeitos estruturais : Pavimento concreto

- Deformação
elástica:

Fadiga
(trincamento)



Deformação
permanente:

descaçamento
da placa =
**quebra de
canto**

TIPOS DE PAVIMENTOS

Classificados em 3 tipos:

Rígido: placas de concreto de cimento Portland



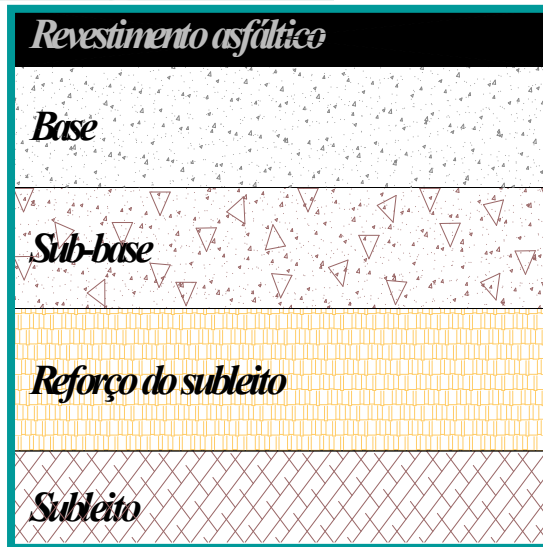
Semirrígido: revestimento asfáltico e base estabilizada quimicamente (cal, cimento)



Flexível: revestimento de camada asfáltica e base de brita ou solo

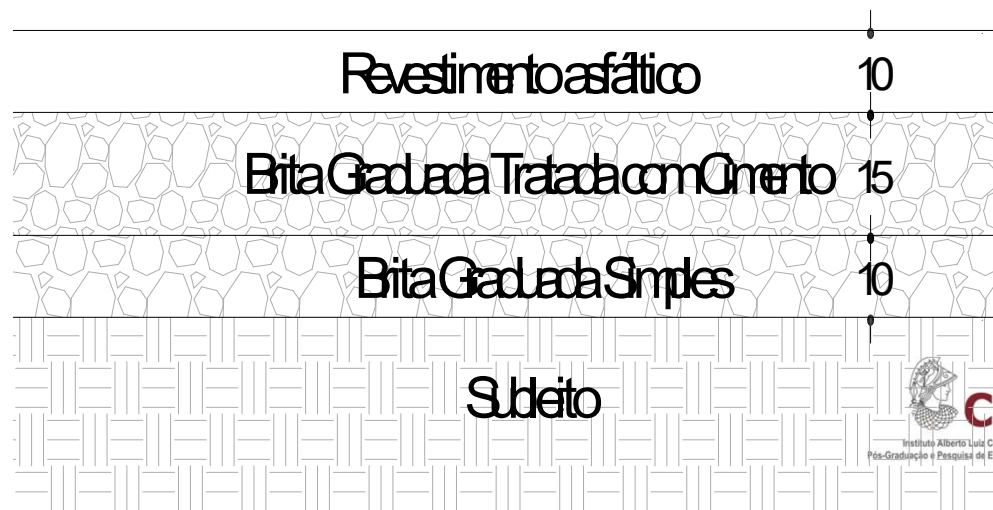


Pavimentos asfálticos: configurações agrupadas no Método do DNER



“**Flexível**” (TS ou CA sobre base e sub-base granular)

“**Semirrígido**”
(CA sobre base rígida ou invertido (sb rígida))



Mecânica dos Pavimentos (Medina , 1991) 1/2

- Disciplina da Engenharia Civil que estuda o pavimento como sistema em camadas, sujeito a cargas dos veículos
- Calculam-se tensões e deformações a partir do conhecimento dos parâmetros de deformabilidade de cada material
- Verifica-se o N que leva à ruptura o elemento que resiste à tração \Rightarrow FADIGA
- Variações sazonais de temperatura e umidade podem ser consideradas nas respostas às cargas do tráfego.

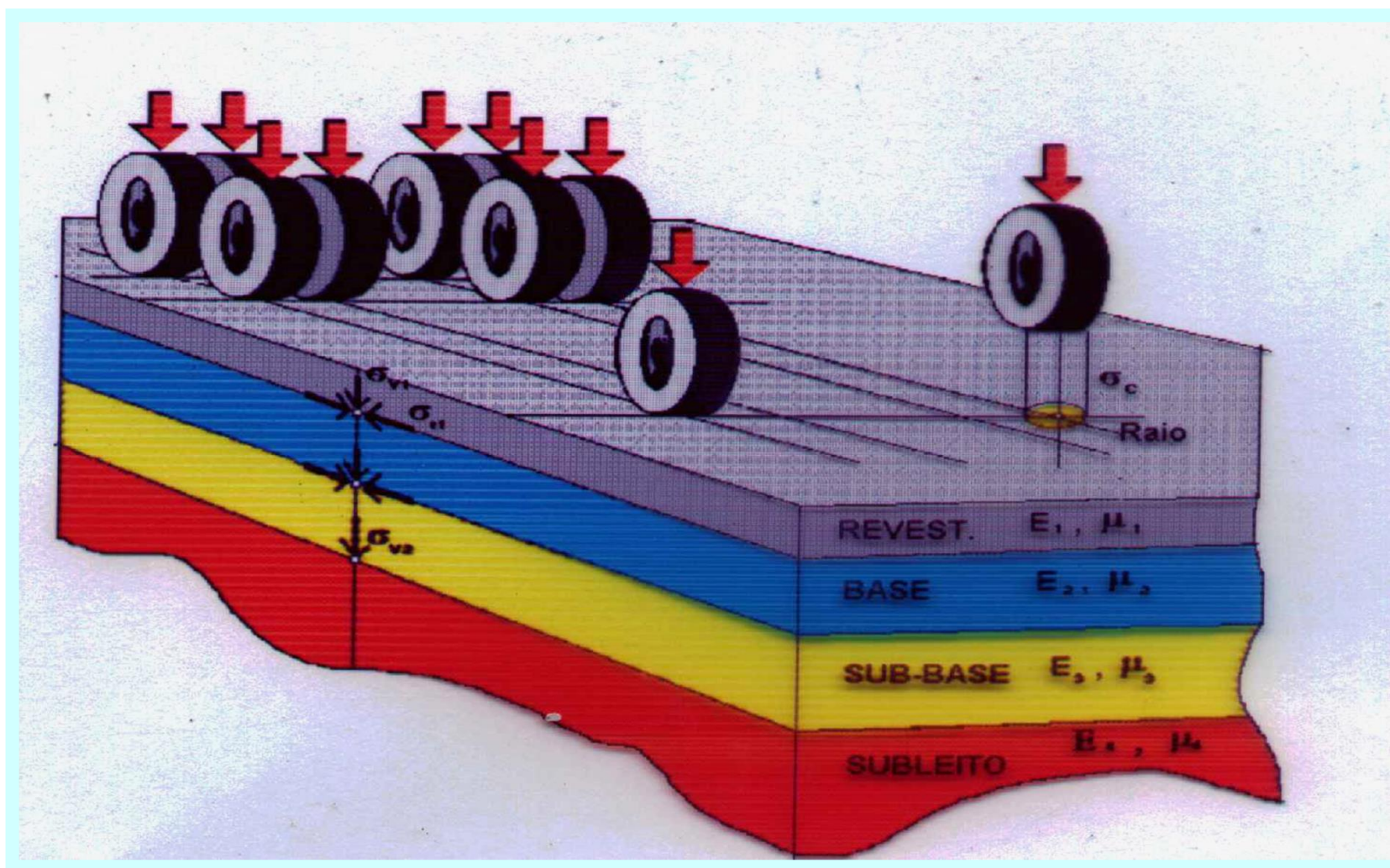
Mecânica dos pavimentos (Medina,1991) ^{2/2}

- **Ensaaios dinâmicos de solos, britas e outros materiais fornecem os parâmetros necessários de deformabilidade (elástica e plástica)**
- Ensaaios de campo (deflectometria, etc.) completam os dados experimentais necessários aos modelos de desempenho.
- Novos materiais podem ser analisados.
- Faz-se previsões e o empirismo deixa de predominar, fica na dose certa.

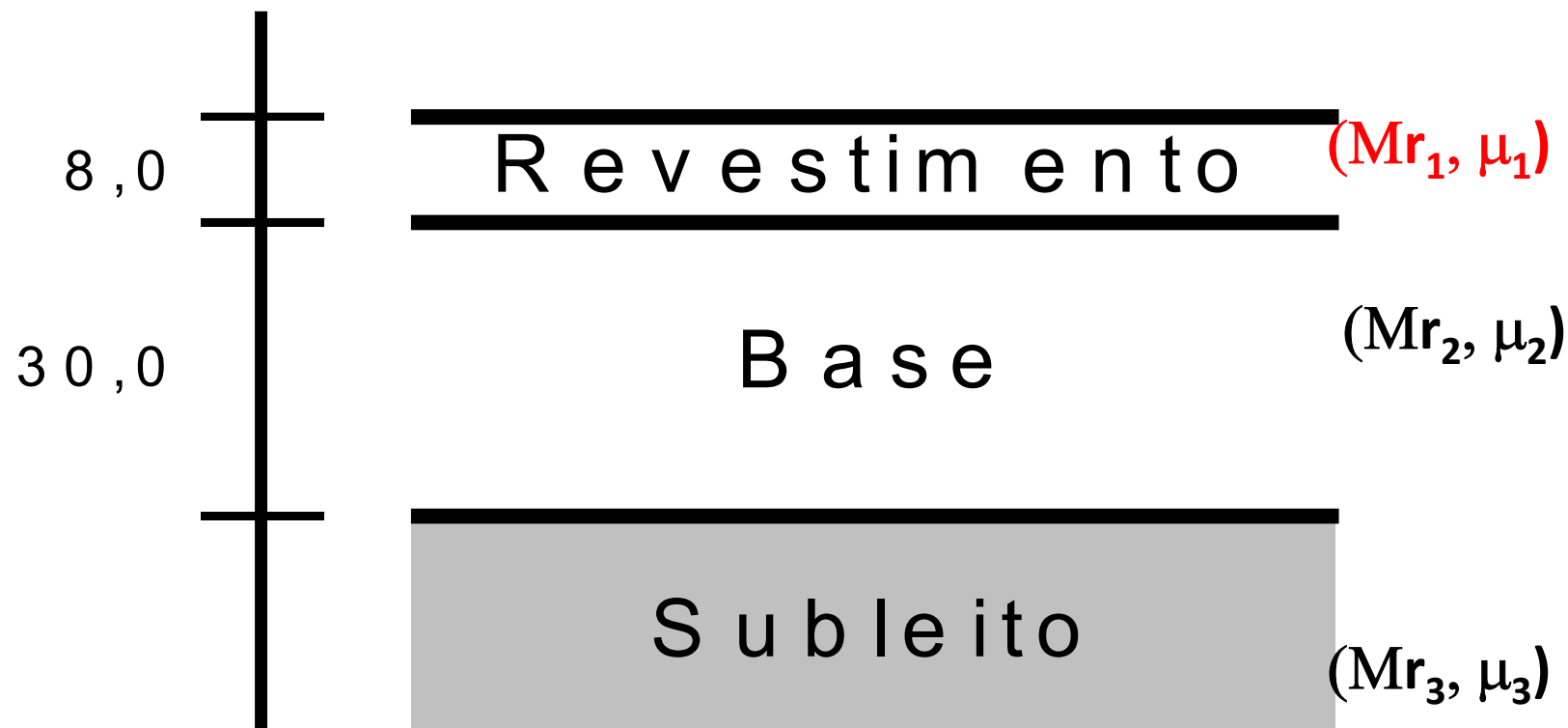
O pavimento como uma estrutura

- O dimensionamento passa a ser por análise de tensões e deformações
- Aplica-se a teoria da elasticidade e portanto:
 - cada material tem que ser selecionado pelo seu módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson.
 - **Como é a carga móvel que causa os principais defeitos: os ensaios de laboratório devem representar esta condição.**

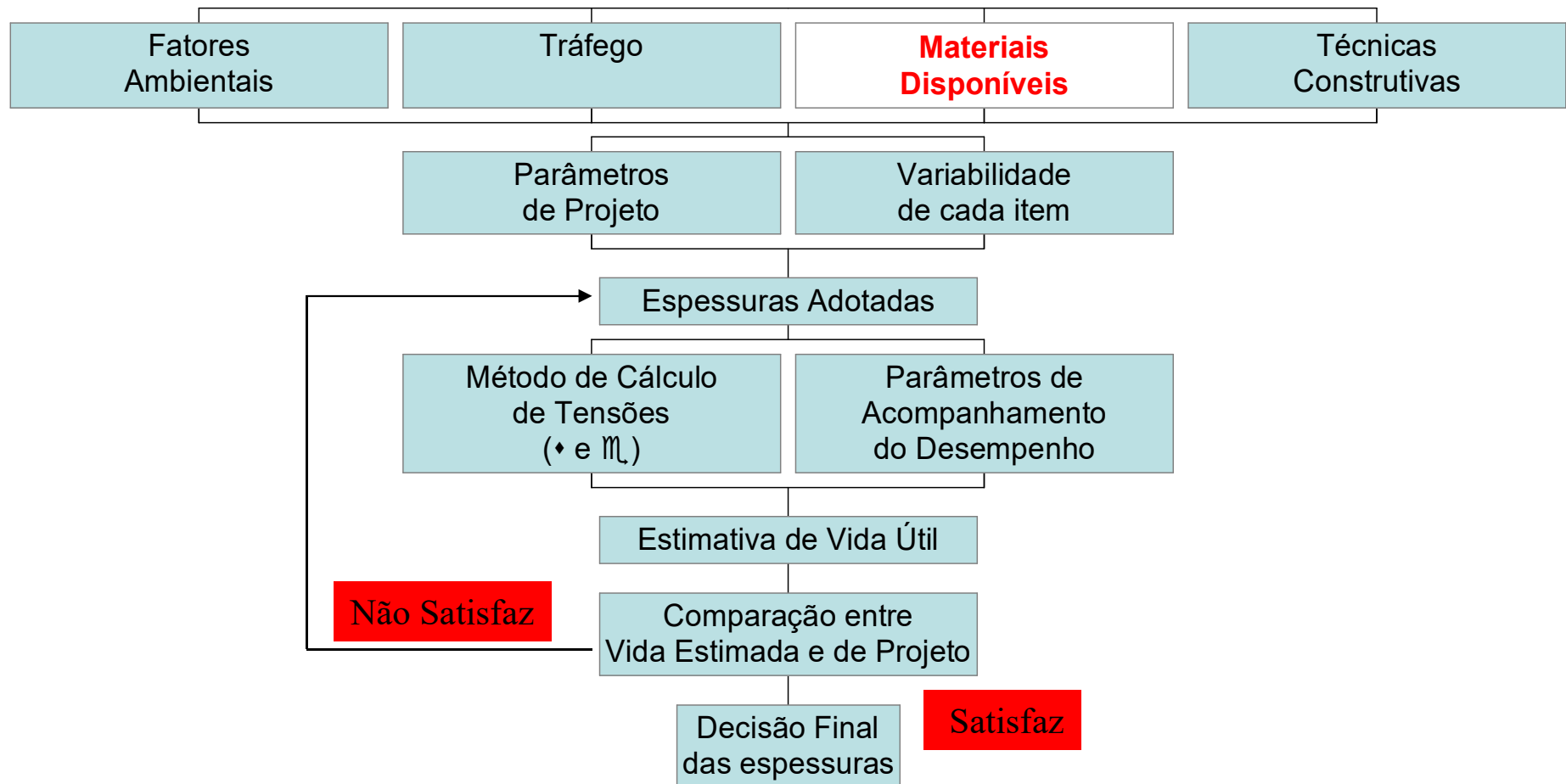
O Pavimento como sistema em camadas




Propriedades, características e seleção dos materiais



Dimensionamento Mecânico (Motta, 1991)



A escolha dos materiais

- Função:
 1. Distância de transporte; disponibilidade local
 2. Características técnicas definidas por especificações
 3. Volume de tráfego – condiciona a escolha do tipo de pavimento
 4. **Método de dimensionamento** 
 5. Custo

Mudou a natureza dos materiais?

- Não: o que mudou foi a nossa capacidade de entendê-la ou quantificá-la!
- Na Geotecnia em geral muitas mudanças conceituais desde Terzaghi

Ruptura ou Macrodeformações de obras modestas
- inicialmente

Hoje: limitação por microdeformações, solos parcialmente saturados e consideração da influência do clima na formação dos solos, etc.

O clima e suas influências no pavimento

O meio físico:

a) Sob o ponto de vista geológico:

- Formação dos solos e do relevo
- Os solos tropicais.

b) O clima hoje:

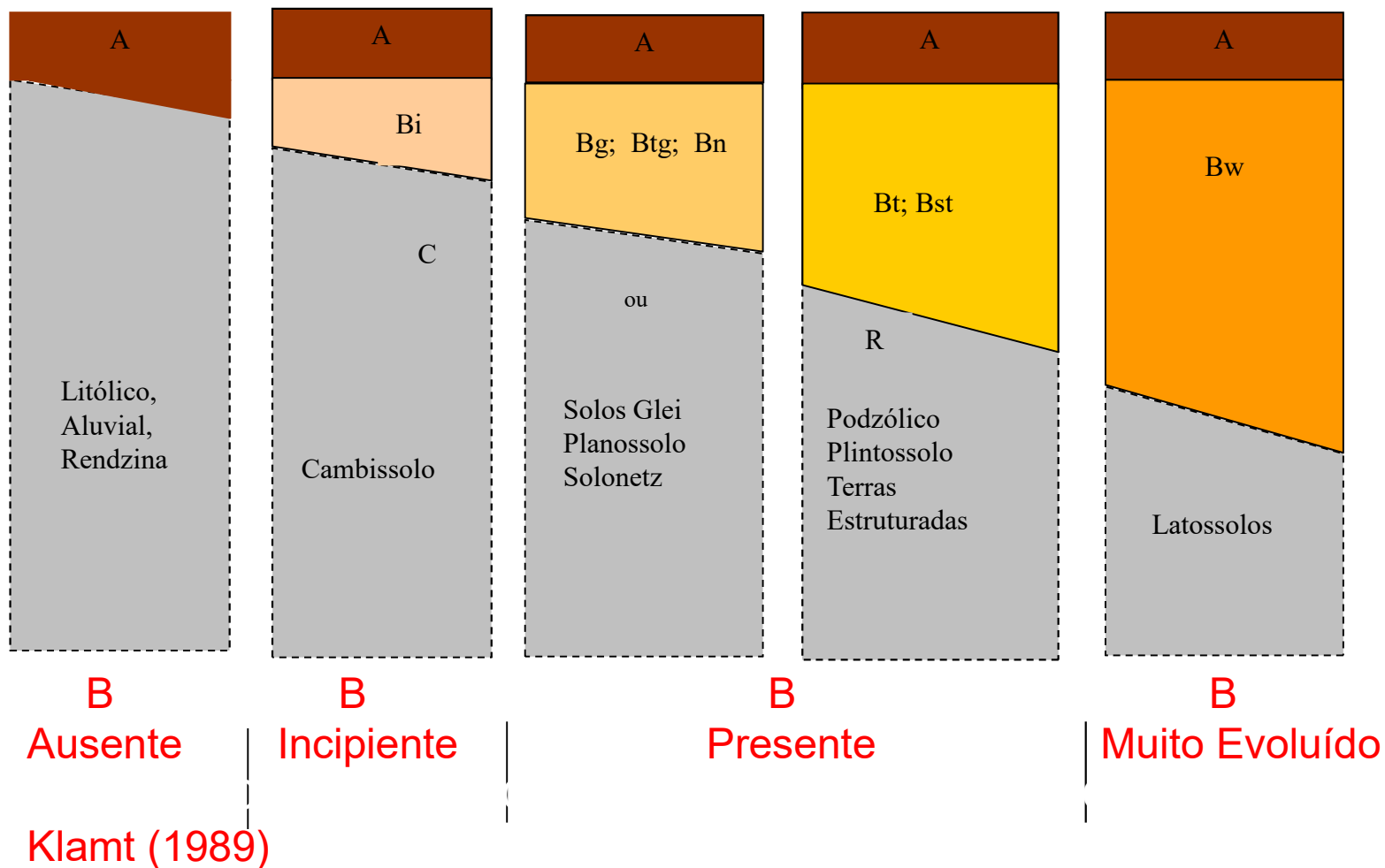
Pluviosidade e Insolação

A temperatura e a umidade de equilíbrio
das camadas

O meio físico

- A formação dos solos
- Solos tropicais
- Diferenças de comportamento geotécnico entre solos zonais
- A pedologia
- A classificação MCT
- O comportamento resiliente

Desenvolvimento Pedogenético dos Solos



Laura Motta

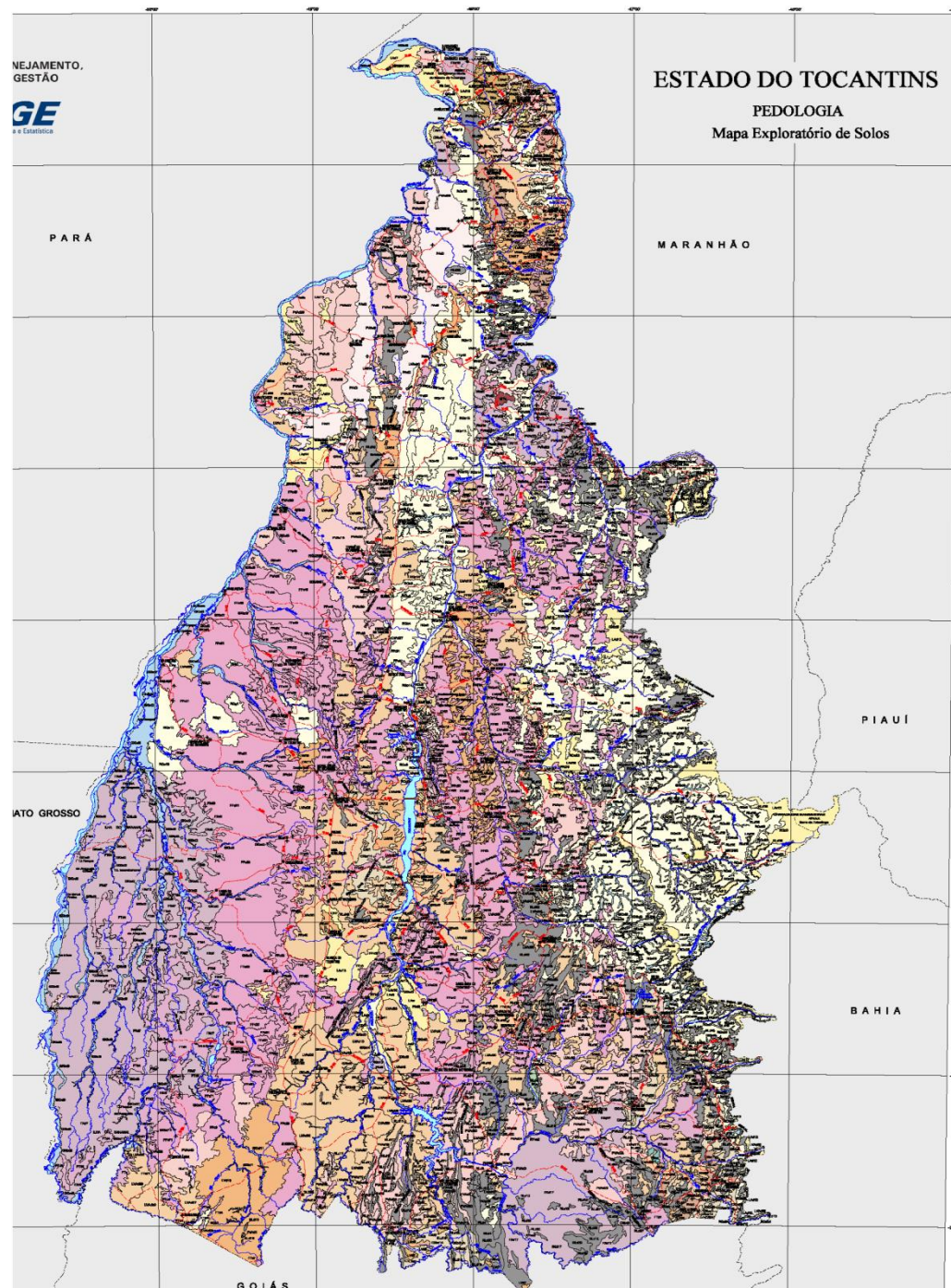
Solos lateríticos e lateritas abundantes no Brasil



Laura Motta COPPE/UFRJ

[illegible]

Mapa pedológico solos Tocantins

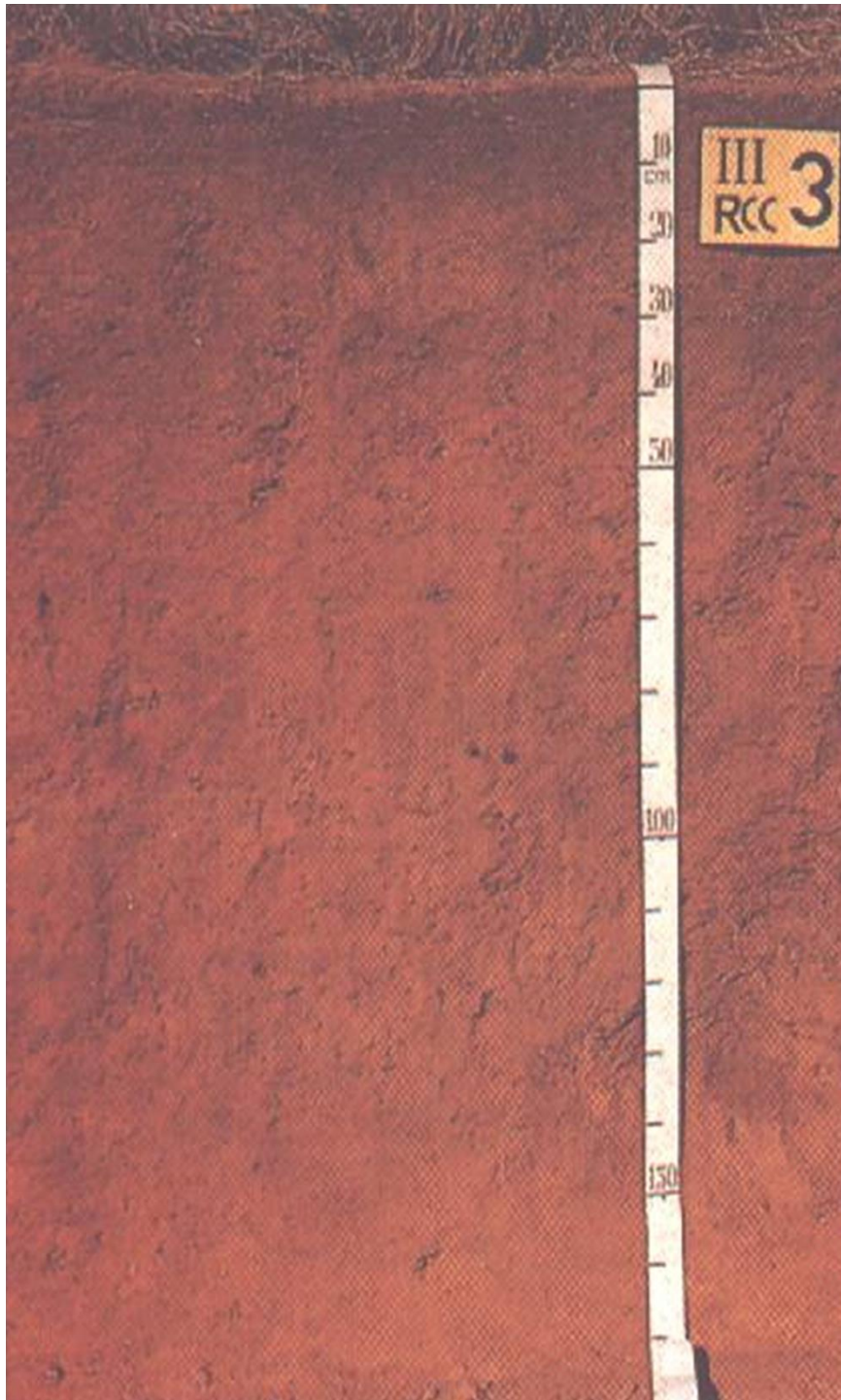


Exemplo perfil - Tocantins



Palmas (2005)





Horizonte B latossólico Bw

- **Subsuperficiais**
- **Sem minerais primários de fácil intemperização**
- **Concentração de argila 1:1 (caulinita) e sesquióxidos livres**
- **Baixa capacidade de troca catiônica**



Laura Motta

Solos tropicais



Laura Motta

Método MCT

Seleção inicial de solos finos

- Os solos tropicais: as classificações tradicionais não se aplicam bem
- **Classificação MCT** (Miniatura, Compactado, Tropical)

Ensaaios para a classificação:

- **Compactação e perda por imersão**

Classificação MCT

No Brasil, o Engenheiro J. S. Nogami desenvolveu uma adaptação do equipamento de compactação utilizando corpos de provas de dimensões reduzidas para um ensaio que **utiliza o mesmo princípio do MCV** (denominado de Mini-MCV – Parsons/Inglaterra).

Metodologia MCT

M – Miniatura

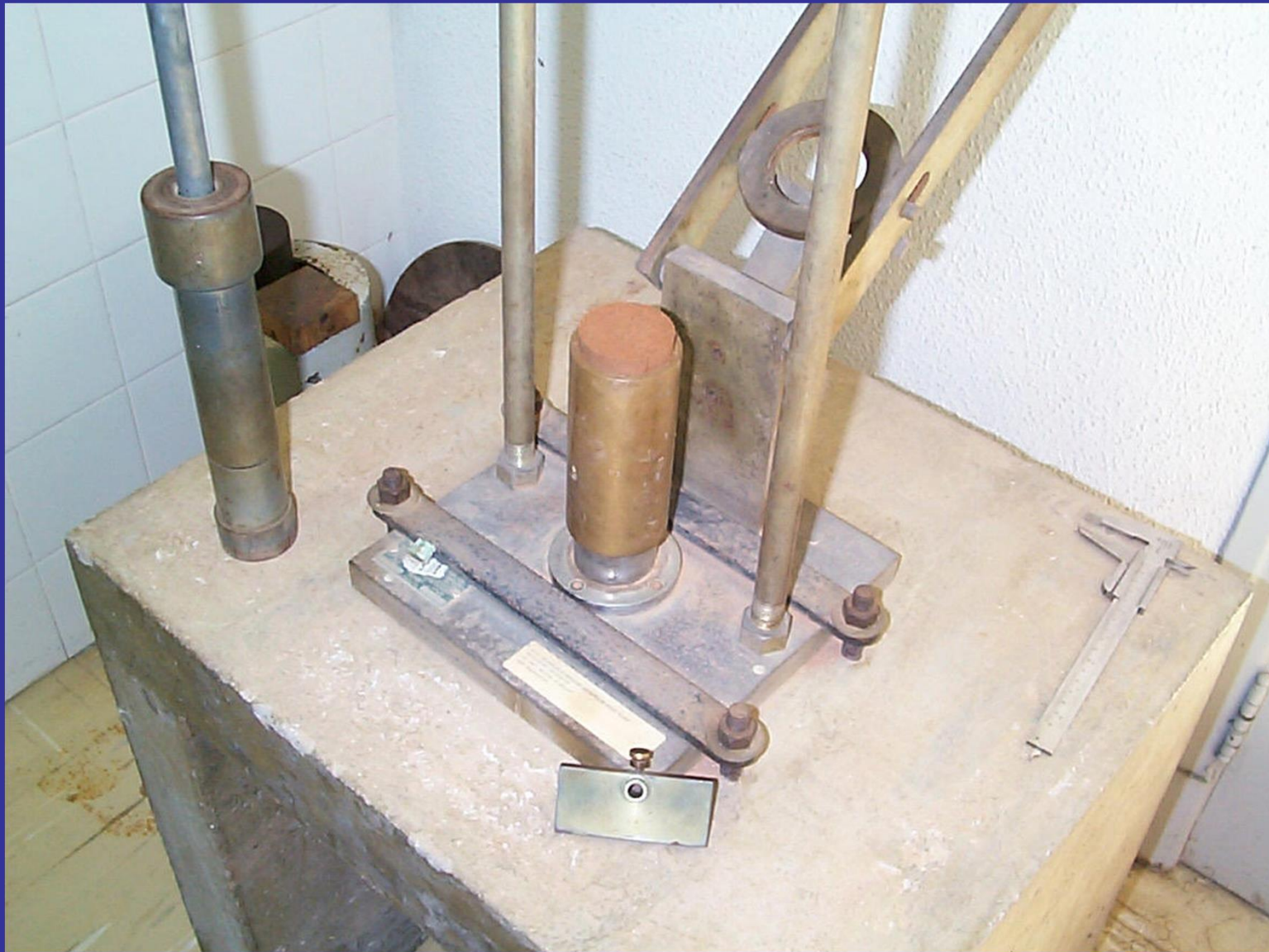
C – Corpos de prova compactados

T – Solos tropicais

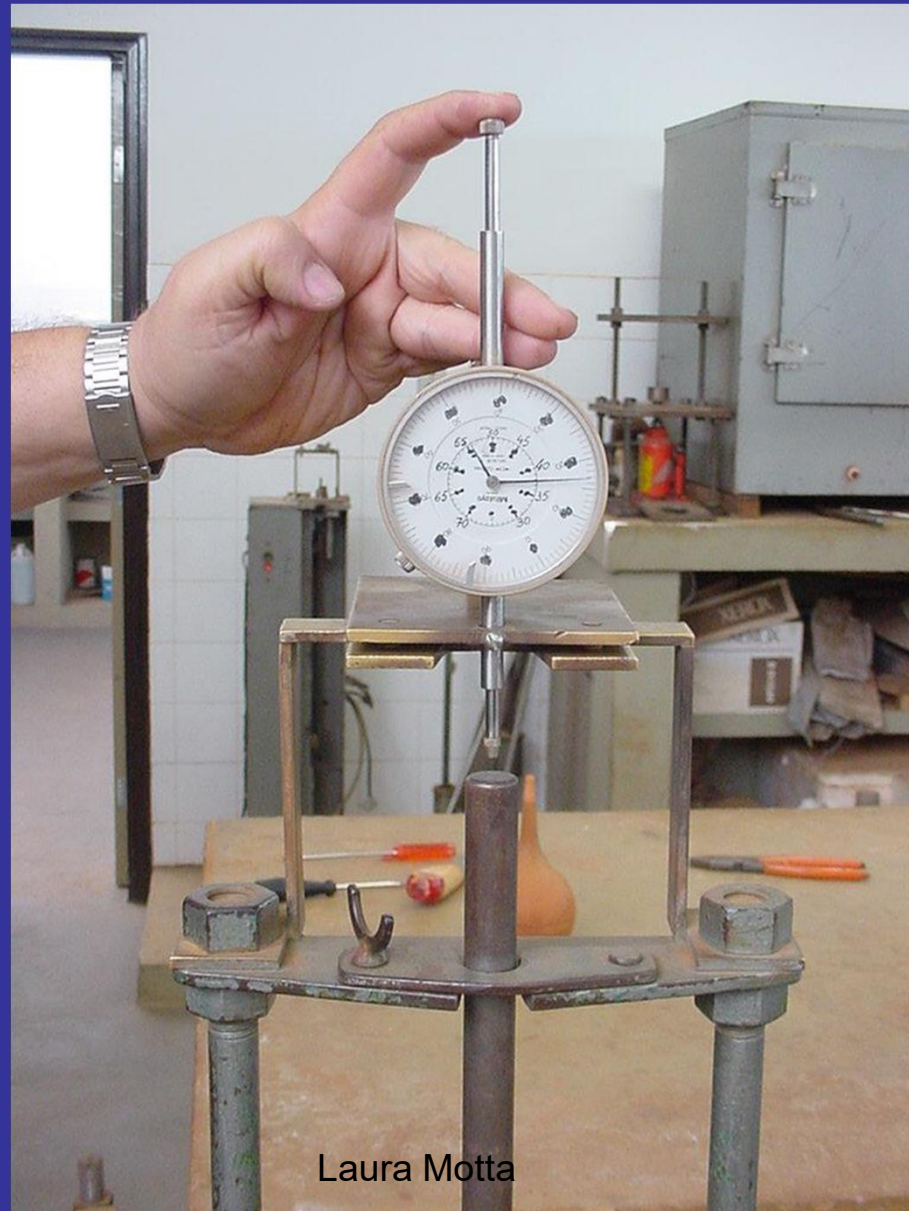


Vista do Equipamento MCT no Laboratório

Laura Motta

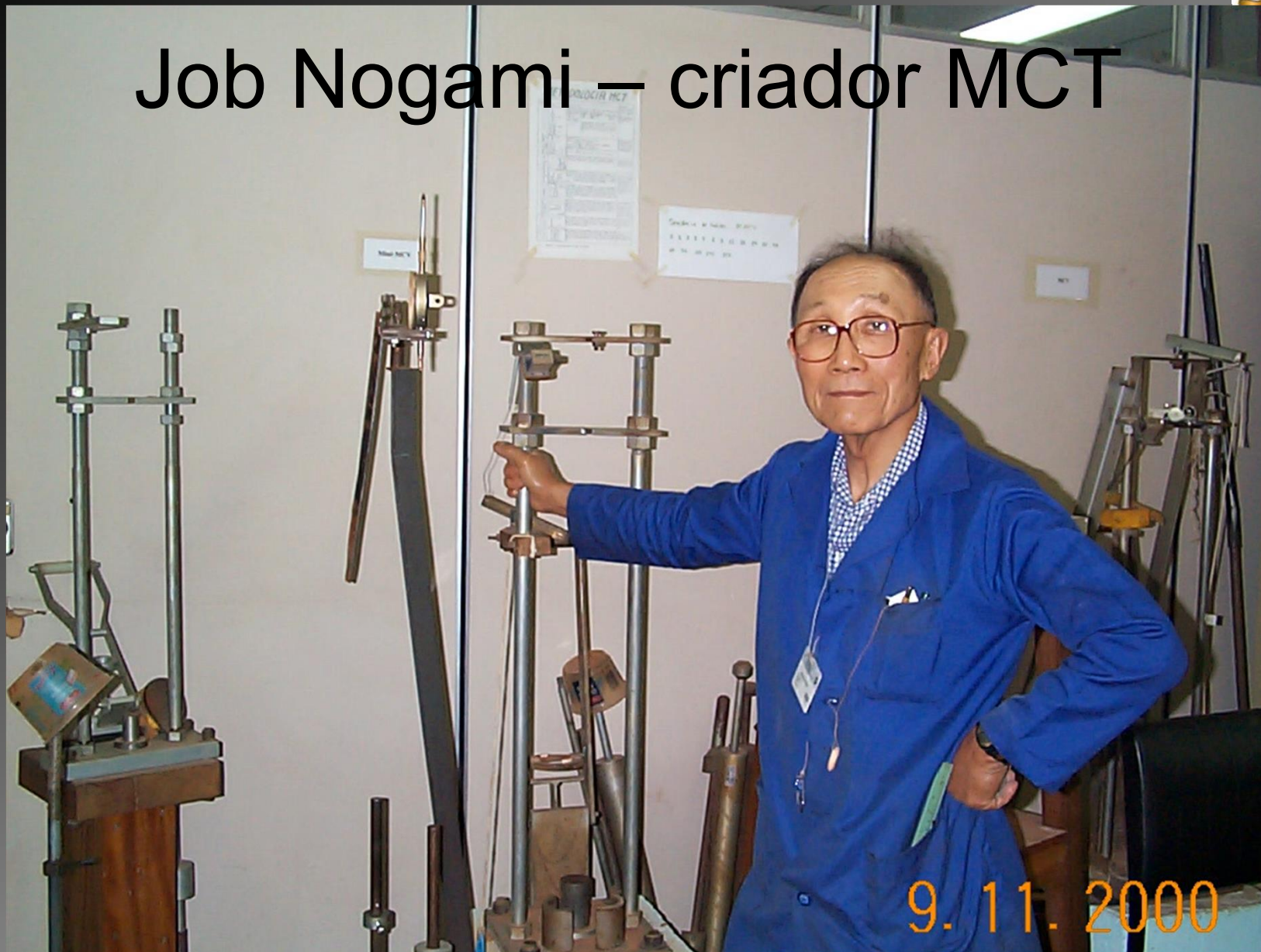


Laura Motta



Laura Motta

Job Nogami – criador MCT



Laura Motta

Parâmetros para Classificação:

- c' - Coeficiente angular de uma curva de deformabilidade do solo
- d` - Coeficiente angular do ramo seco de uma curva de compactação – 12 golpes
- Pi - Índice de perda de massa por imersão dos CPs em água

Ensaio de perda por imersão -MCT



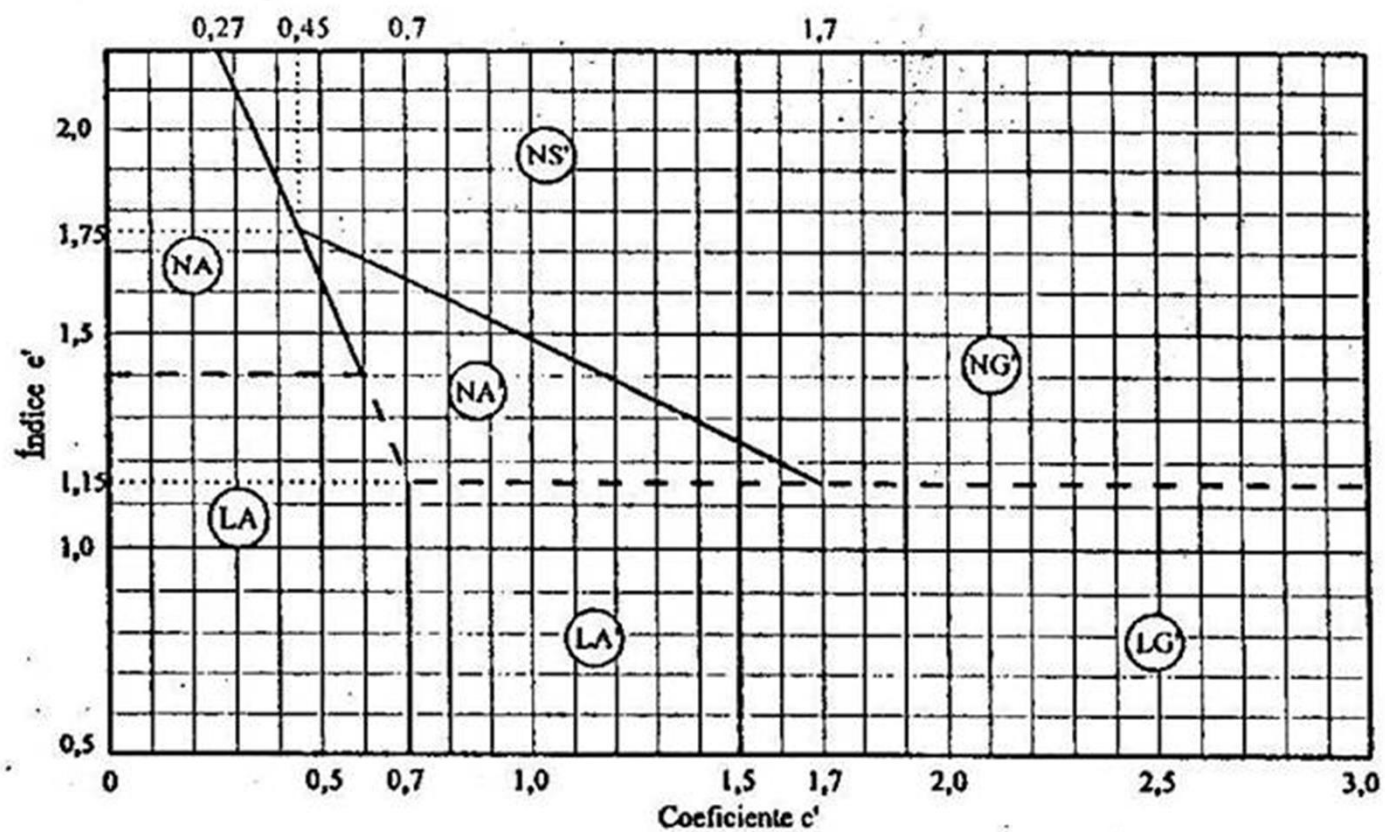
Laura Motta

Perda por imersão - MCT



Laura Motta

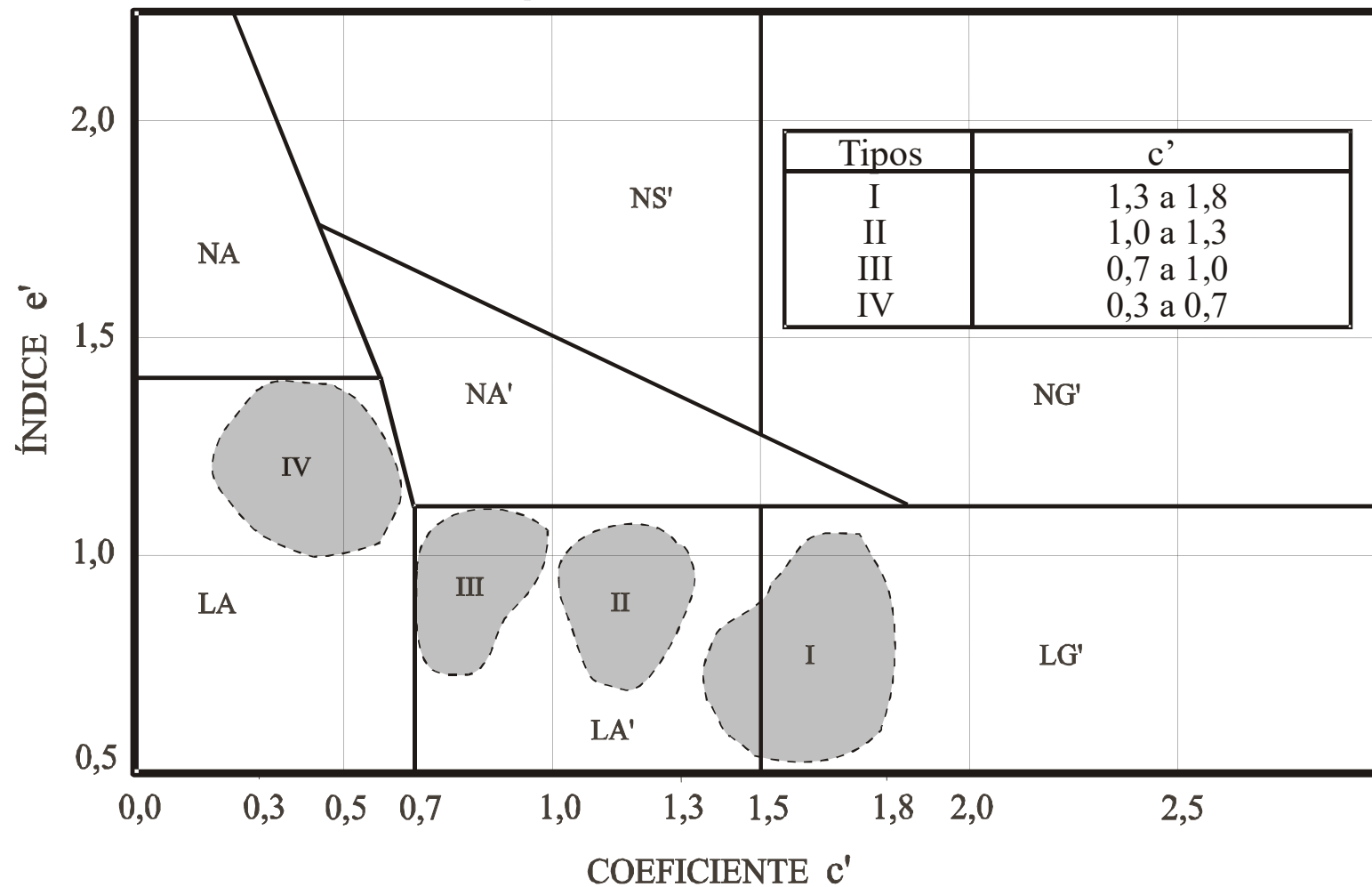
Gráfico da Classificação MCT de solos



L= LATERÍTICO
N= NÃO LATERÍTICO
A= AREIA
A'= ARENOSO
G'= ARGILOSO
S'= SILTOSO

Método MCT

- áreas I, II, III e IV são preferenciais



A pergunta é:

- Será que os ensaios tradicionais permitem:
 - Calcular o estado de tensões e deformações?
 - Prever o desempenho do pavimento?



Ensaio CBR

Materiais: Propriedades Mecânicas

DEFORMABILIDADE – Mecânica dos Pavimentos

- **Considera a aplicação da carga móvel dos veículos**
- **Parcela elástica: Módulo de elasticidade ou de resiliência**
- **Parcela plástica: Deformação permanente (associado à ATR)**

Solos e britas: triaxial de carga repetida

**Misturas asfálticas e solos estabilizados quimicamente:
Compressão diametral de carga repetida.**

Materiais de pavimentação sob o ponto de vista da Mecânica dos pavimentos

Ensaio triaxiais de carga repetida
para
Solos, materiais de base e sub-base

Seleção de materiais geotécnicos

Características de deformabilidade de solos e britas:

- Ensaios de carga repetida
 - Deformação elástica: Módulo de resiliência (MR)
 - Modelos de comportamento do MR
 - Deformação permanente: modelo de previsão do acomodamento (*shakedown*)

Critérios de seleção dos materiais

Solos e britas

Com o ensaio triaxial de carga
repetida:

Módulo de resiliência (parcela elástica)

Deformação permanente (parcela plástica)



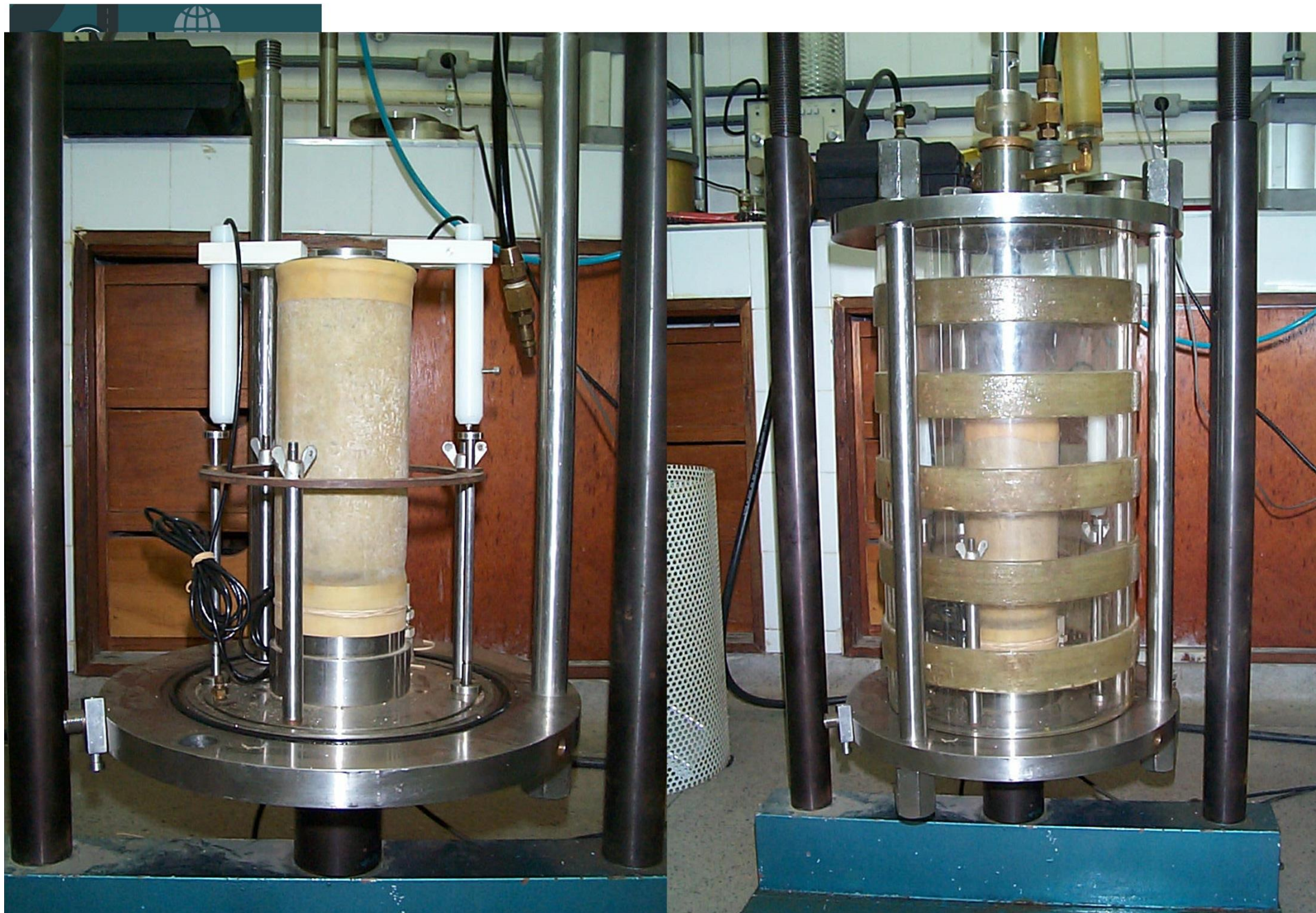
Ensaio de Carregamento Cíclico

TRIAxIAL

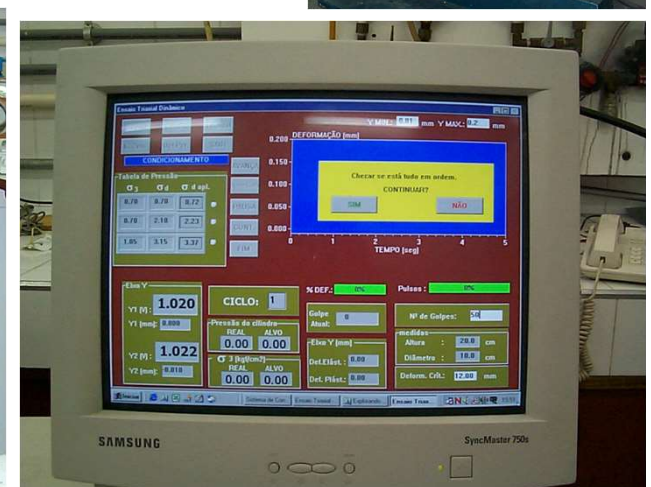
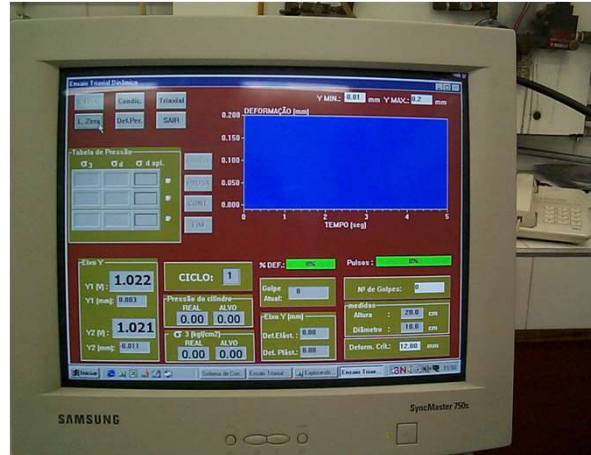
10 x 20

15 x 30)



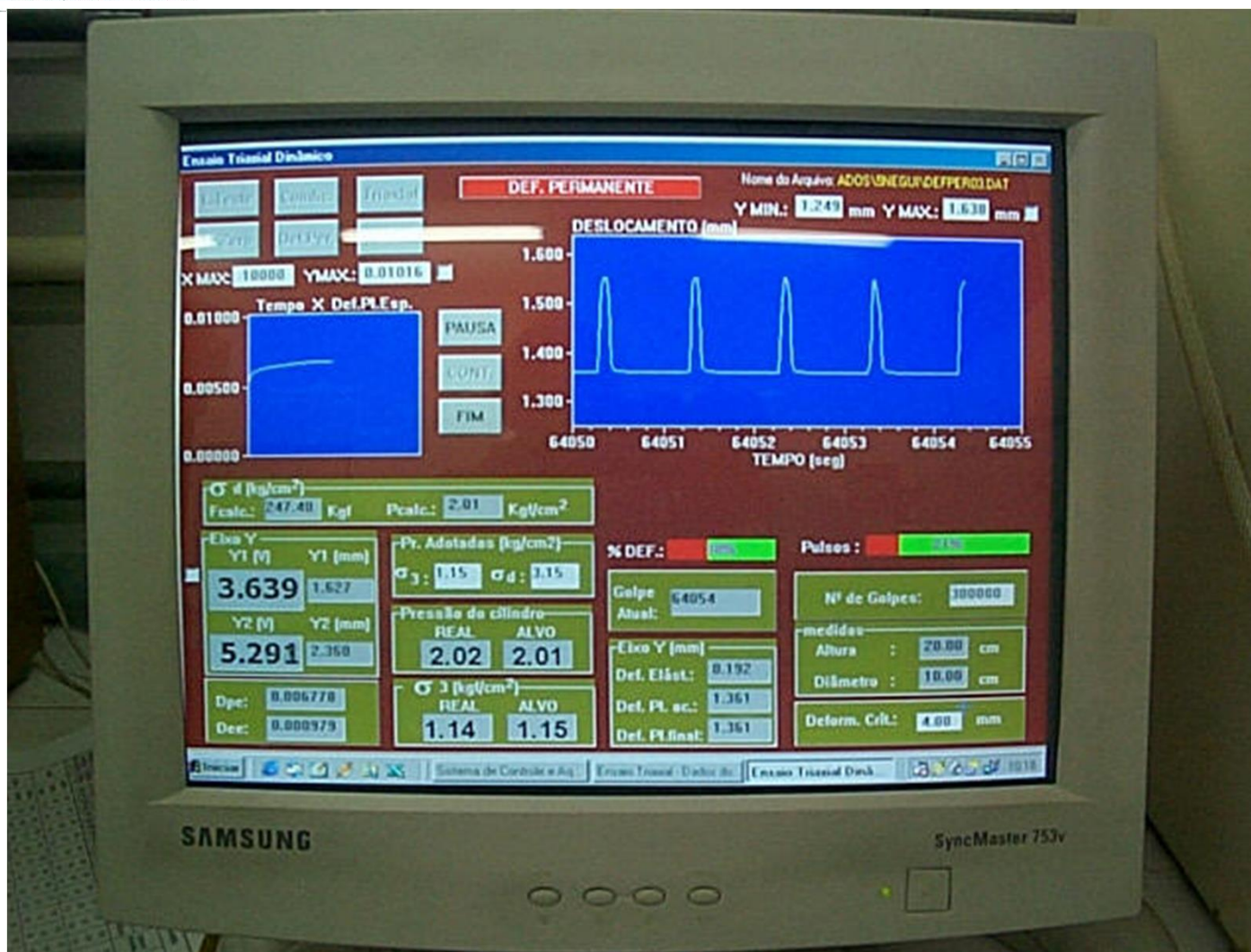


Laura Motta COPPE/UFRJ



Laura Motta COPPE/UFRJ

Exemplo de registro das deformações elásticas e plásticas



Módulo de resiliência

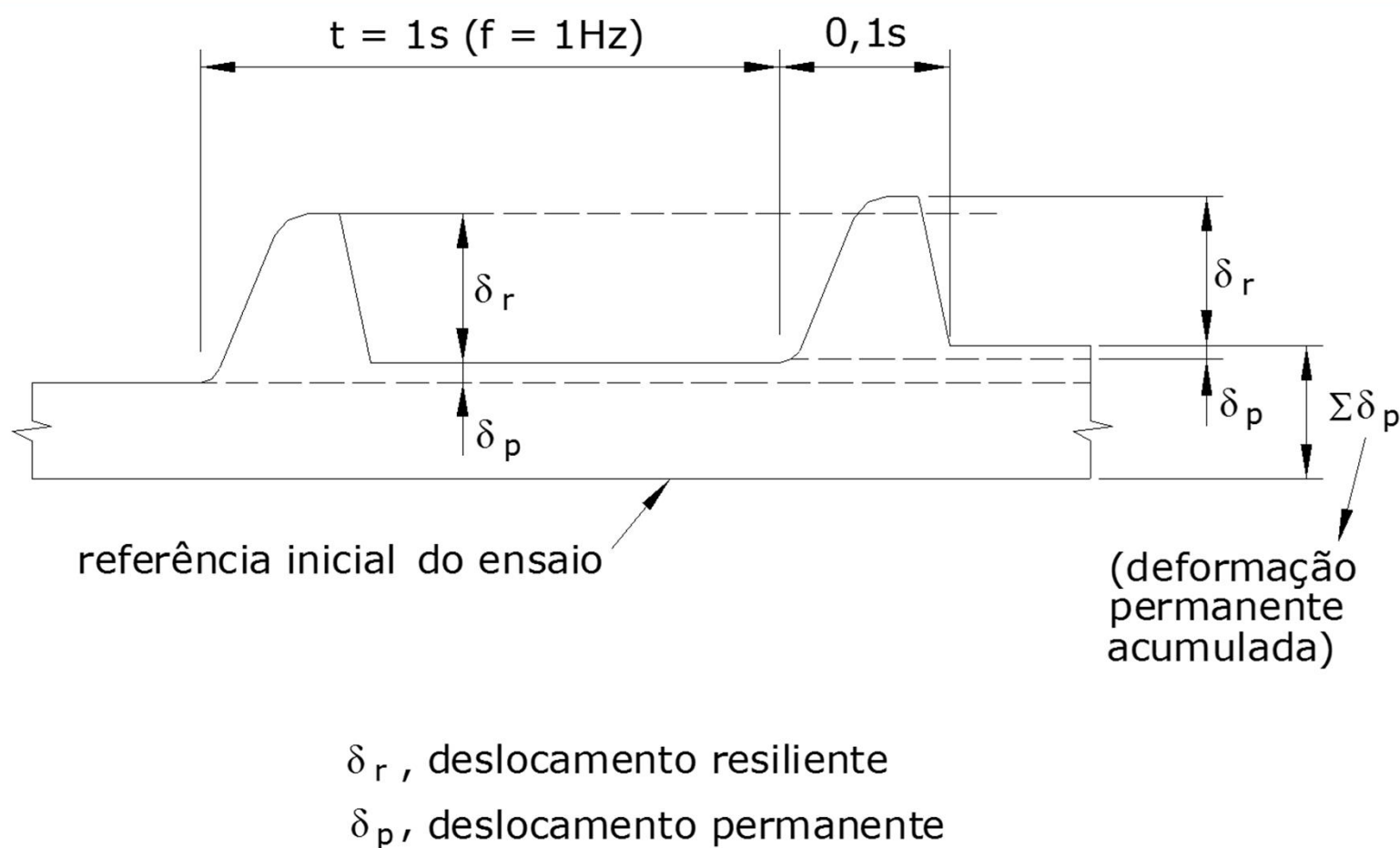
- O módulo de resiliência é o módulo de deformação elástica a cargas repetidas
- Definido como:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_1}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0}$$

- $\varepsilon_t = \varepsilon_r + \varepsilon_p$

Ensaio Triaxiais de Carga Repetida



Modelo esquemático de registro dos deslocamentos verticais em oscilógrafo dos ensaios triaxiais de cargas repetidas

Laura Motta COPPE/UFRJ

Módulo de Resiliência de solos e britas

Por definição:

Módulo de resiliência de um solo:

é a relação entre a tensão desvio (σ_d) aplicada repetidamente e a deformação elástica axial (ϵ_a) resultante

para uma certa condição de ensaio (número de repetições da carga, tempo de aplicação, frequência, umidade, densidade, tipo de compactação, etc)

$$MR = \sigma_d / \epsilon_a$$

Ensaio: triaxial dinâmico DNER ME 131/94



Significado e uso

ensaio de módulo de resiliência

➤ determina uma relação básica entre tensão e deformação dos materiais, para uso na análise estrutural do pavimento como sistema em camadas.

➤ provê uma forma de caracterização dos materiais de construção de pavimento, incluindo o solo do subleito:

- sob uma variedade de condições (umidade, densidade, etc)
- estados de tensão que simulam as condições de um pavimento sob cargas em movimento.



Resumo do ensaio triaxial dinâmico

- Uma tensão cíclica axial repetida de grandeza fixada, duração de carga (0,1s) e duração do ciclo (1s) é aplicada a um corpo de prova cilíndrico.
- Durante o ensaio, o corpo de prova é submetido a pares de tensão axial cíclica (dinâmica) e a tensão confinante (estática) dentro de uma câmara triaxial.
- A deformação axial resiliente (recuperável) do corpo de prova é medida e usada para calcular o módulo resiliente.



A deformabilidade elástica dos solos compactados

- Depende:
 - Granulometria
 - Umidade e densidade
 - Grau de compactação
 - Forma das partículas
 - Natureza mineralógica (portanto da formação do solo)
 - Energia de compactação
 - Níveis de tensão



A deformabilidade elástica dos solos compactados

- Em geral é altamente dependente do estado de tensões: “E” não linear
- Portanto é necessário se definir modelos de comportamento resiliente de solos que variam com a natureza do solo, densidade, umidade e grau de saturação

$$MR = f(\sigma_3, \sigma_d)$$



CARACTERÍSTICAS RESILIENTES DOS SOLOS

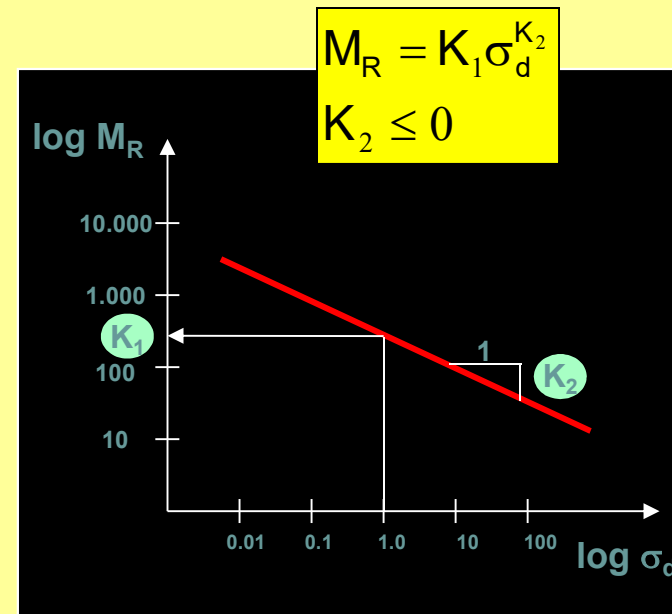
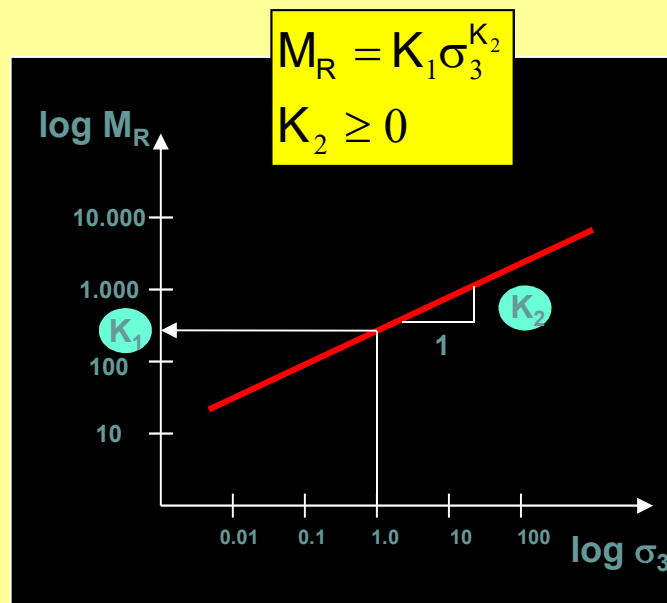
Tradicional



MODELO ÚNICO
linear log x log

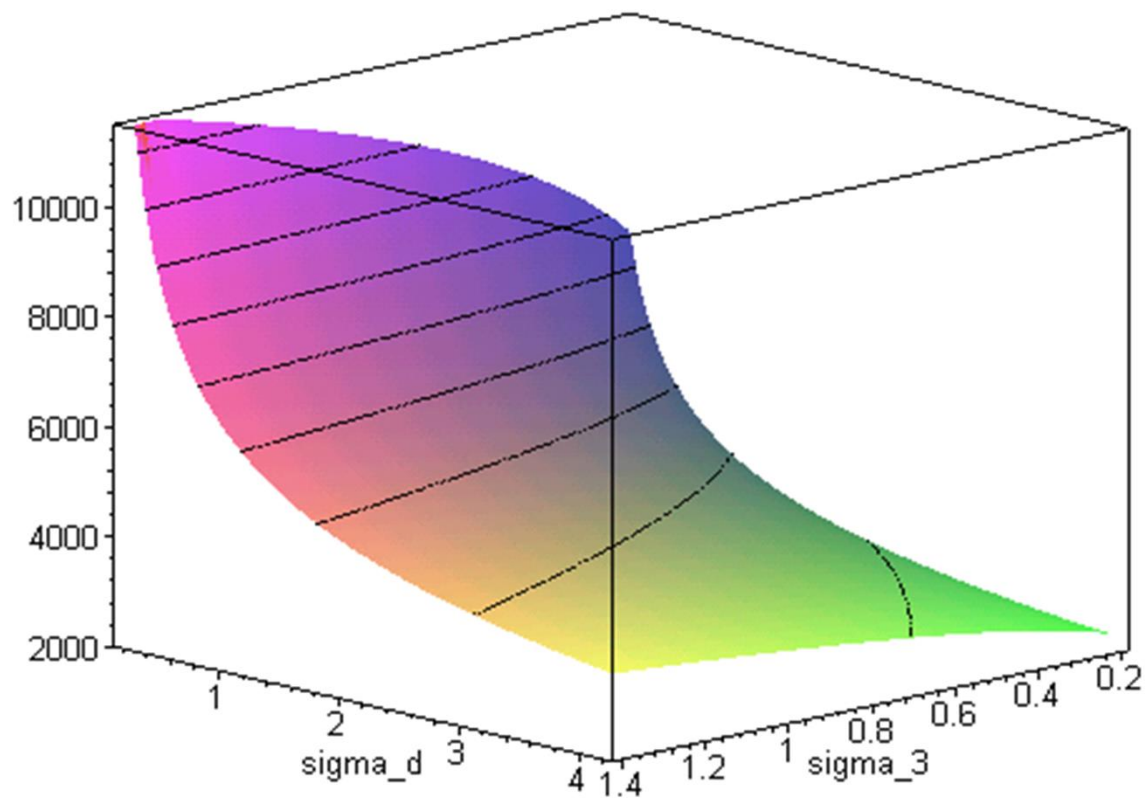


arenoso ... $f(\sigma_3)$
argiloso ... $f(\sigma_d)$

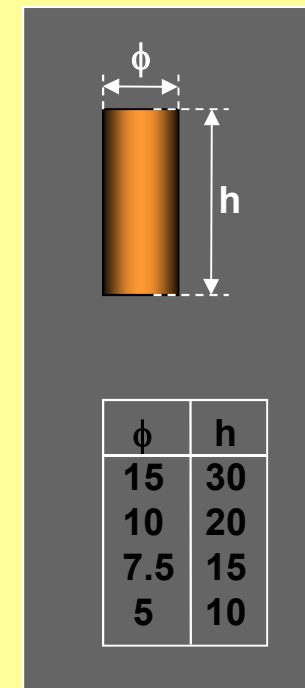
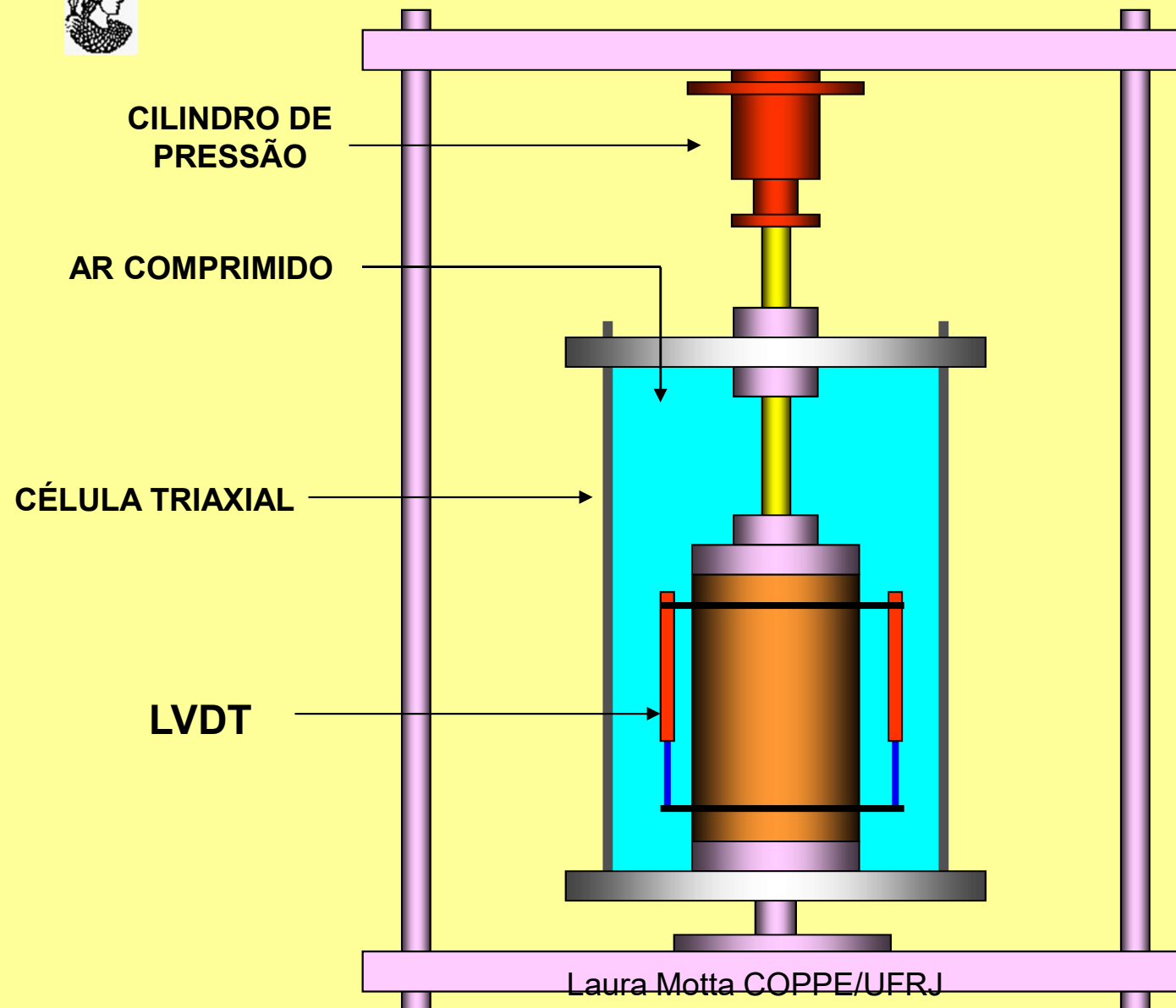


Modelo composto (Macêdo, 1996)

$$MR = K_1 \sigma_3^{k2} \sigma_d^{k3}$$



ENSAIO TRIAXIAL DE CARGA REPETIDA –solos e britas



Triaxial cp 10x20 ou 15x30 (cm)



Laura Motta COPPE/UFRJ

Triaxial cp 10x20 ou 15x30 (cm)



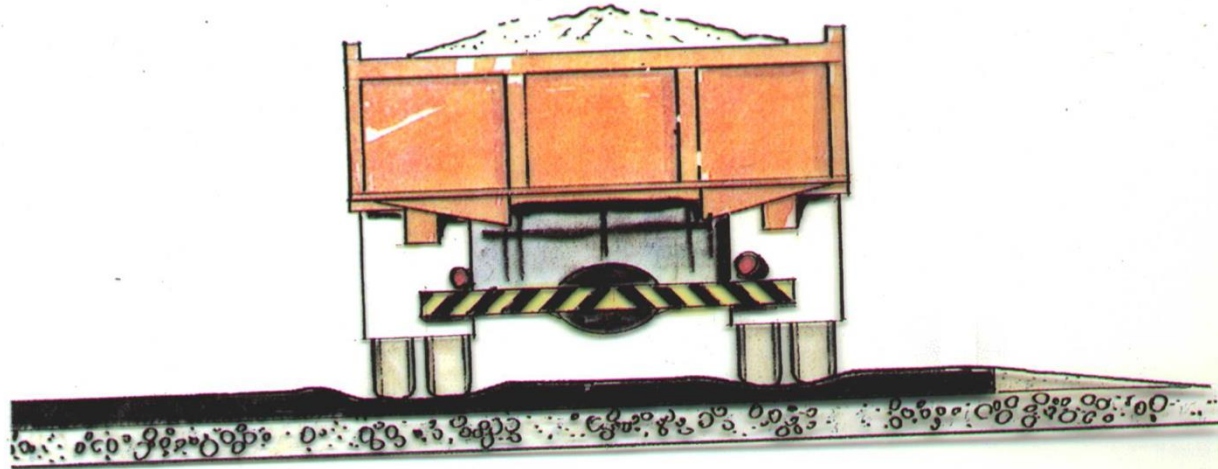


Afundamento trilha de roda (ATR)

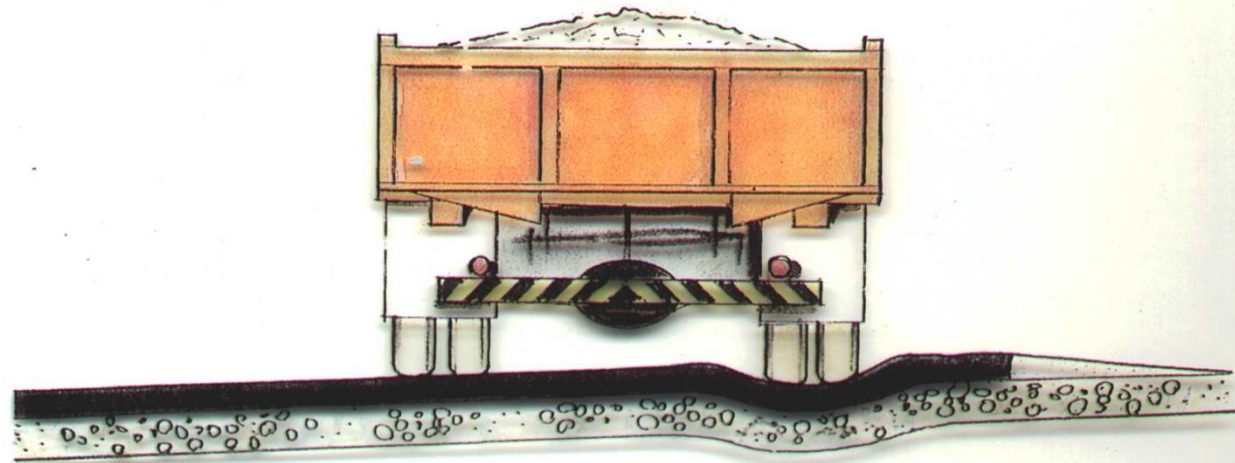


Dois tipos de deformação permanente

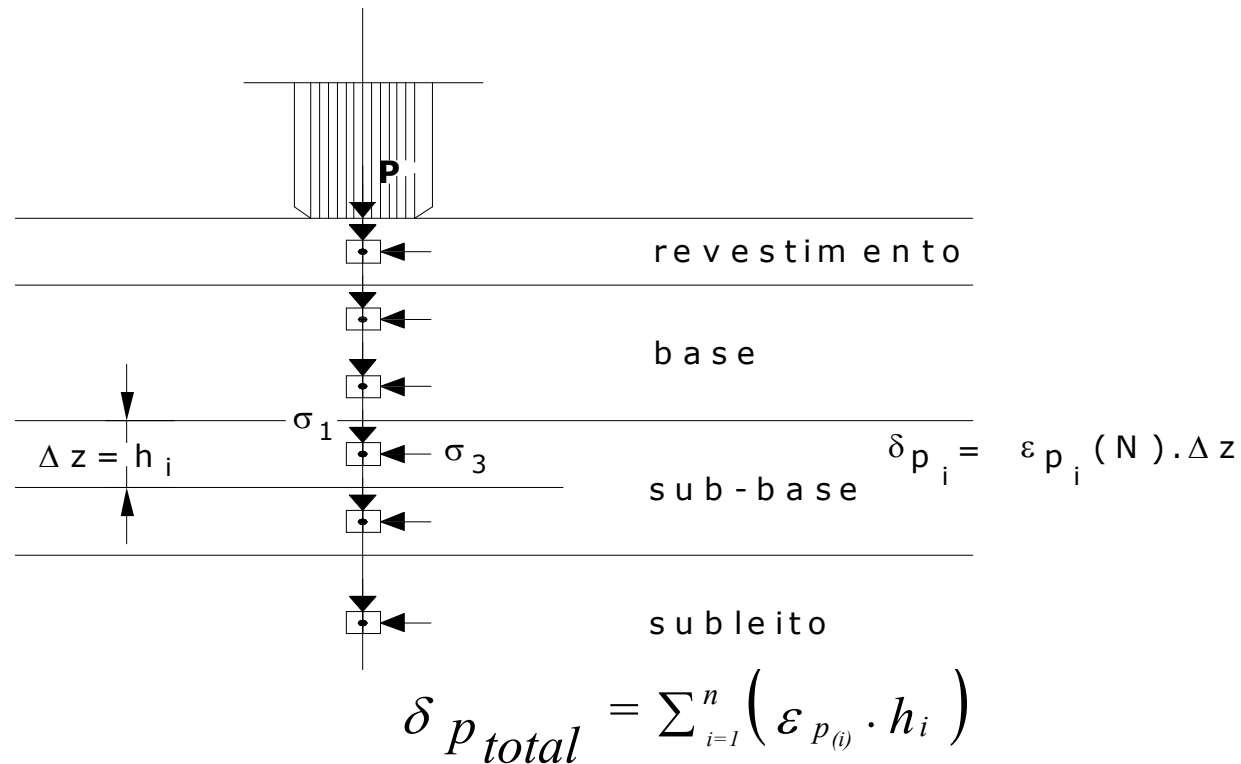
Somente do revestimento



Das camadas inferiores ao rev.

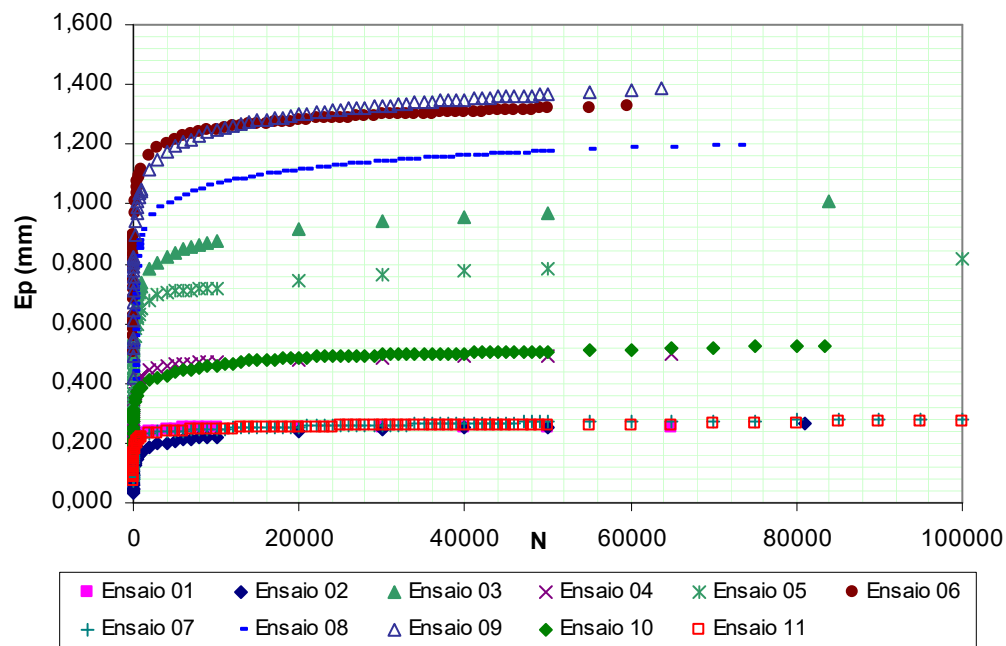


Deformação Permanente (DP) de solos e materiais granulares



Todas as camadas podem contribuir

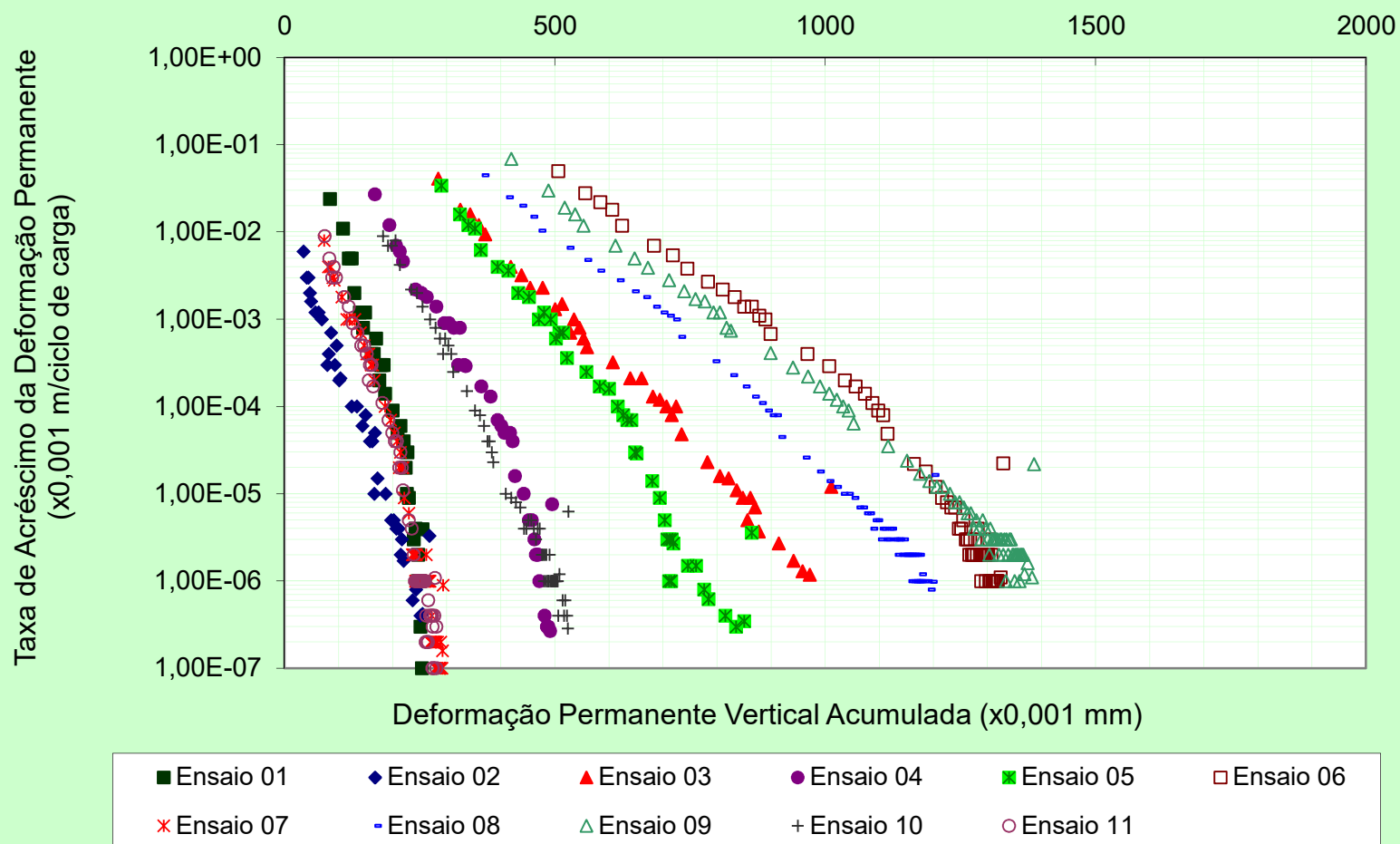
Modelo DP desenvolvido Guimarães (2009)



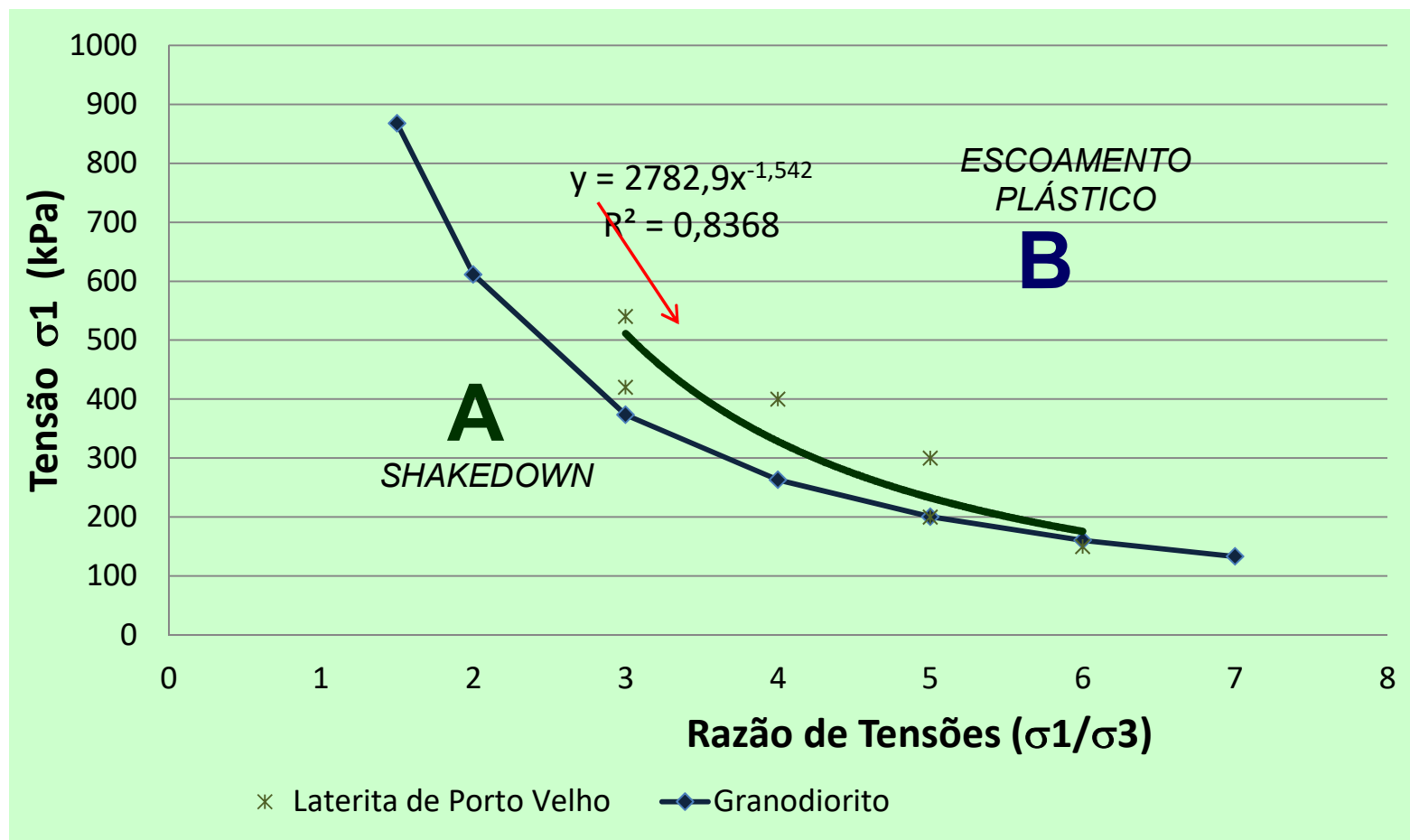
Deformação Permanente Acumulada por Ciclos de Cargas em Ensaios Triaxiais de Cargas Repetidas.

Exemplo: Brita graduada (GUIMARÃES, 2009)

Análise do acomodamento (shakedown)



LIMITE DO SHAKEDOWN – LATERITA Guimarães (2009)



REVESTIMENTO Concreto asfáltico

Para que serve a dosagem de CA?

- Determinar teor de projeto de ligante
- Determinar volumetria
- Características mecânicas e de trabalhabilidade
- Otimizar os componentes
 - Estudar várias composições granulométricas e o empacotamento
 - Previsão de comportamento no campo
- **Ter ligação com o dimensionamento**
 - **Levar em conta a estrutura onde será aplicada**

Seleção do Ligante asfáltico

- Novos ensaios de classificação
- Critérios para ligantes modificados
- Leva em conta o clima do local
 - temperatura do ar nos sete dias mais quentes do ano
 - Temperatura mais fria
 - Características que garantam que o ligante não vai ser o responsável pelos defeitos.

Ligantes asfálticos

Novos equipamentos de classificação

103



DSR



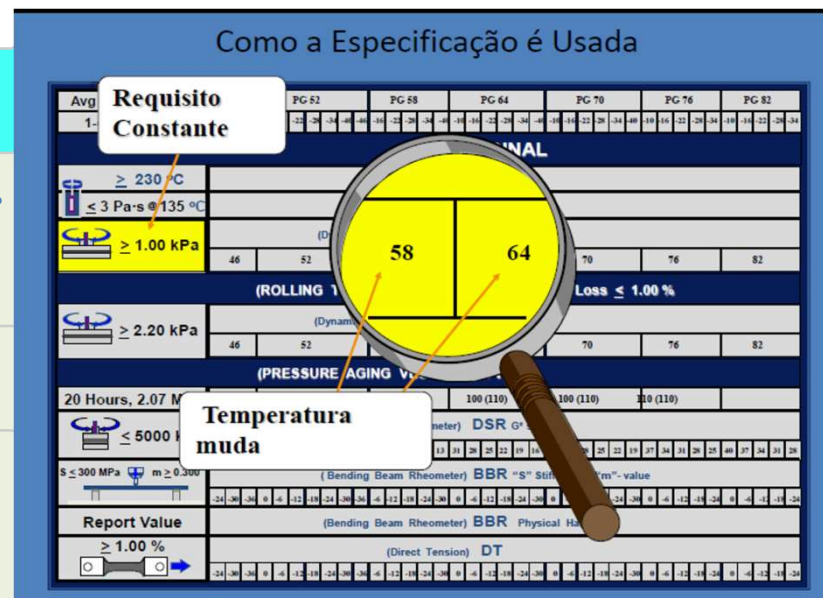
Seleção de ligante

- Temperatura máxima do pavimento PG 64 e 70
- Volume e velocidade do tráfego S, H, V, E

Binder Selection on the Basis of Traffic Speed and Traffic Level M323-13

Nível de tráfego ESALs	Faixa de velocidade		
	>70km/hr	20-70km/hr	<20km/hr
< 10x10 ⁶	S	H	V
10x10 ⁶ - 30x10 ⁶	H	H	V
> 30x10 ⁶	V	V	E

Como a Especificação é Usada



Avg	Requisito Constante	PG 52	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
1	≥ 230 °C						
2	≤ 3 Pa·s @ 135 °C						
3	≥ 1.00 kPa	46	52	58	64	70	76
4	≥ 2.20 kPa	46	52	58	64	70	76
5	20 Hours, 2.07 MPa						
6	≤ 5000						
7	S ≤ 300 MPa m ≥ 0.300						
8	Report Value						
9	≥ 1.00 %						

Temperatura muda

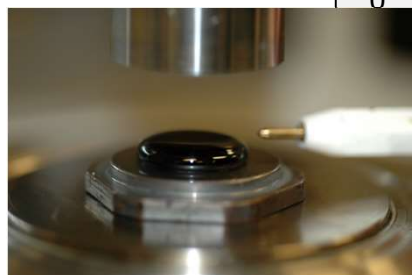
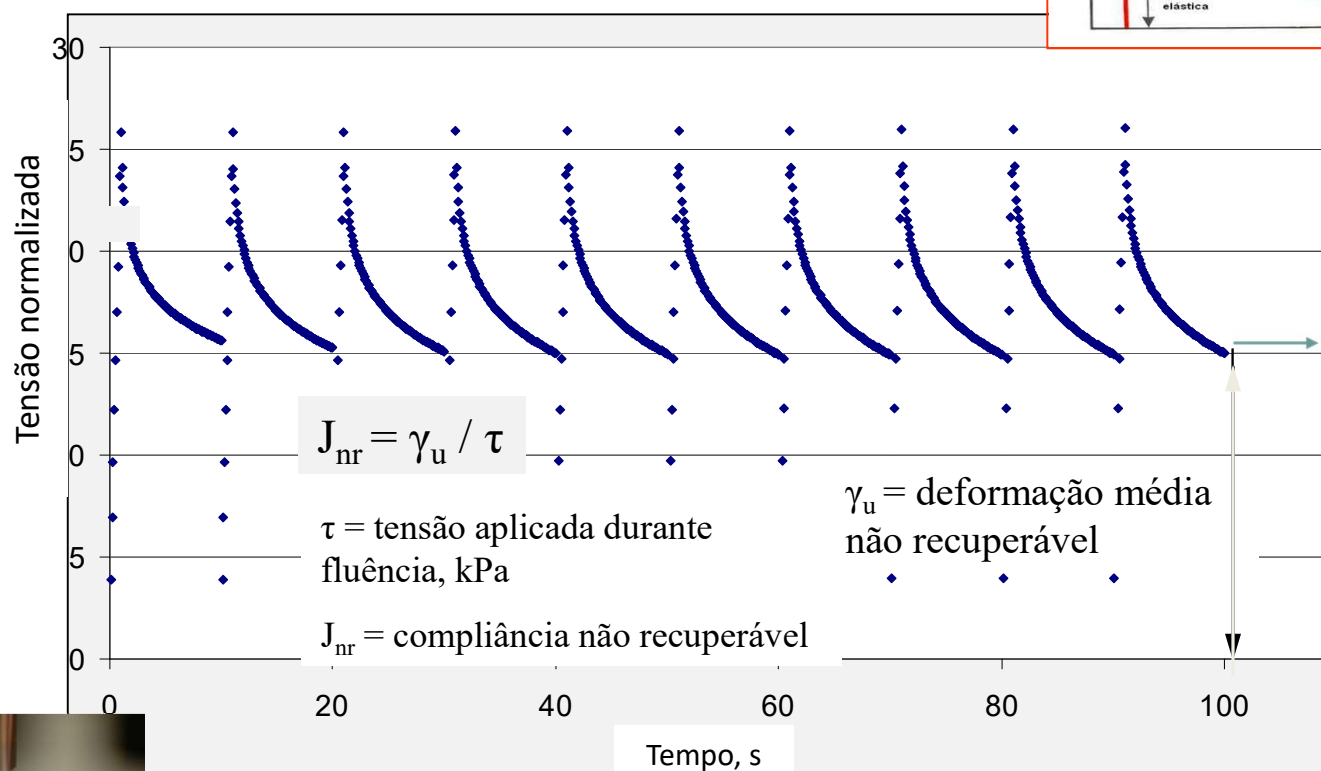
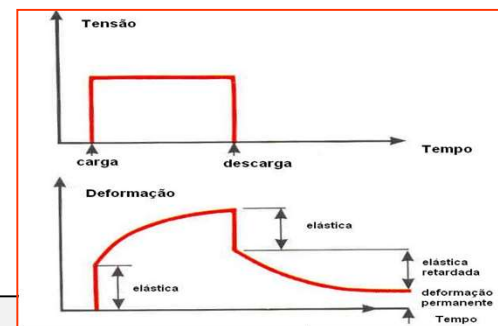


COPPE
UFRJ

Instituto Alberto Luiz Coimbra de
Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

MSCR - Fluência e relaxação por tensões múltiplas

Determinação de J_{nr}



MSCR

Standard Specification for

Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test

AASHTO Designation: M 332-14¹

Rolling Thin-Film Oven Residue (T 240)		
Mass change, max, percent ^f	1.00	
MSCR, T 350: Standard Traffic "S" $J_{w0.2}$, max 4.5 kPa ⁻¹ $J_{w0.6}$, max 75% test temp, °C	64	70
MSCR, T 350: Heavy Traffic "H" $J_{w0.2}$, max 2.0 kPa ⁻¹ $J_{w0.6}$, max 75% test temp, °C	64	70
MSCR, T 350: Very Heavy Traffic "V" $J_{w0.2}$, max 1.0 kPa ⁻¹ $J_{w0.6}$, max 75% test temp, °C	64	70
MSCR, T 350: Extremely Heavy Traffic "E" $J_{w0.2}$, max 0.5 kPa ⁻¹ $J_{w0.6}$, max 75% test temp, °C	64	70

Proposta preliminar seleção de ligantes PG 64

TRAFEGO	VELOCIDADE NORMAL $V > 70 \text{ KM/h}$	VELOCIDADE LENTA $20 \text{ Km/h} < V < 70 \text{ Km/h}$	VELOCIDADE estacionária $V < 20 \text{ Km/h}$
medio	PG 64S-16 50/70	PG 64S-16 50/70	PG 64H-16 30/45
pesado	PG 64H-16 30/45 AME 55/75 AB 8	PG 64H-16 30/45 AME 55/75 AB 8	PG 64V-16 AME 60/85
muito pesado	PG 64V-16 AME 60/85 AB 10	PG 64V-16 AME 60/85 AB 10	PG 64E-16 AME 65/90

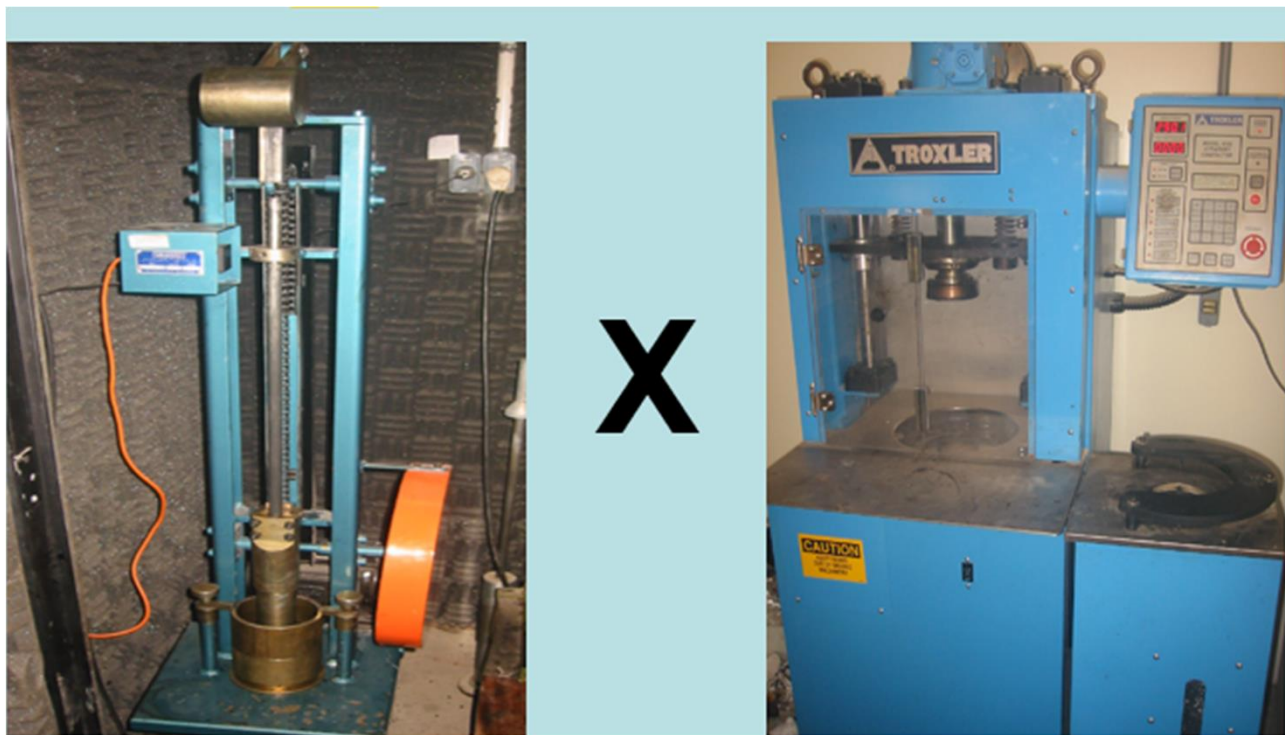
- A capacidade de resistir a DP e fadiga do CAP brasileiro (principais defeitos) é variável e depende dos petróleos e processos empregados;
- Menos problema em estradas de baixo volume de tráfego que é a maior demanda nacional;
- Pode acarretar problemas em locais com alta temperatura de pavimento, carregamento pesado e alto volume de tráfego;

Dosagem x projeto de mistura

- Dosagem é a escolha da **proporção dos constituintes** de modo a se conseguir um bom desempenho da mistura em campo.
- O **desempenho em campo** é estimado a partir de **propriedades** da mistura medidas em **laboratório**:
 - ✓ rigidez, estabilidade, durabilidade, flexibilidade, resistência (ruptura, deformação permanente, fadiga), atrito, permeabilidade, trabalhabilidade.
- **Teor de Projeto** (“ótimo”) de Asfalto: função do critério adotado e tipicamente baseado na **Volumetria** da Mistura mas que pode ser melhorado com outros critérios.

Diferenças Marshall e Superpave

1. Método de compactação: impacto x amassamento



Diferenças Marshall e Superpave

2. Determinação DMT ou Gmm

$$DMT = \frac{M_{cap} + M_1 + M_2 + \dots + M_n}{\frac{M_{cap}}{G_{cap}} + \frac{M_1}{G_1} + \frac{M_2}{G_2} + \dots + \frac{M_n}{G_n}}$$



Diferenças Marshall x Superpave

3. Envelhecimento de Curto Prazo



Sem envelhecimento



Duas horas de envelhecimento

Diferenças

- Representação da granulometria:
- fica mais clara a curva de densidade máxima
- busca compor várias granulometrias com os mesmos agregados mas sem critério específico de escolha.

NOTA: deve-se acrescentar a este método o Critério Bailey de verificação do empacotamento ou o FAD

Vários ensaios diferentes para escolha dos agregados



$$U = \frac{V - (F/G)}{V} \times 100$$

Onde

V = volume do cilindro, ml

F = massa do agregado fino no cilindro (massa total menos a massa do cilindro)

G = densidade específica aparente seca do agregado fino

U = vazios não compactados no material, %

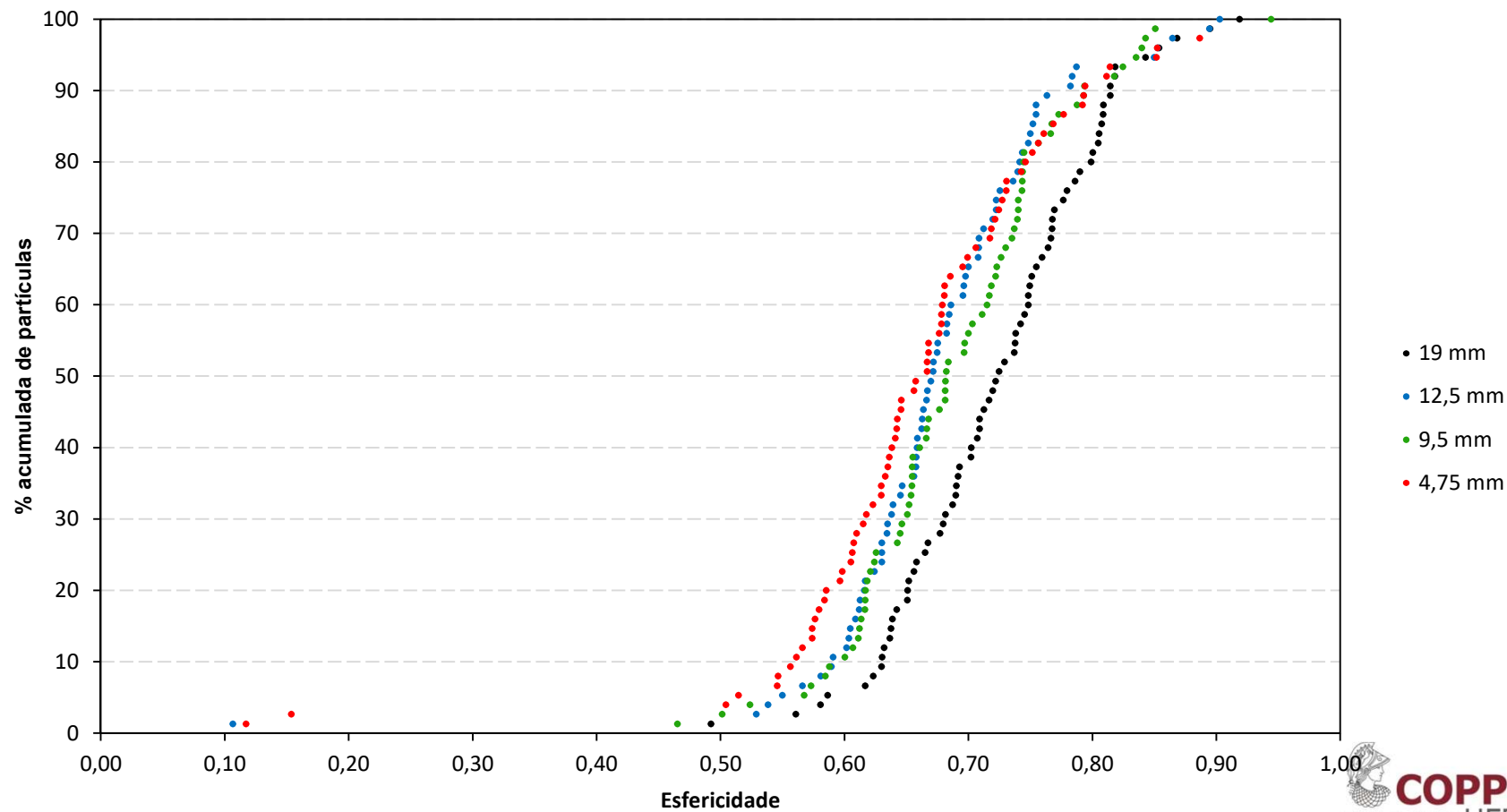


Caracterização de agregados com métodos digitais (AIMS)

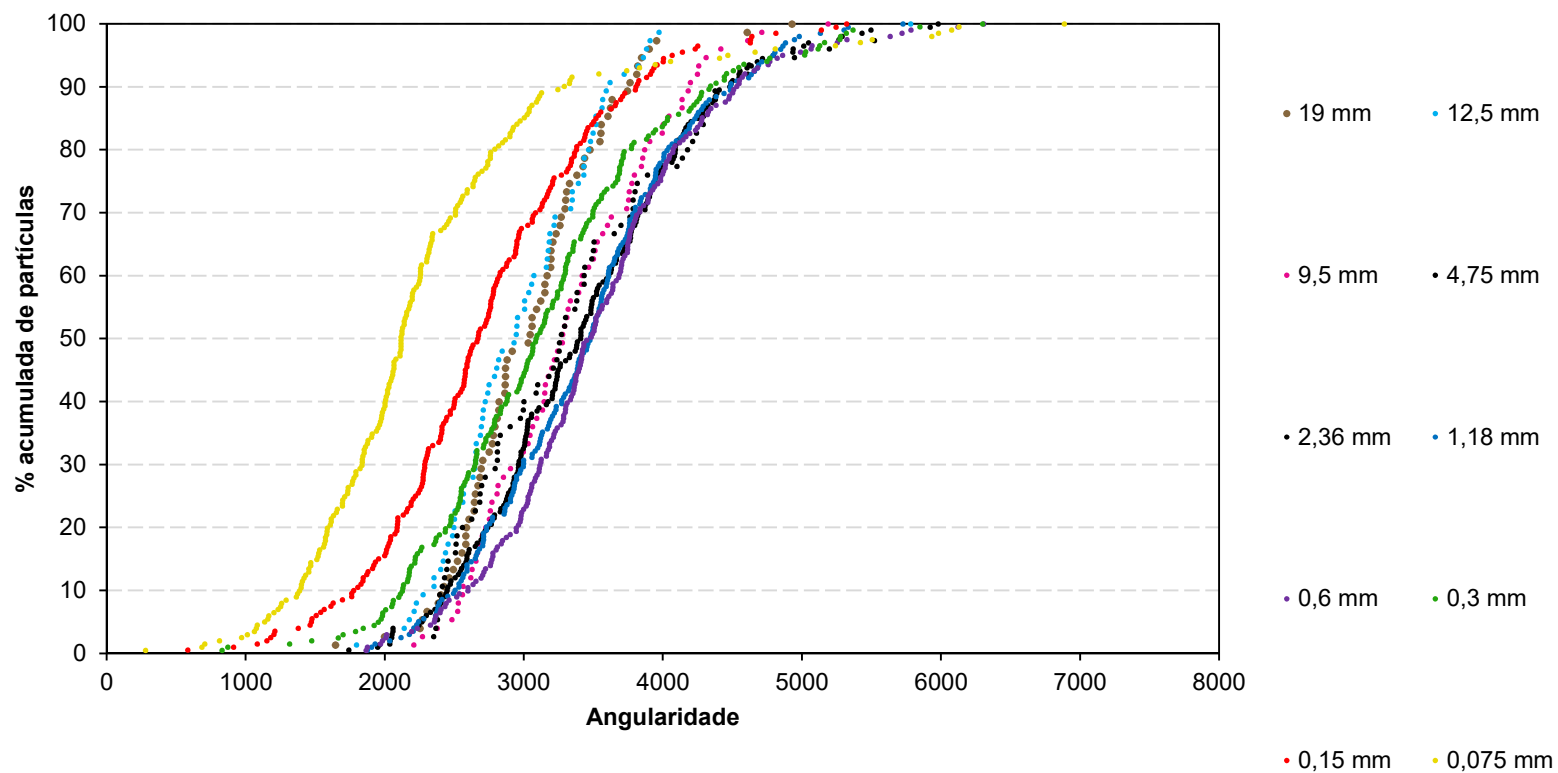
- Aggregate Imaging Measurement System.



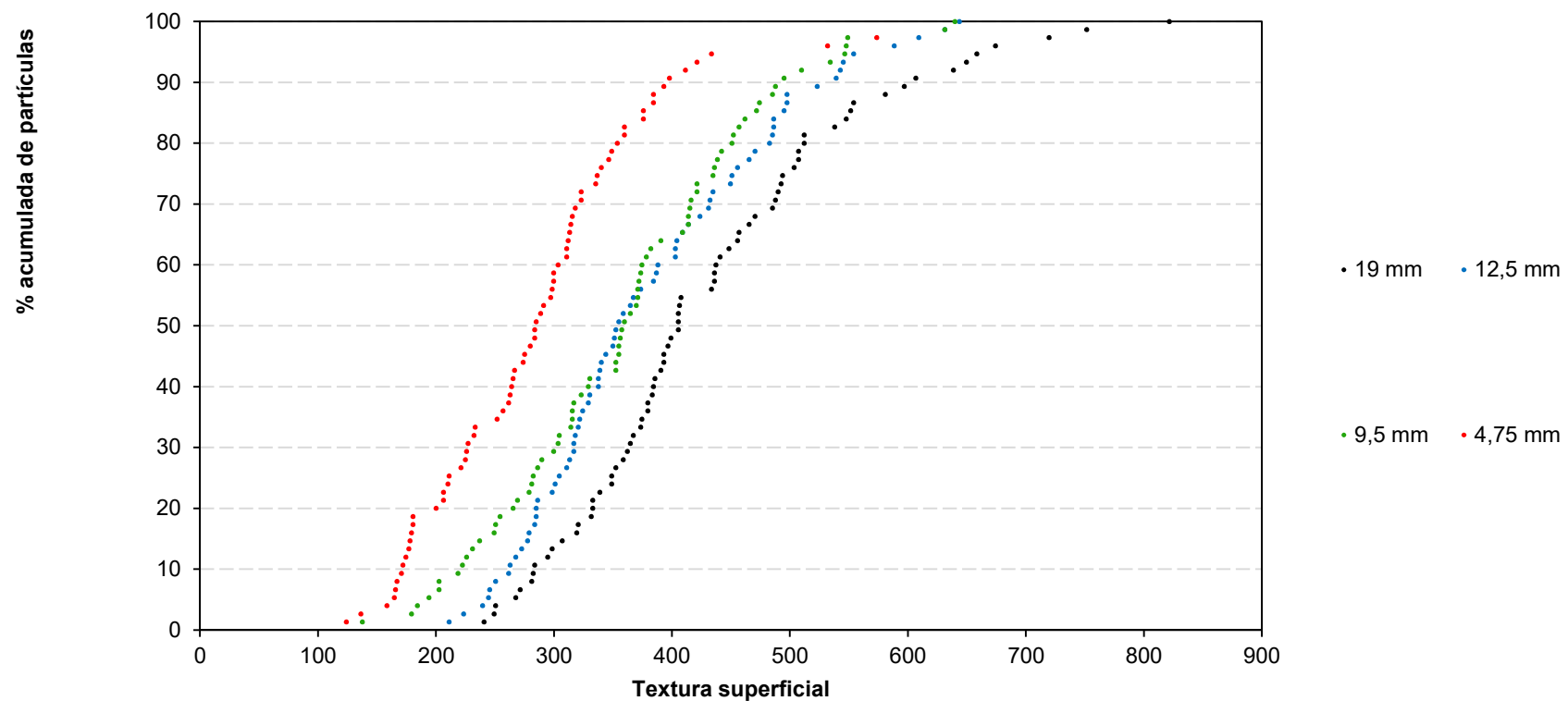
Resultado AIMS -esfericidade



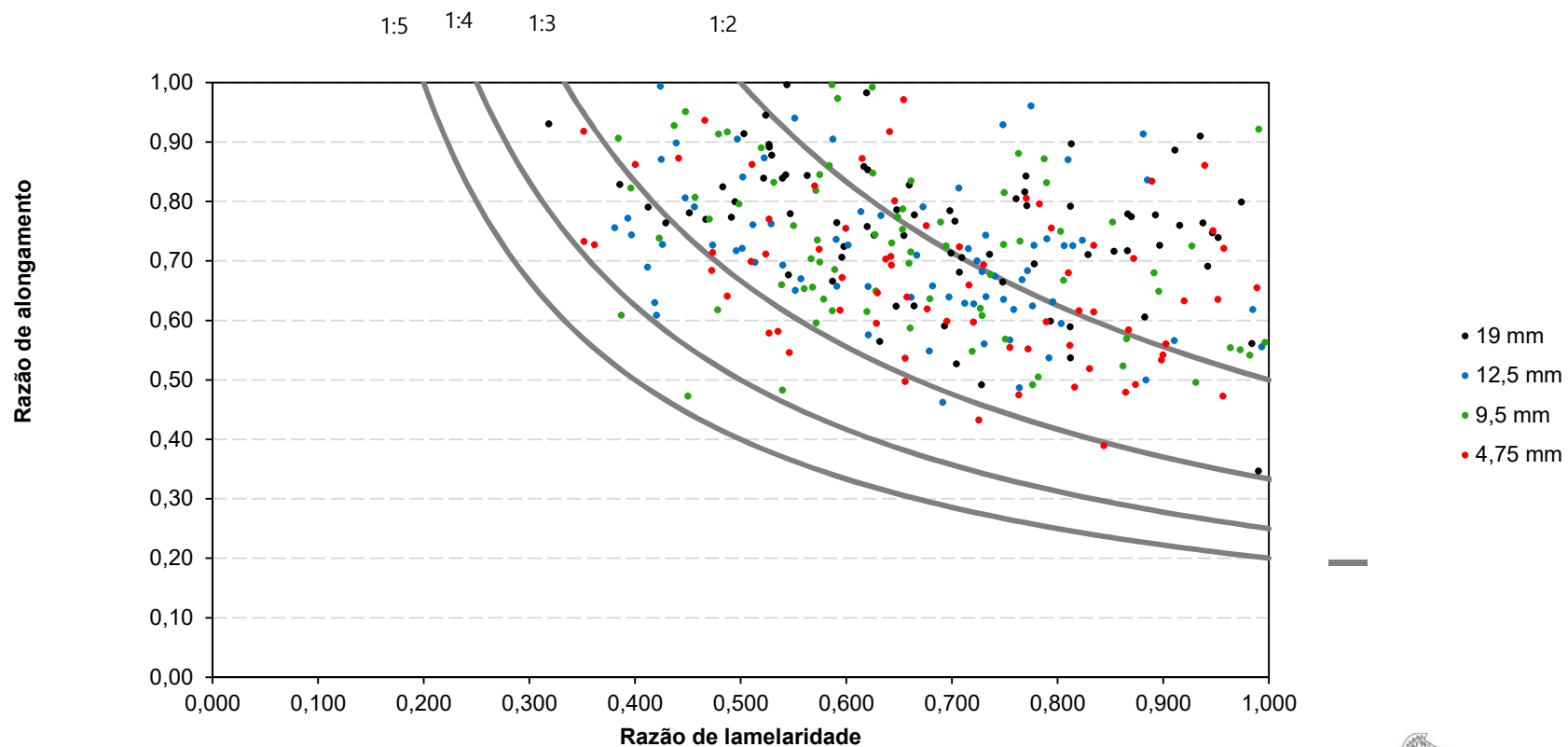
Resultado AIMS Angularidade



Resultado AIMS - Textura

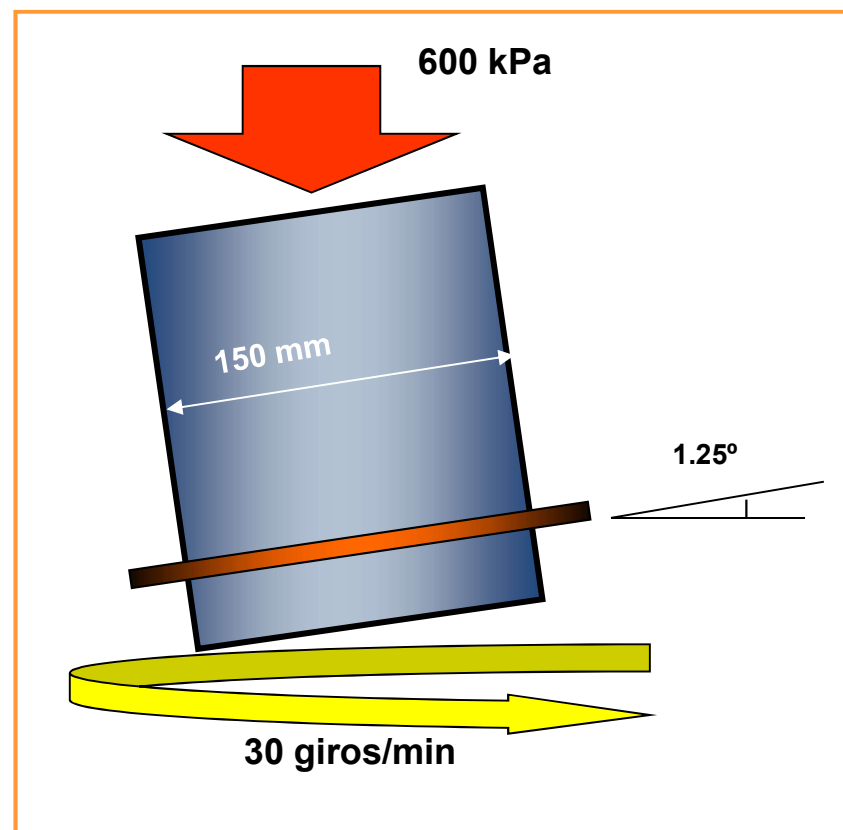
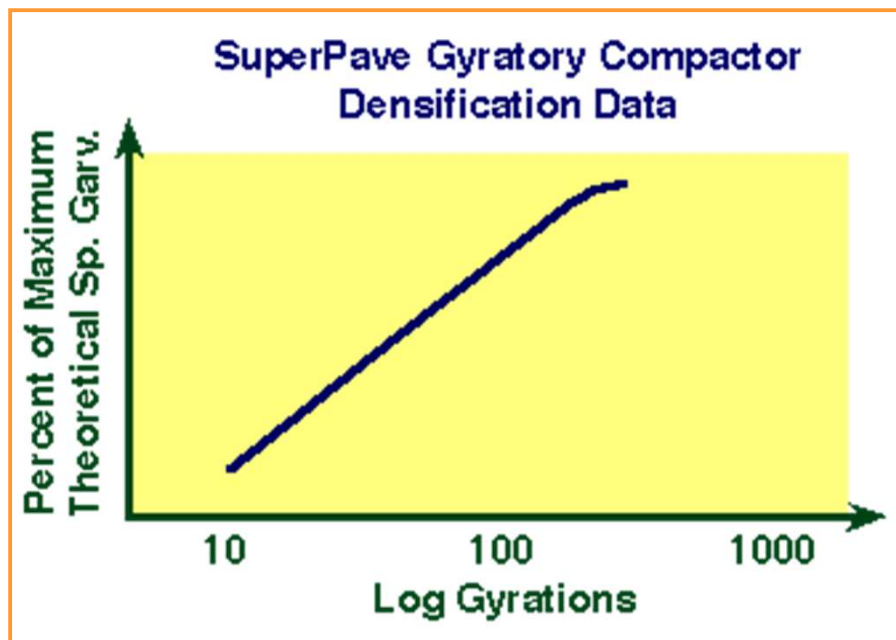


Resultado AIMS - Forma



Diferenças

- Tipo de energia e níveis



Passos da Moldagem – SUPERPAVE



Passos da Moldagem – SUPERPAVE

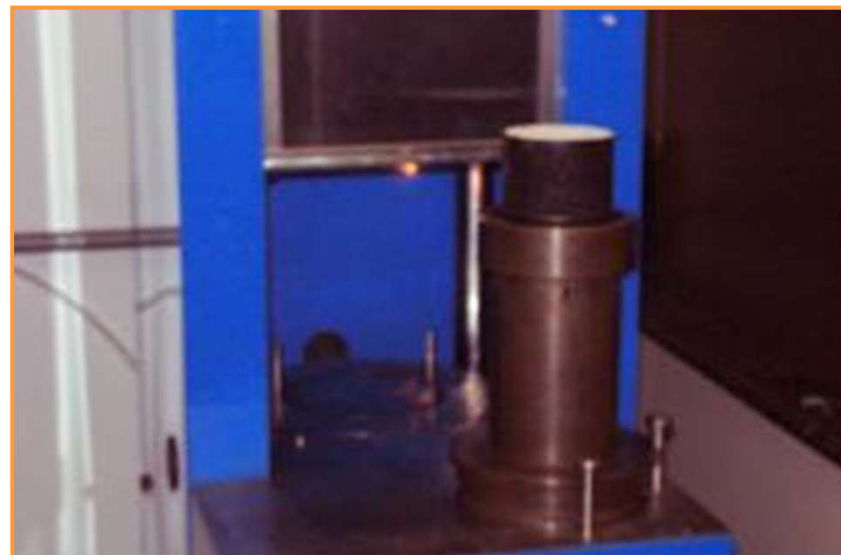
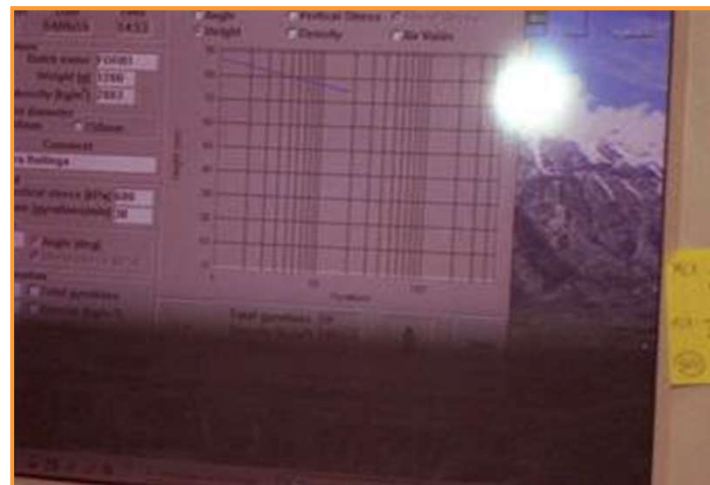


ATENÇÃO
SUPERFÍCIE
QUENTE

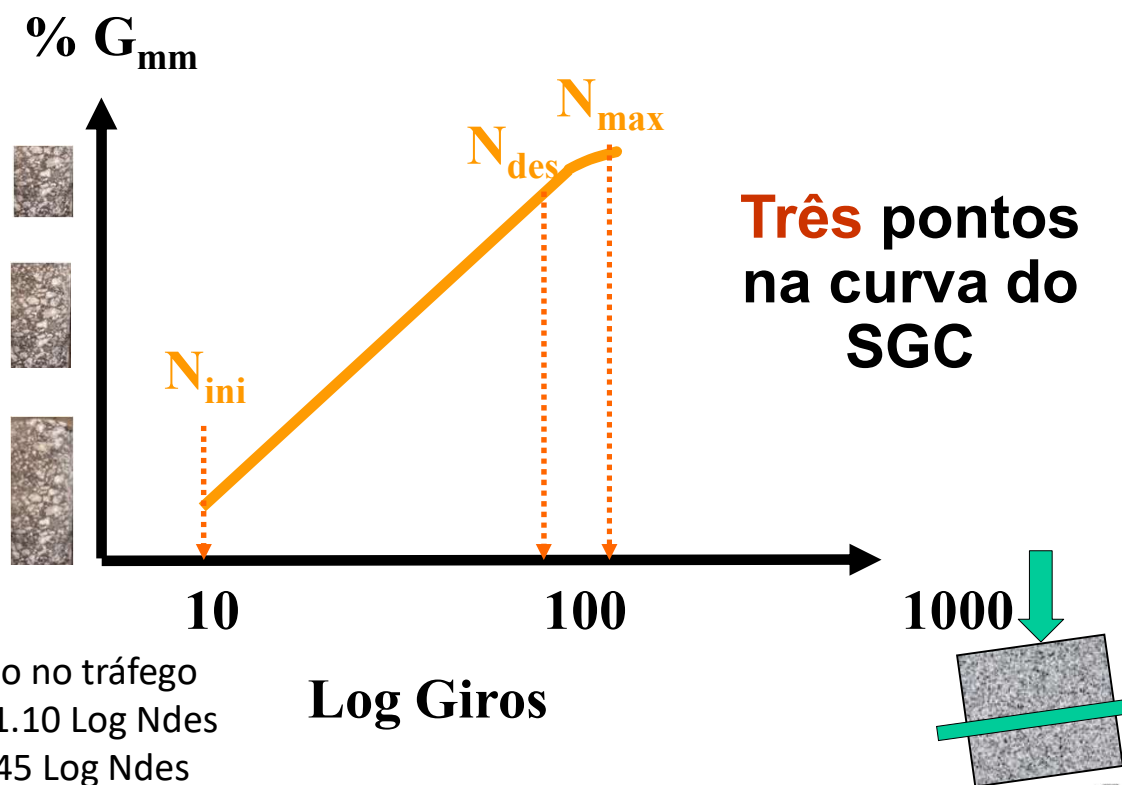
Passos da Moldagem – SUPERPAVE



Passos na Moldagem – SUPERPAVE



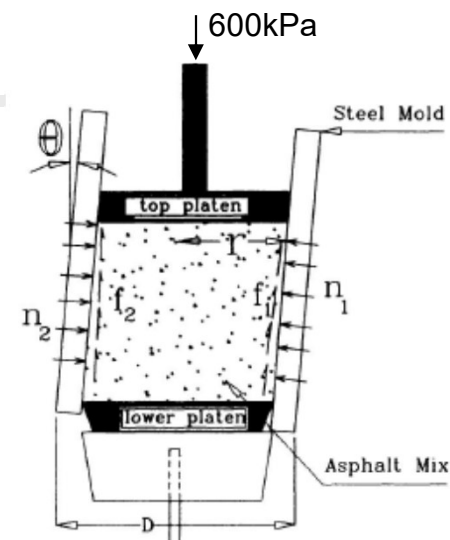
Resultados da Compactação Giratória



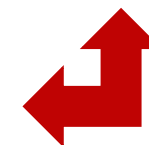
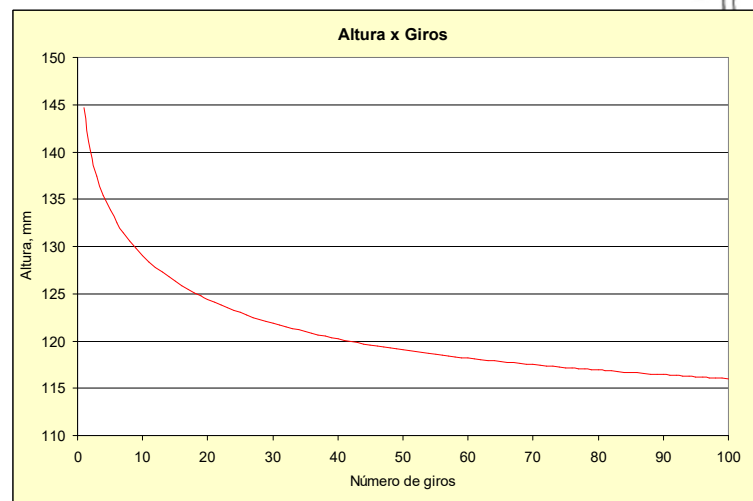
- N_{des} baseado no tráfego
- $\text{Log } N_{max} = 1.10 \text{ Log } N_{des}$
- $\text{Log } N_{ini} = 0.45 \text{ Log } N_{des}$

Log Giros

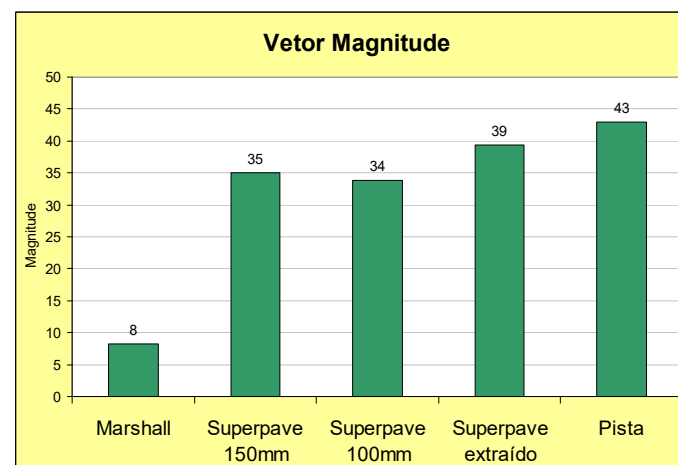
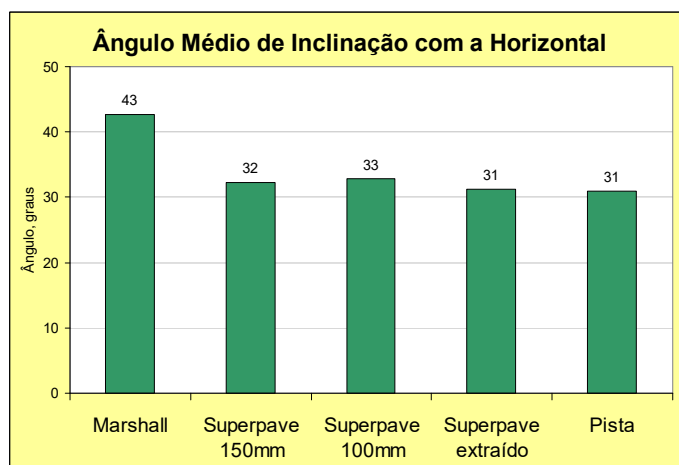
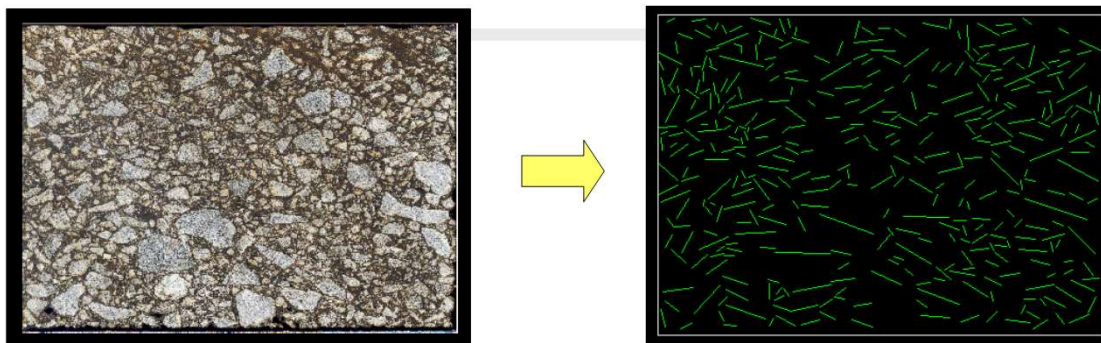
compactador giratório



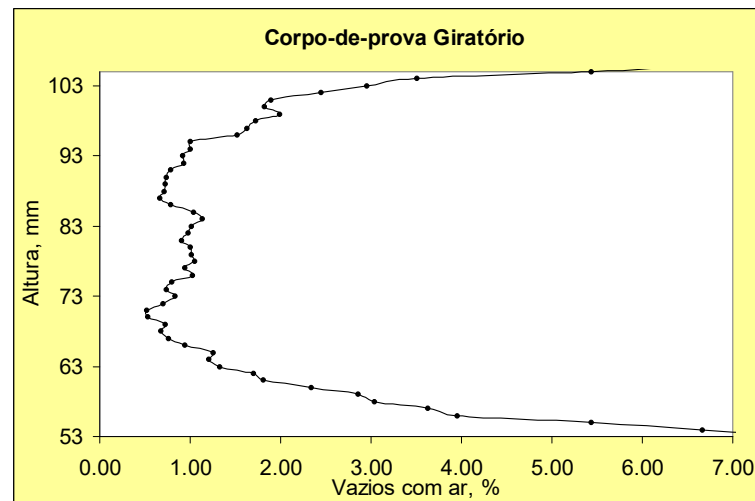
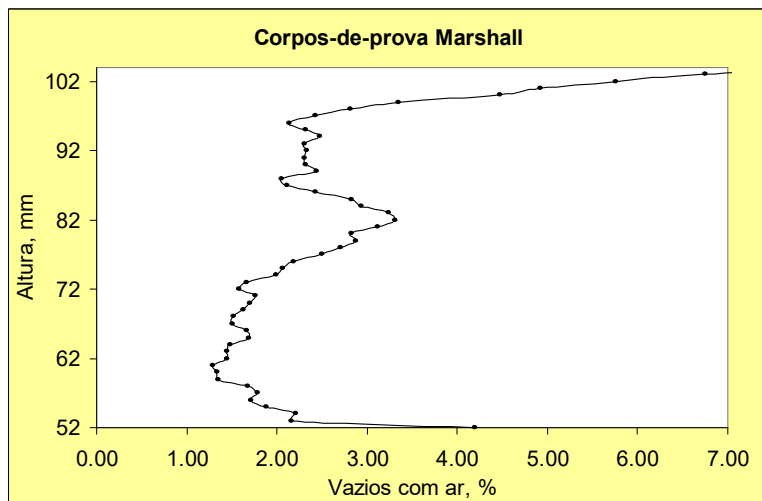
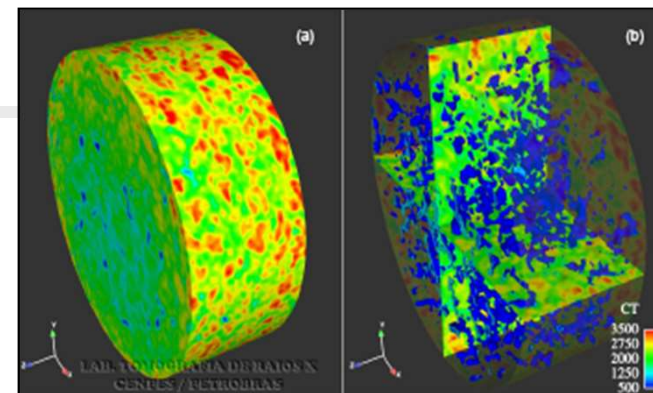
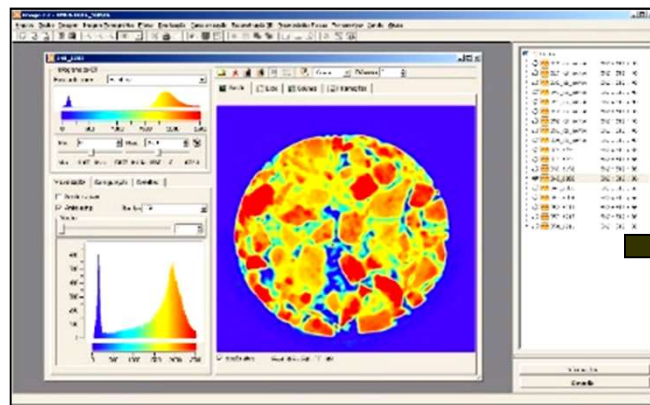
Comportamento da mistura durante a compactação:



Estrutura Interna dos CPs



Estrutura Interna dos CPs

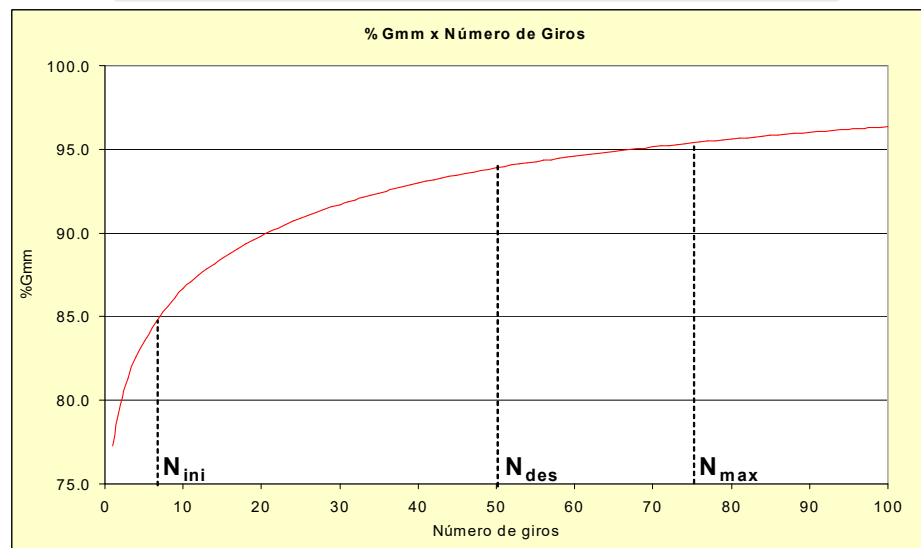


Metodologia Superpave

- São considerados os parâmetros volumétricos com limites diferentes do Marshall;
 - Parâmetros volumétricos durante a compactação: N_{ini} e N_{max} ;
 - No Brasil: preparação de CP com compactador giratório
- Níveis de compactação (giros):

Parâmetros de compactação			Tráfego
N_{ini}	N_{des}	N_{max}	
6	50	75	Muito leve
7	75	115	Médio
8	100	160	Médio a alto
9	125	205	Alto volume de tráfego

Requisitos da dosagem Superpave



→ Tráfego leve



Requisitos		
Giro	% da G_{mm}	V_v , %
N_{ini}	< 89	> 11
N_{des}	96	4
N_{max}	< 98	> 2

Requisitos da dosagem Superpave

Mistura Asfáltica

Propriedades	Crítérios
% de Vazios	4,0%
VAM	Conforme TMN
RBV	65 a 75%
Relação Pó/Asfalto	0,6 a 1,2%

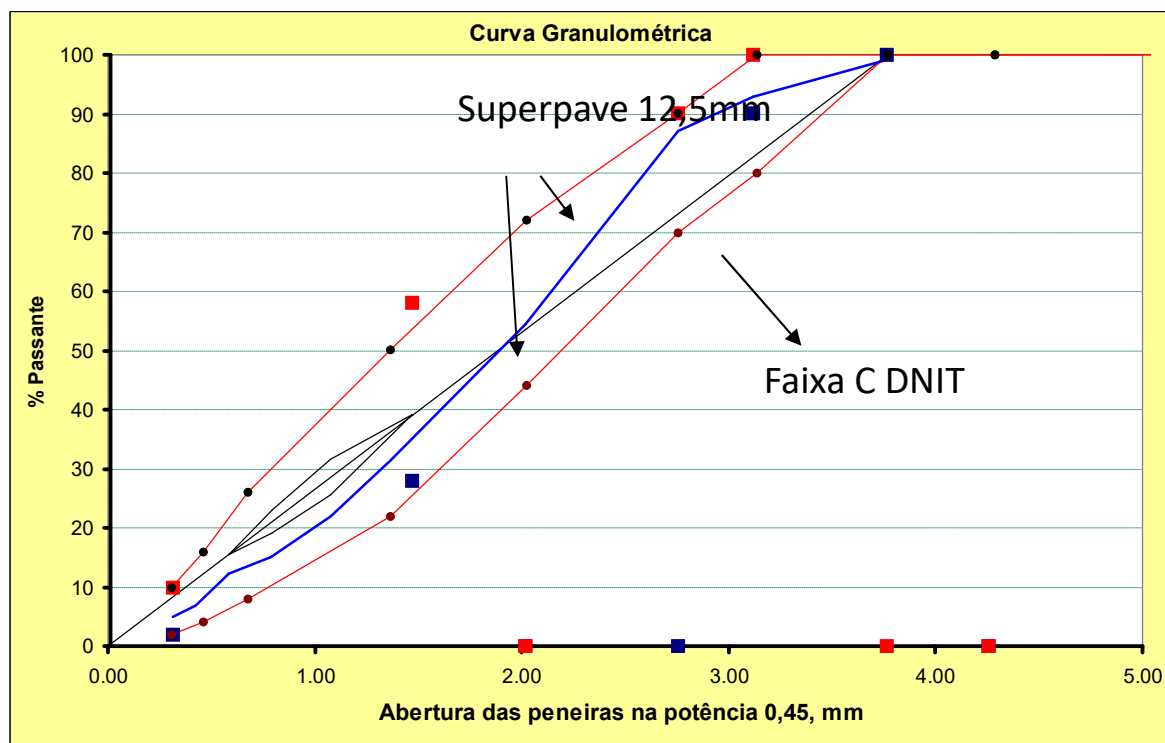
Agregados Minerais

- Requisitos de qualidade similares aos da dosagem Marshall;
- Alguns requisitos diferenciados:
 - Angularidade dos agregados: miúdos e graúdos;
 - Partículas chatas e alongadas



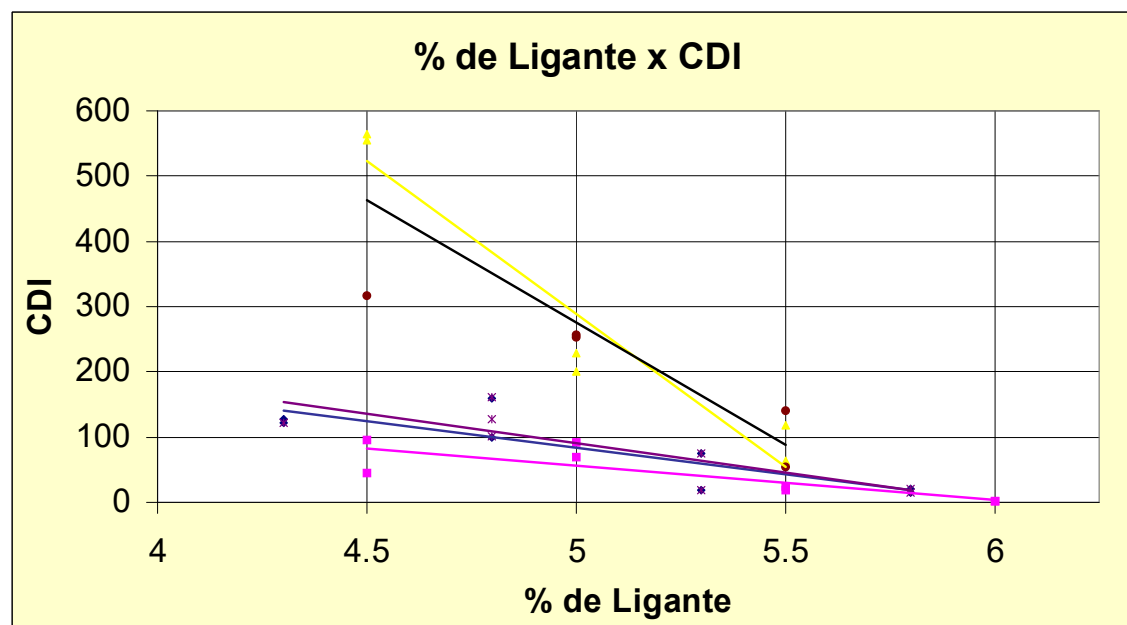
Granulometrias

- Faixas classificadas por TMN;
- Limites determinados pelos pontos de controle;
- Linha de densidade máxima – potência 0,45.



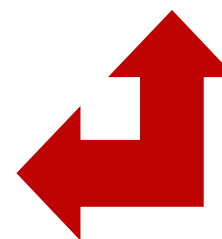
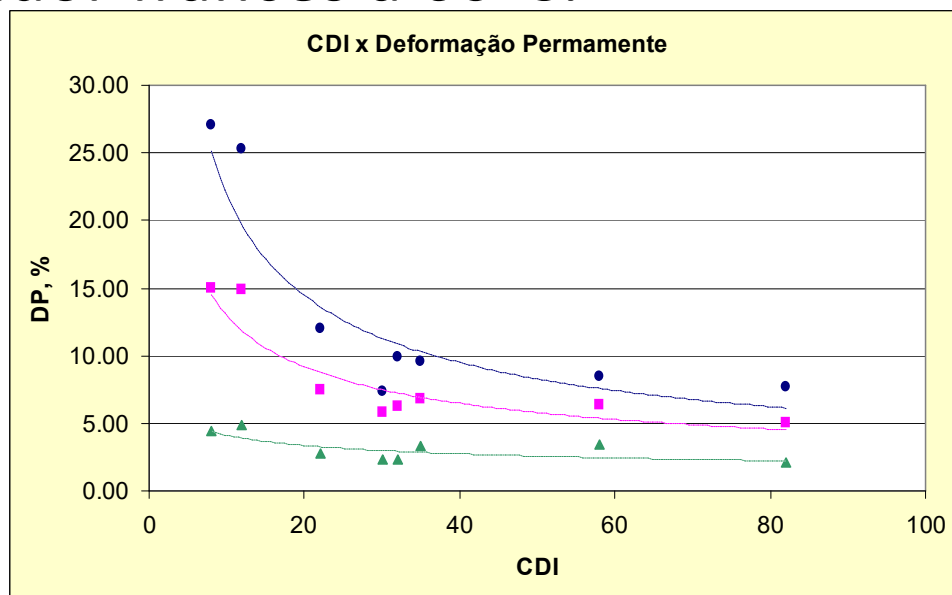
CDI

Variação do índice com o teor de ligante e a granulometria:



CDI e o desempenho

Comparação do CDI com resultados de ensaios de deformação permanente no simulador francês a 60°C:





- **Misturas asfálticas**
- **Giratório**



MTS



- Misturas asfálticas misturadora



simulador LCPC

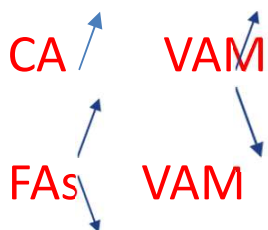
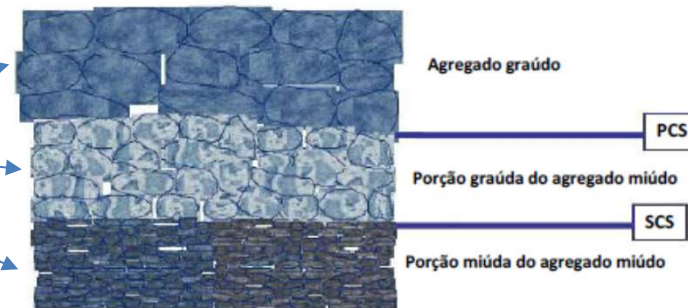


Critério Bailey de seleção de granulometria

Arranjo do esqueleto pétreo depende da forma, textura, resistência e granulometria

Tabela 2: Limites das proporções dos agregados com comportamento graúdo (VAVRIK *et al.*, 2002).

Parâmetros	Tamanho Máximo Nominal (NMA), mm					
	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75
Proporção CA	0,80-0,95	0,70-0,85	0,60-0,75	0,50-0,65	0,40-0,55	0,30-0,45
Proporção FAc	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50
Proporção FAf	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50	0,35-0,50

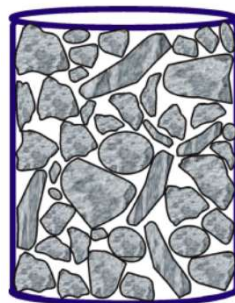


CA Problema de segregação aumenta

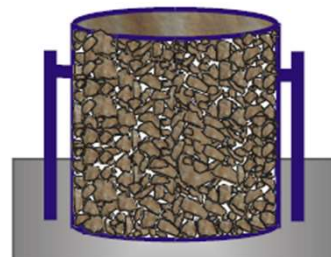
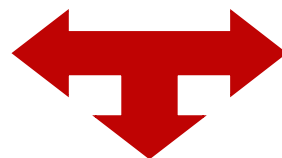
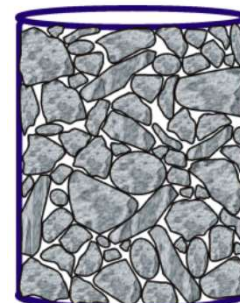
Método Bailey de escolha da granulometria dos agregados

Comportamento da mistura: controlado pelos agregados graúdos ou pelos miúdos?

Ag. graúdos soltos

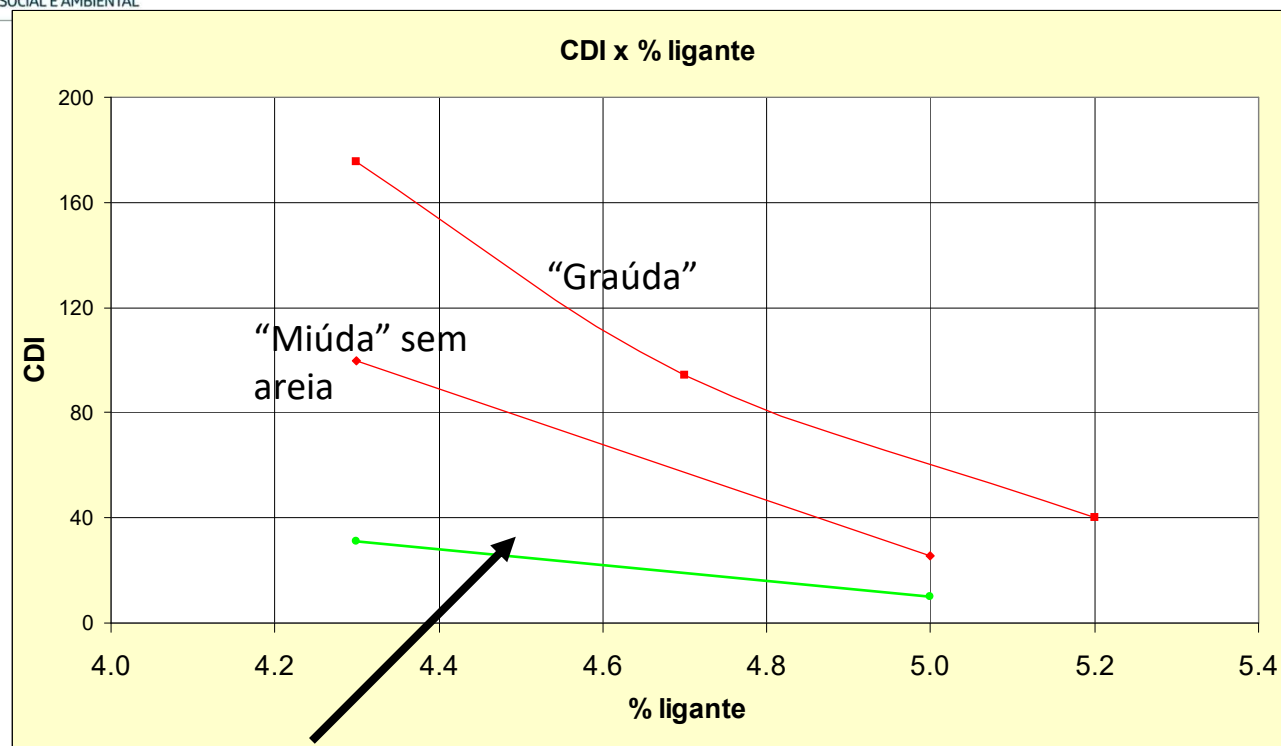


Ag. graúdos compactados



Ag. miúdos compactados

Bailey x CDI



Mistura com comportamento miúdo que não atendeu os parâmetros de Bailey + Areia de rio = Afundamentos excessivos.

DOSAGEM

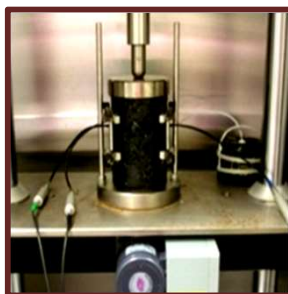
MATERIAIS – Revestimento Asfáltico

Preparação dos CPS no teor ótimo de ligante



ENSAIOS MECANICOS

Flow Number



CDI e TDI



Lottman Dano por umidade induzida



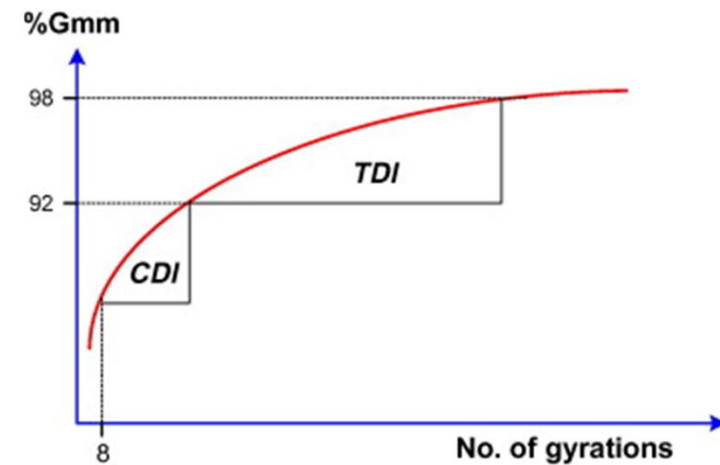
a. Tráfego Médio:

- $CDI > 50$;
- $TDI > 250$;
- $FN @ 60^{\circ}C (204kPa) > 300$ ciclos.

b. Tráfego Pesado:

- $CDI > 50$;
- $TDI > 400$;
- $FN @ 60^{\circ}C (204kPa) > 750$ ciclos.

Limites CDI e TDI



Compressão *axial* de misturas asfálticas

- Deformação permanente (**DOSAGEM**)
- “Flow Number” – Número de fluência

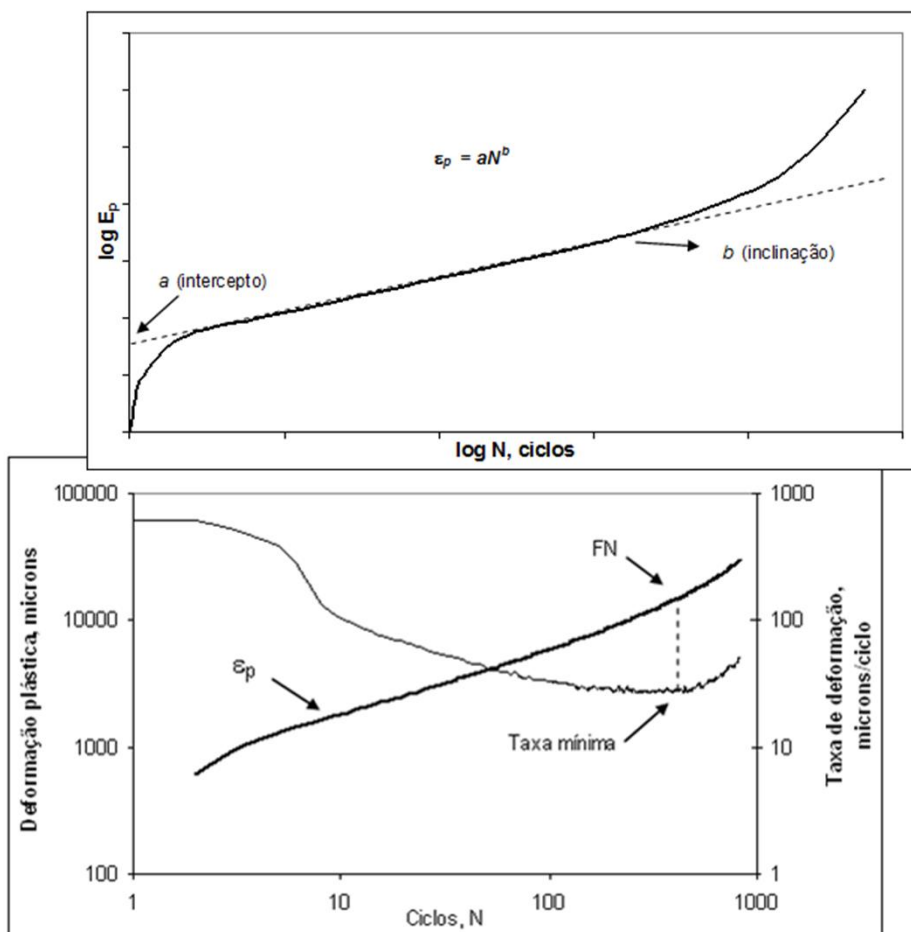


Antes



Depois

Flow Number



“escorregamento” do revestimento



Em geral: Problema de dosagem da mistura asfáltica

Critério atual: FN

Defeitos por problema de dosagem da mistura asfáltica



Misturas asfálticas

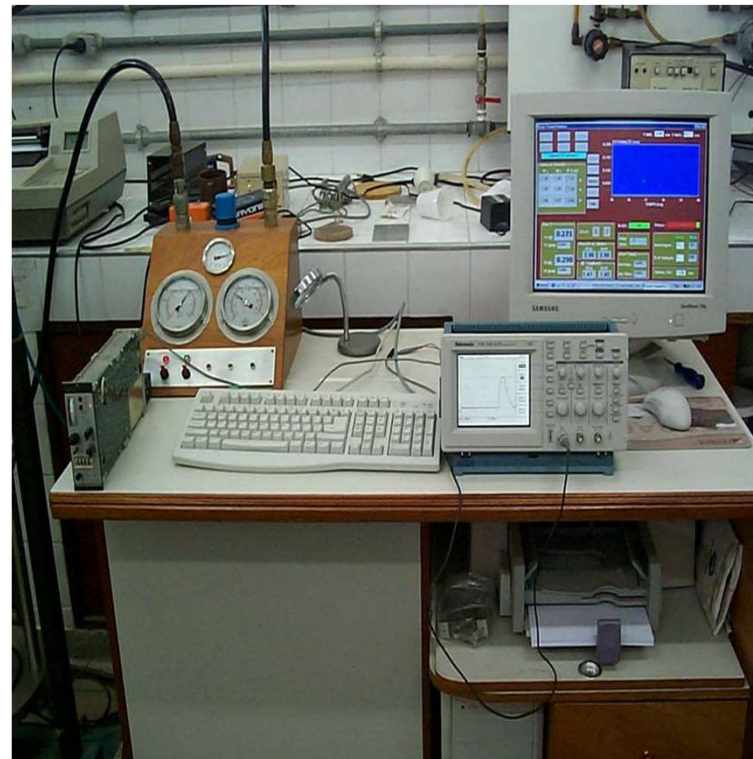
- Módulo de resiliência
- Deformação permanente – FN (Nascimento, 2008)
- Fadiga Compressão Diametral



Equipamento Carga Repetida

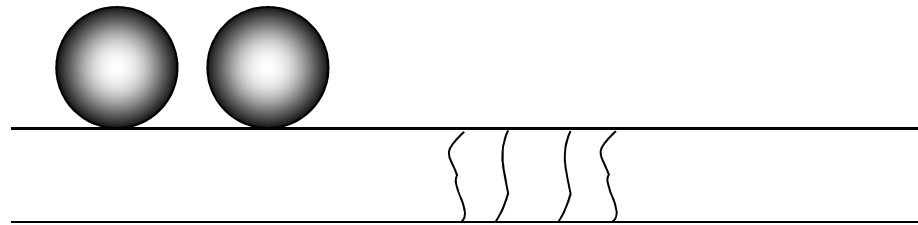
Equipamento de ensaio de compressão diametral - 1980

Automação em 2002 (Alvaro e Ricardo Gil)



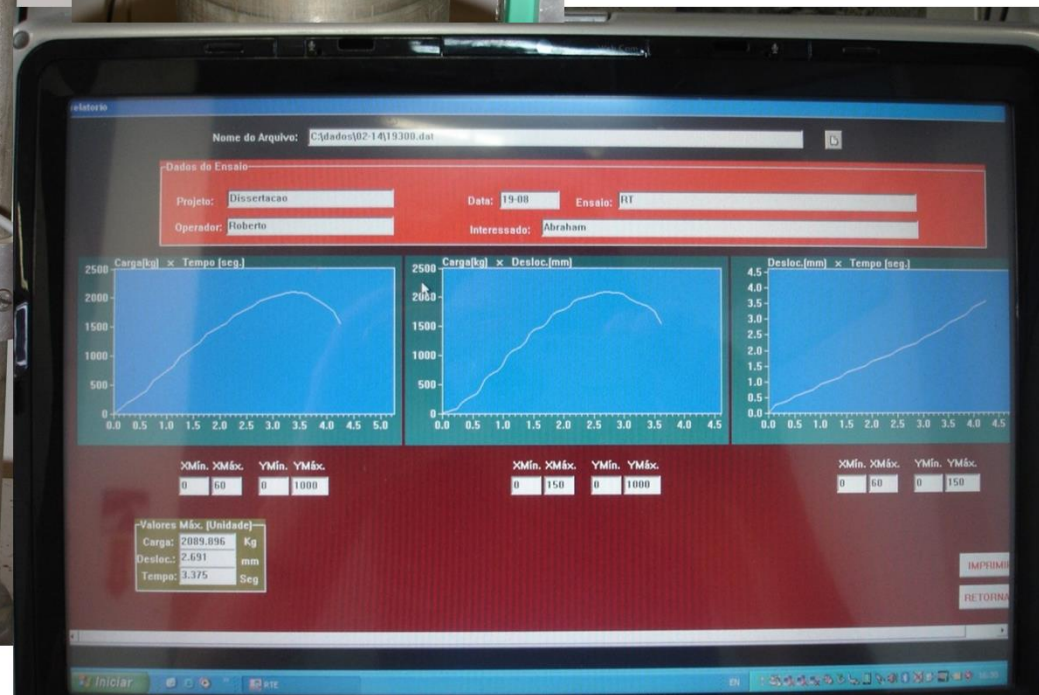
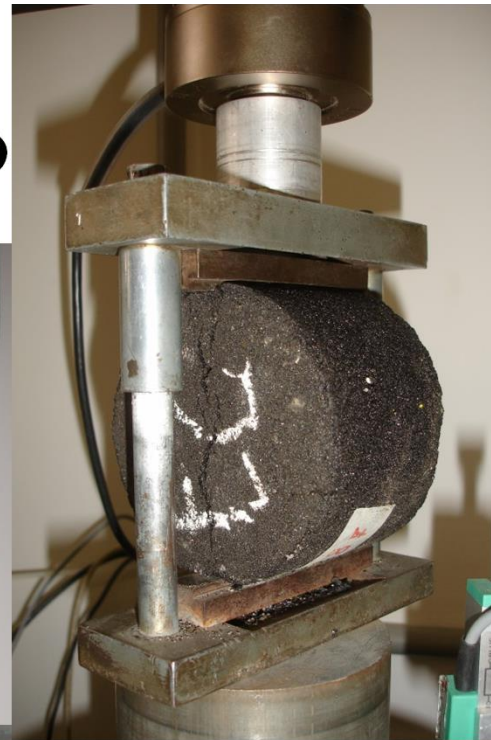
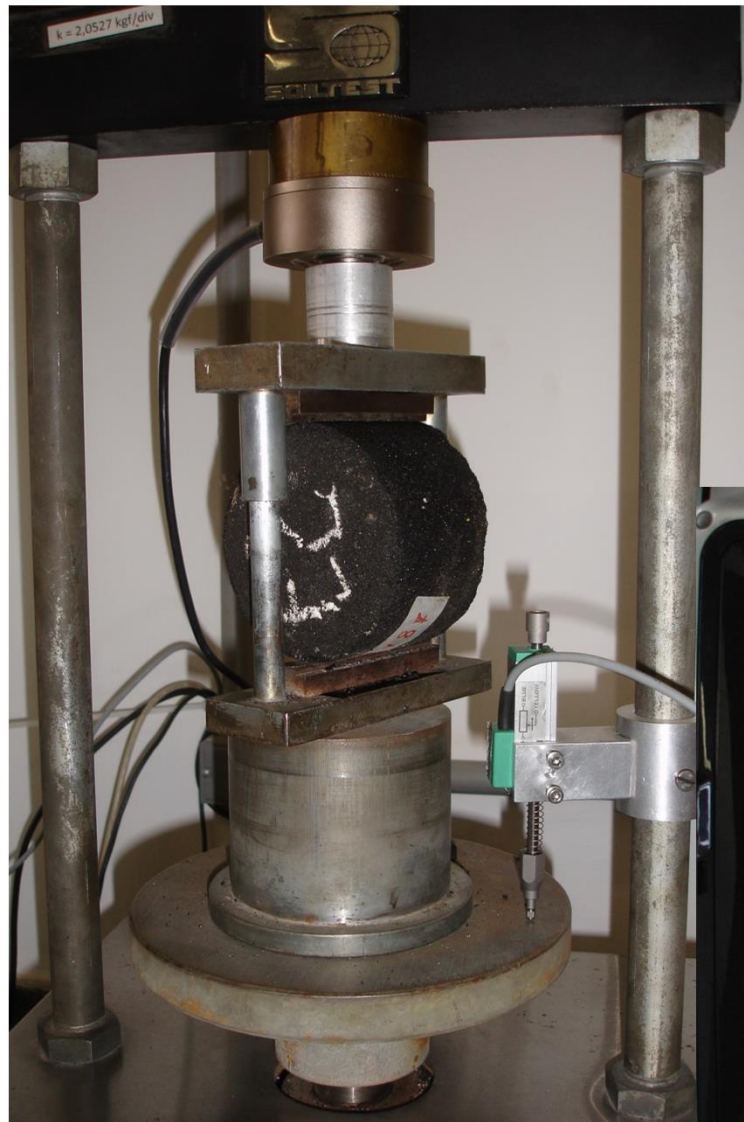
Fadiga de misturas asfálticas

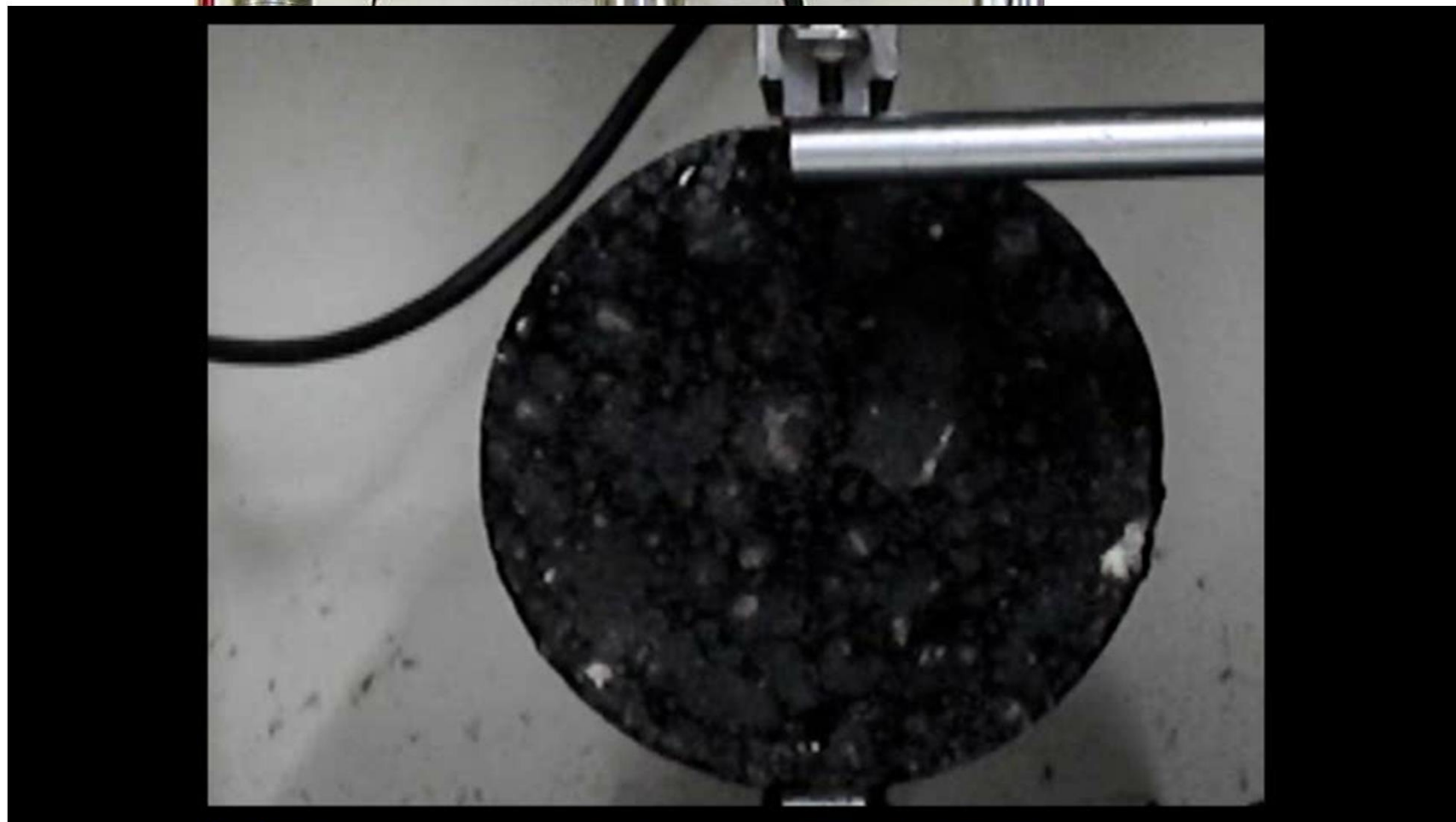
- Em pavimentos acontece nas camadas:
 - materiais asfálticos ou cimentados
 - Devido à repetição das cargas do tráfego de veículos
 - Causa fissuras e trincas



(Franco et al,2004)

RT instrumentado

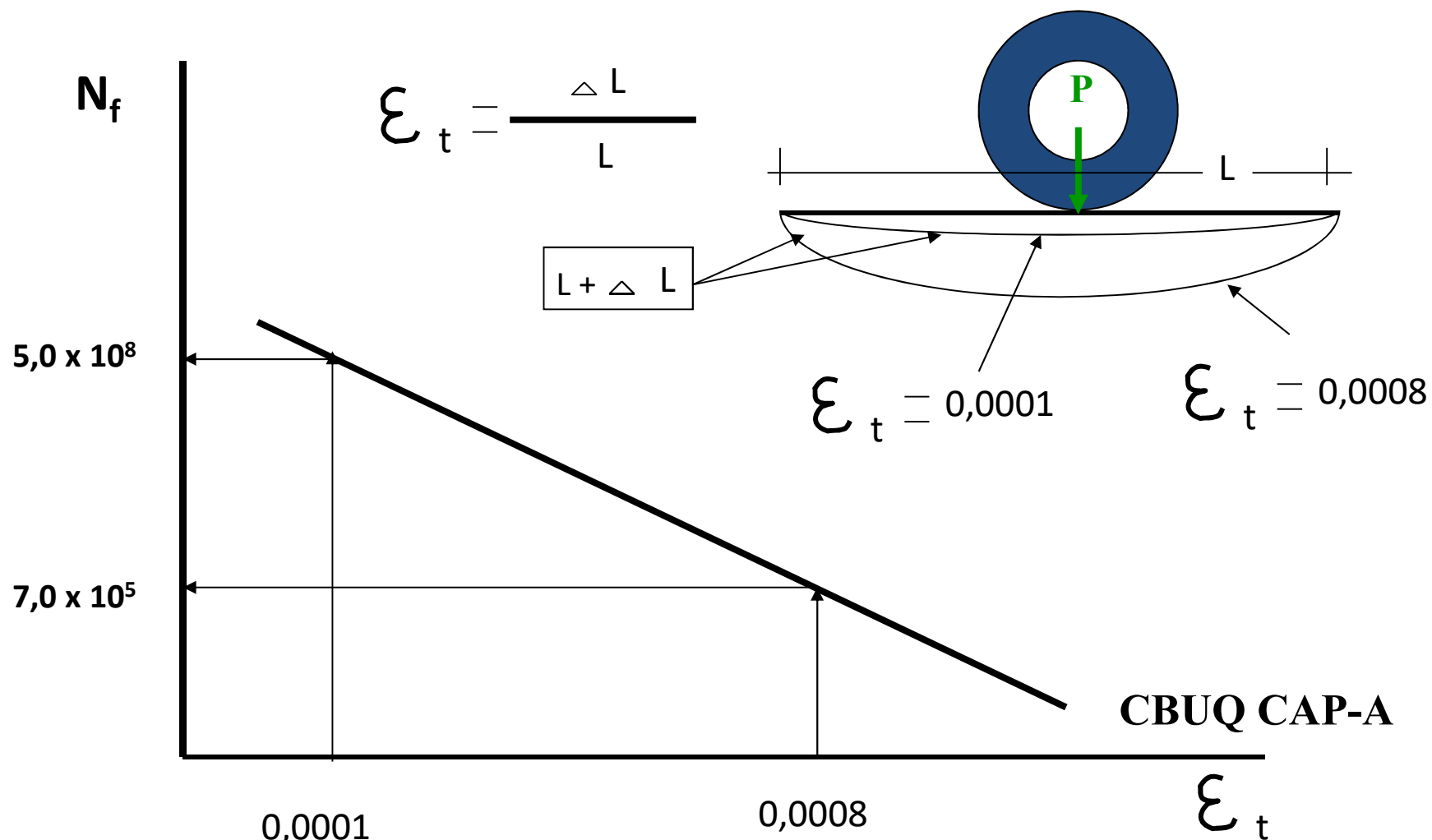




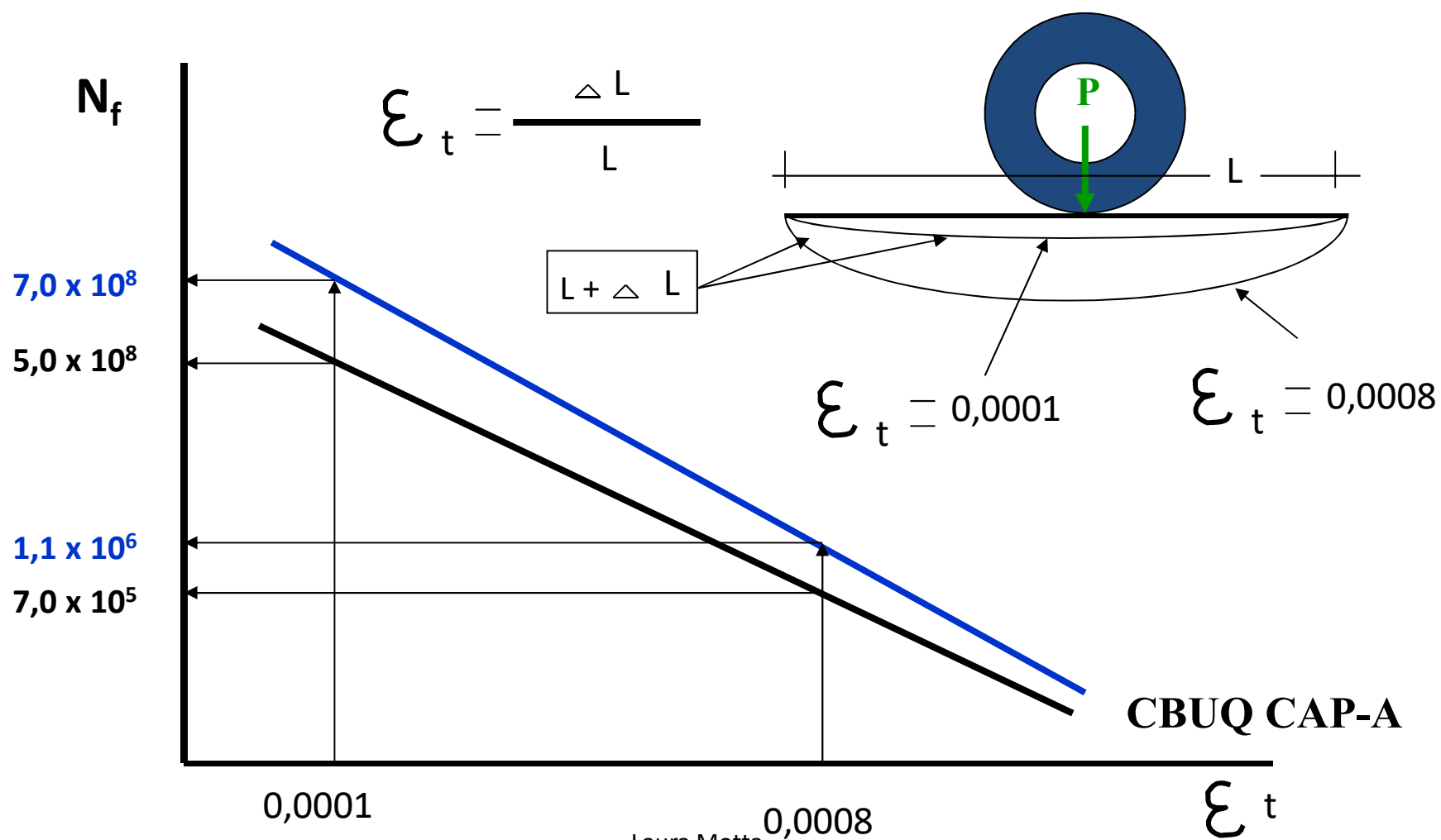




VIDA DE FADIGA PARA UM REVESTIMENTO EXECUTADO COM UM DETERMINADO LIGANTE
SUJEITO A DETERMINADA CONDIÇÃO CLIMÁTICA



VIDA DE FADIGA PARA UM REVESTIMENTO EXECUTADO COM MESMO LIGANTE SUJEITO A DIFERENTES CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.



Laura Motta

Tonial 06/02/2006

Dimensionamento pavimento asfáltico

Nível A

- Principais defeitos estruturais:

- Trincamento por fadiga

- Da camada asfáltica (“flexível”)
 - Da camada tratada com cimento portland (BGTC ou CCR)

- ATR

- Contribuição de todas camadas e subleito

IPR
Instituto de
Pesquisas
Rodoviárias

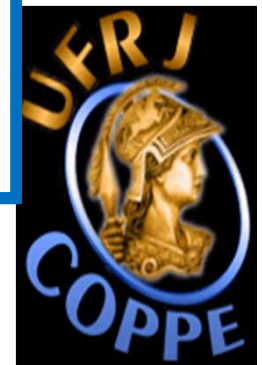
DNIT
DEPARTAMENTO
NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA
DE TRANSPORTES

MINISTÉRIO DOS
TRANSPORTES, PORTOS
E AVIAÇÃO CIVIL



Novo Método: parte empírica (ajuste Fator Campo- laboratório)

- Construção de pistas experimentais (60) em diferentes regiões, clima e temperatura – **Rede Temática de Asfalto organizada e financiada pela Petrobras.**
- Atuação de universidades e IPR (DNIT) com apoio de órgãos locais
- Geração de dados de campo e de laboratório

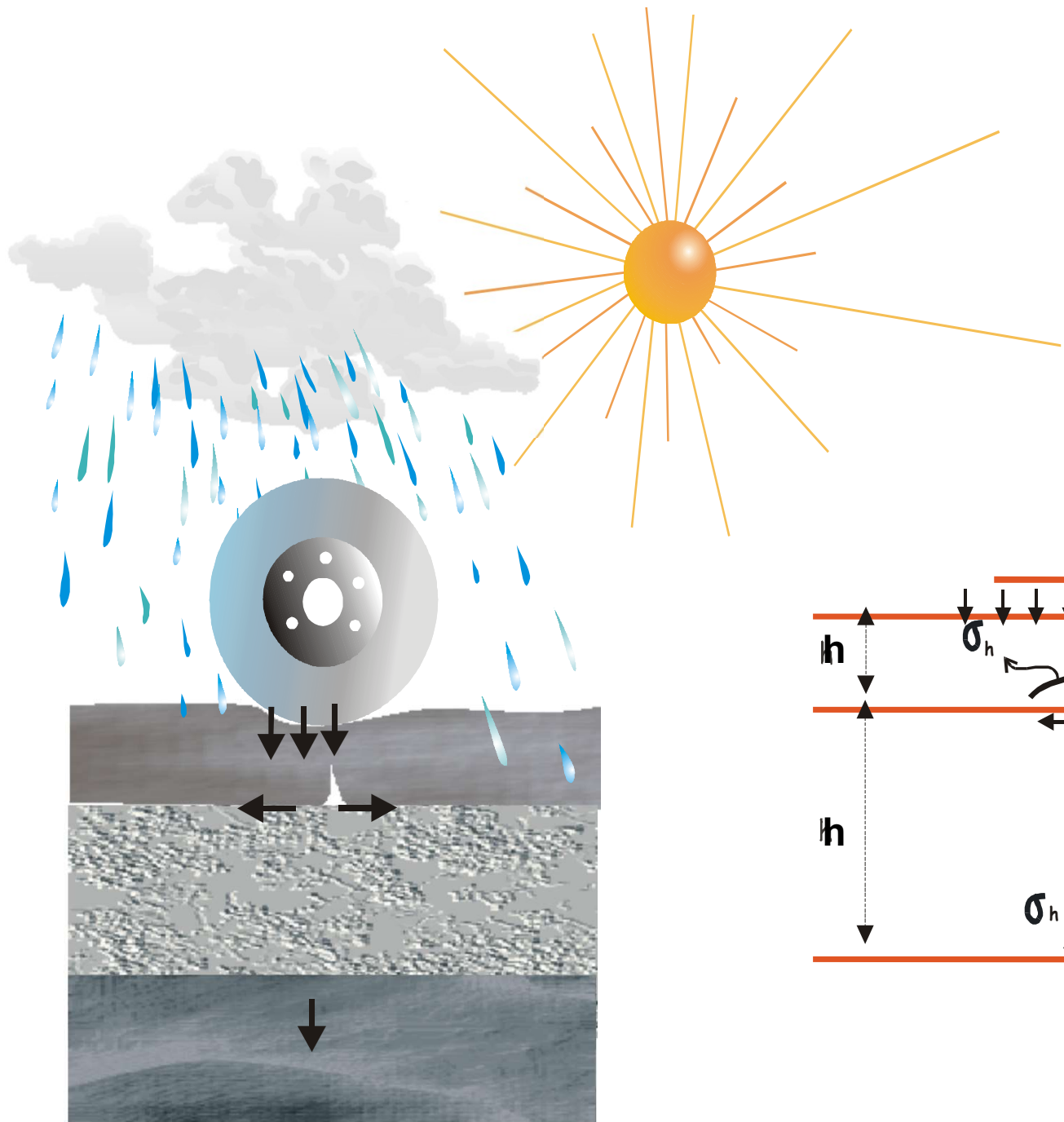


Método M-E Principais critérios

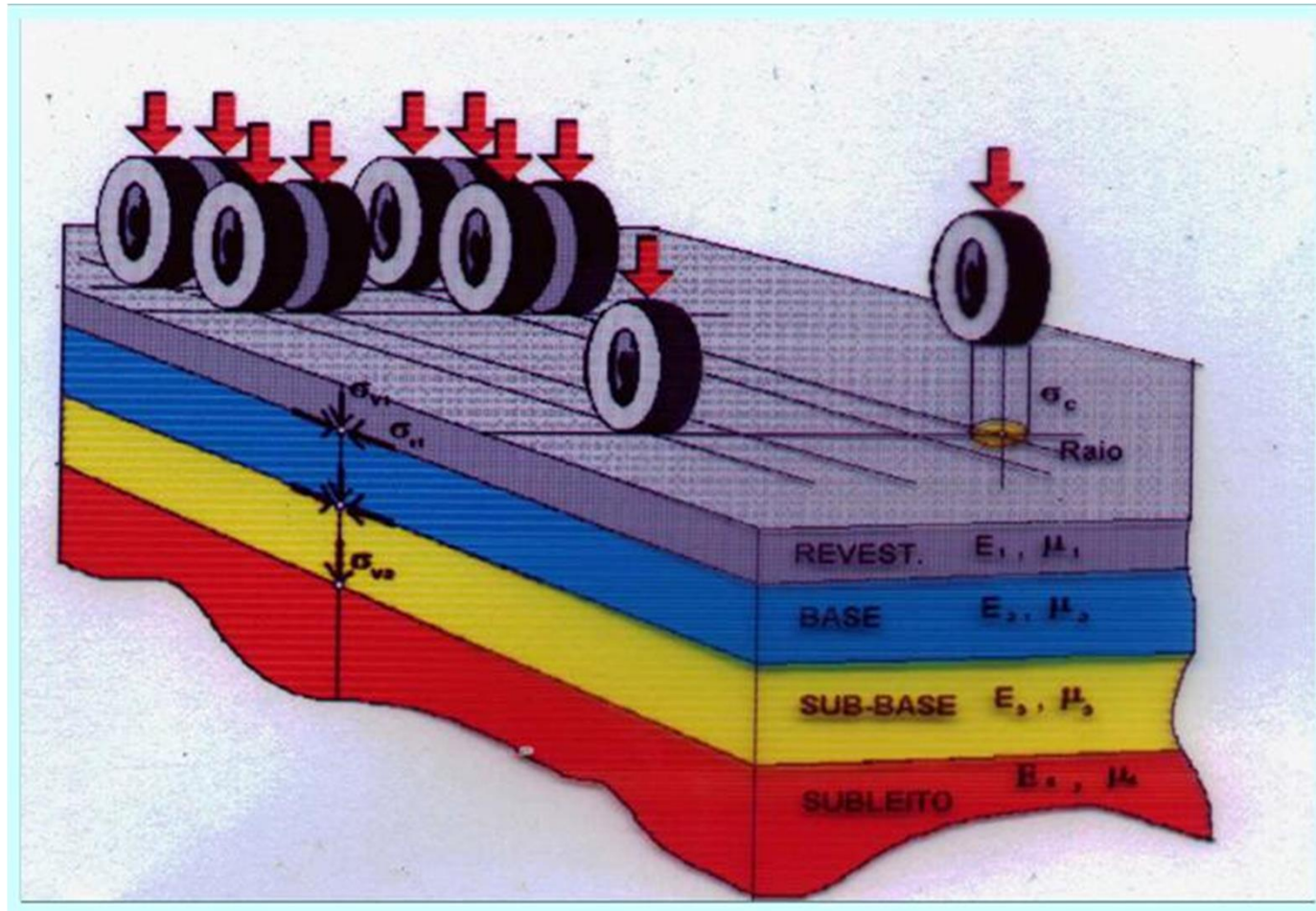
O dimensionamento do pavimento deve garantir que as espessuras das camadas e suas características sejam suficientes para:

- **minimizar o efeito do afundamento da trilha de roda ATR** (acúmulo excessivo de deformação permanente)
- assegurar que a repetição da aplicação da carga não irá causar o **trincamento excessivo** da camada de revestimento (**fadiga**) dentro do período de projeto.





A Mecânica dos pavimentos e os ensaios dos materiais de SL e camadas



MÉtodo **DI**imensionamento **NA**cional **Nível A**

- TED - DNIT (IPR) e COPPE (início abril 2015)
- Rede Temática de Asfalto da Petrobras – DNIT e universidades (desde 2006)

OPÇÃO DE USAR CONHECIMENTO ESTABELECIDO:

- Ensaio de carga repetida de solos implantado desde 1978 (Preussler, 1978)
- Ensaio de carga repetida de concreto asfáltico desde 1980 (Pinto e Preussler, 1980)

Dimensionamento pavimento asfáltico

IPR
Instituto de
Pesquisas
Rodoviárias

DNIT

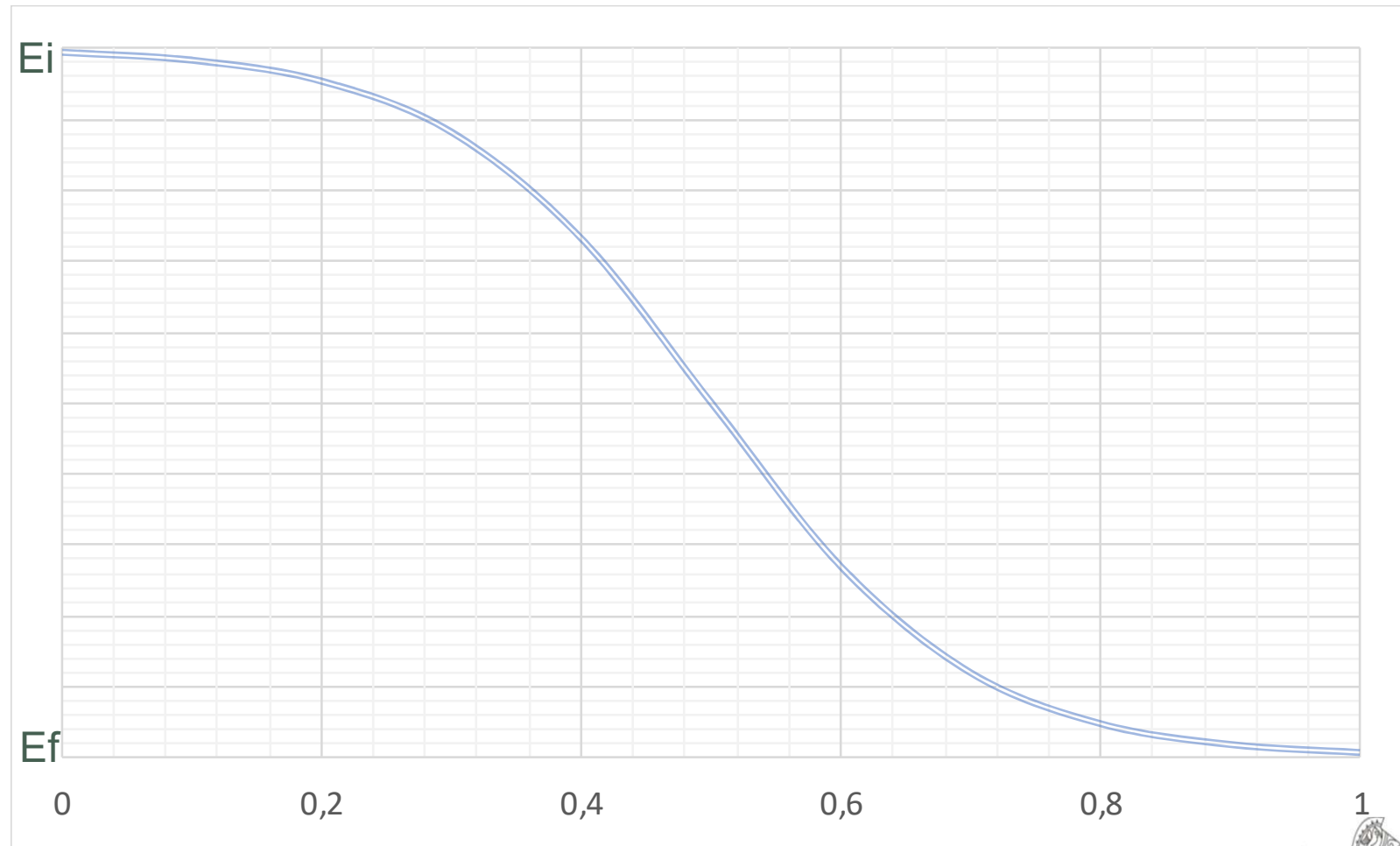
MINISTÉRIO DOS
TRANSPORTES, PORTOS
E AVIAÇÃO CIVIL



Nível A

- Principais defeitos estruturais considerados:
 - **Trincamento por fadiga**
 - Da camada asfáltica (“flexível”)
 - Da camada tratada com cimento portland (ex: BGTC)
 - **ATR**
 - Contribuição de todas camadas e subleito

Materiais cimentados (BGTC, CCR, etc)



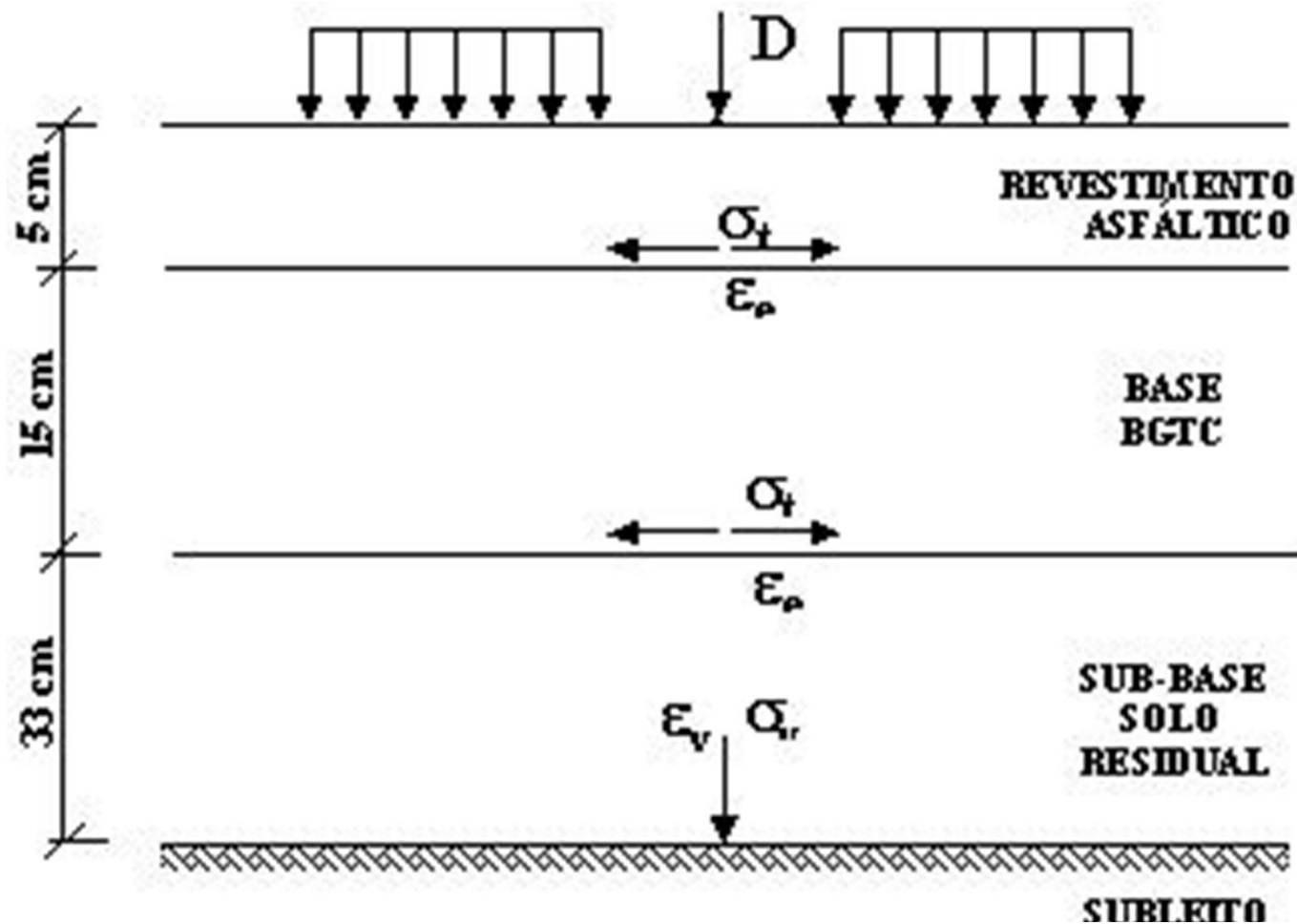
A primeira vez que se falou em “resiliência” como causa... (Preusler, 1978)

- Que ocorreu?

Com menos de dois anos de
tráfego, o pavimento
apresentava grandes
extensões trincadas com
bombeamento de finos



Pavimento original da freeway - RS

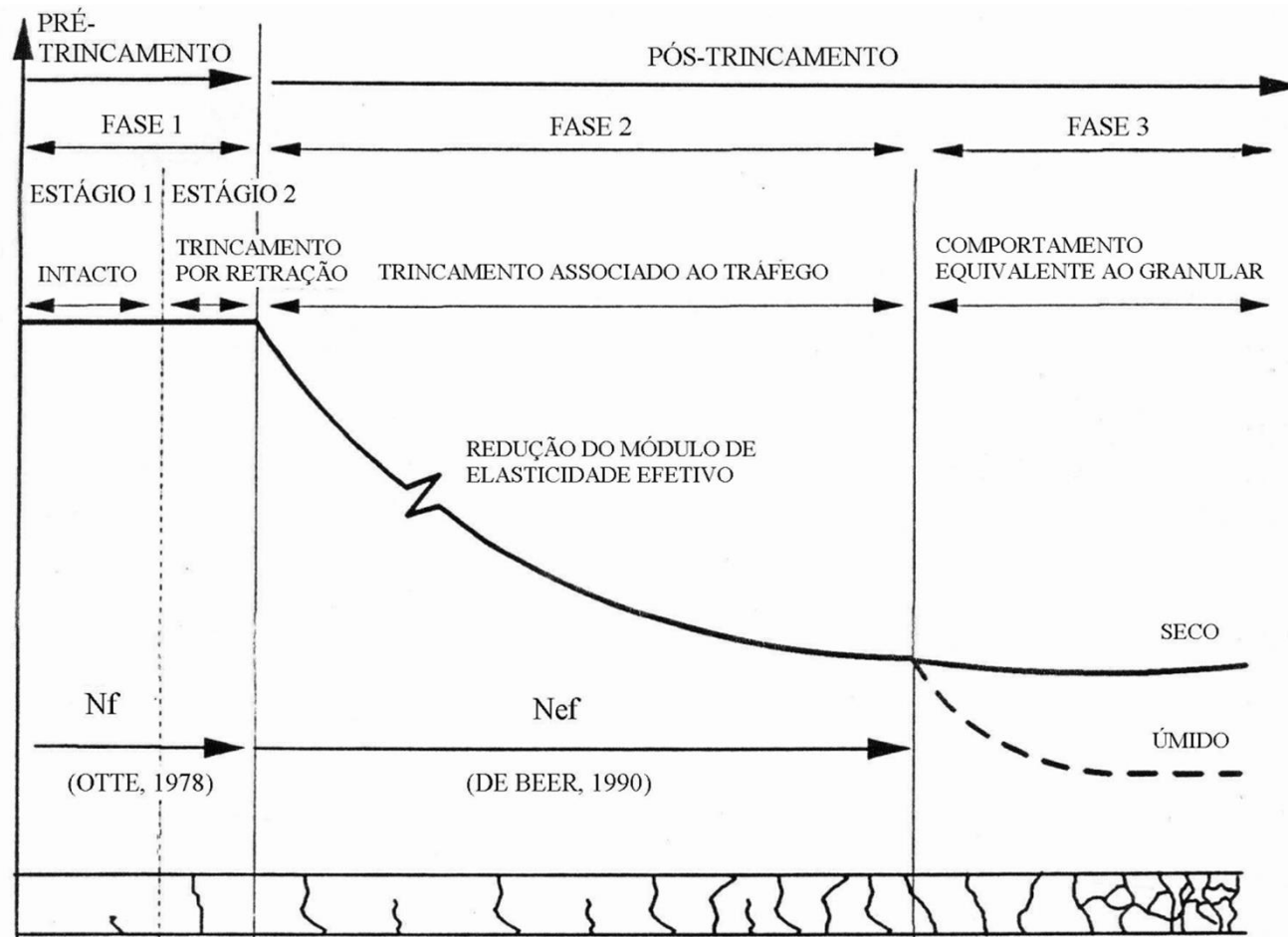


Respostas estruturais do pavimento novo

MR do solo residual da sub-base (kgf/cm ²)	Deflexão superficial (10 ⁻² mm)	Tensão de tração na fibra inf. da BGTC (kgf/cm ²)
85	32	9,97
880	28	9,16
1.297	26	8,40

Com deflexões tão pequenas,
por que trincou?

Fases de comportamento estrutural da BGTC



Quanto maior σ_t , maior ϵ_h e menor N_{ef}

Constatação: BGTC trincada com água e finos da sub-base (RS, 1980)

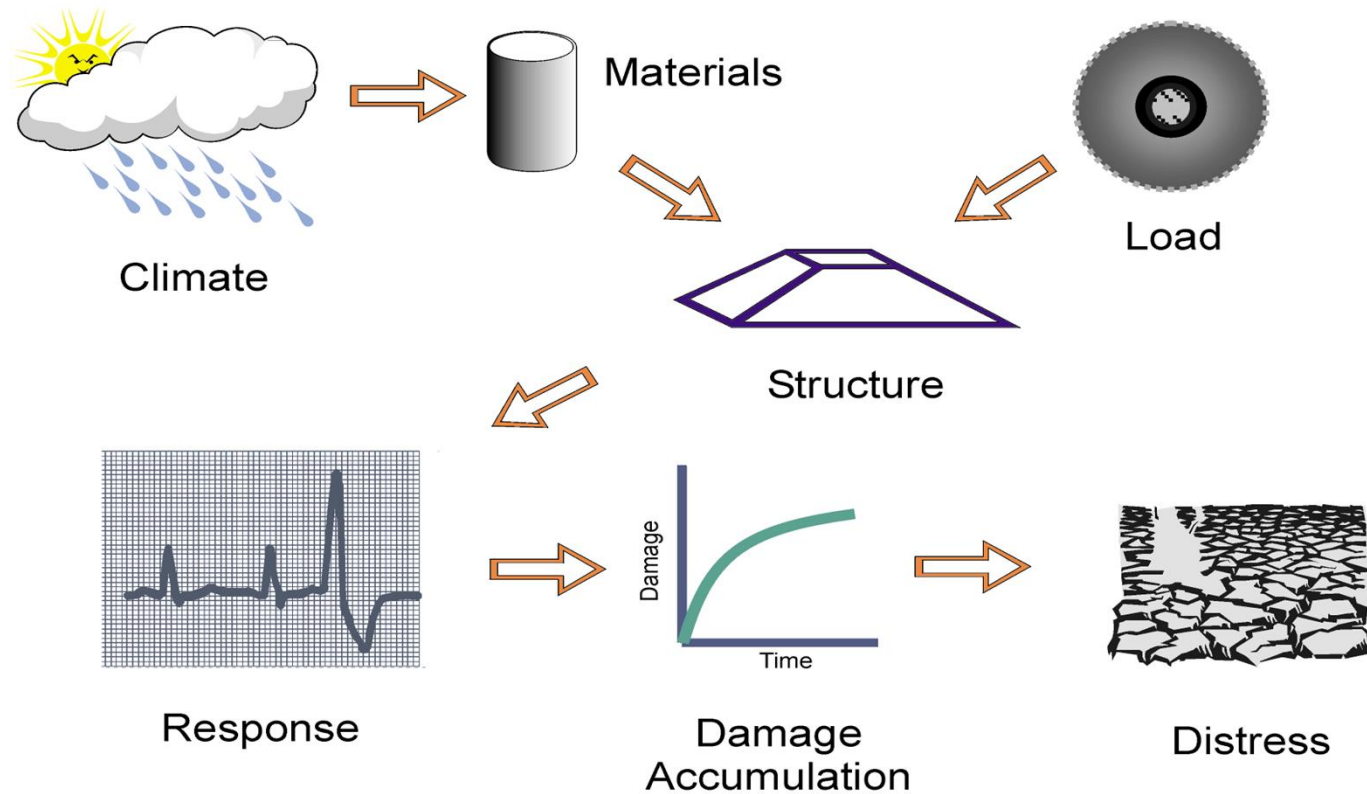


As deflexões máximas sozinhas não contam tudo...

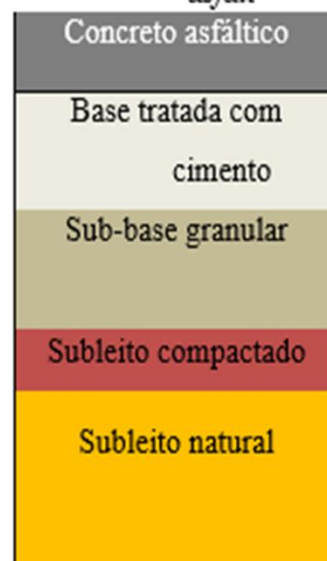
- As deflexões são respostas estruturais que se pode medir facilmente.
- Deflexões elevadas são indicativo de pavimento com problemas estruturais (especialmente quando associadas a pequenos raios de curvatura).
- Deflexões baixas nem sempre indicam uma boa condição estrutural, quando se tem camada rígida (pavimento semirrígido)

Análise Mecânica

A base de todo dimensionamento!



F

Flexível convencional*Revestimento asfáltico espesso**Mistura asfáltica de espessura plena**Semirrígido com base tratada com asfalto**Semirrígido com base tratada com cimento**Seção invertida*

60
Anos

IPR
Instituto de
Pesquisas
Rodoviárias

Comemorando os seus **60 anos** de existência,
o **IPR** tem o prazer de convidá-lo(a) para o
Seminário - Proposição de Novo
Método de Dimensionamento de
Pavimentos Asfálticos

Data:
28/09/17
às 9:00h

Local: Auditório da COPPE/UFRJ
Centro de Gestão Tecnológica CGTEC-CT2
Rua Muniz Aragão nº 360, Bloco 1 - Cidade
Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ.

Vagas limitadas
Inscrições pelo e-mail: ipr@dnit.gov.br.



IPR
Instituto de
Pesquisas
Rodoviárias

DNIT
Departamento Nacional
de Infraestrutura de Transportes

MINISTÉRIO DOS
TRANSPORTES, PORTOS
E AVIAÇÃO CIVIL

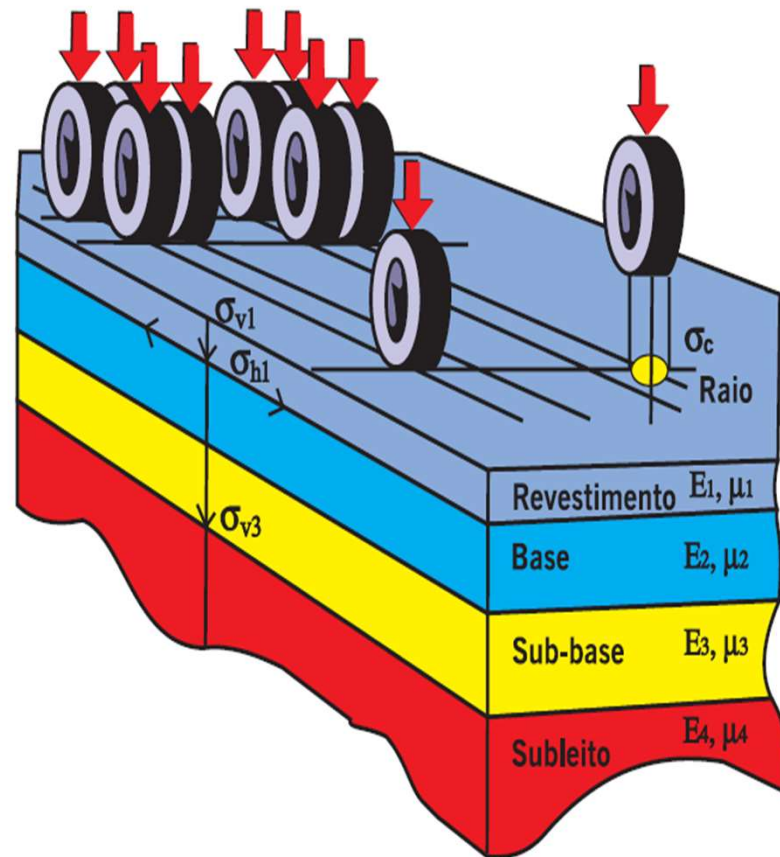


1º Simpósio de Transportes do Paraná
2º Seminários em Aeroportos e Transporte Aéreo
2º Urbanidade

Novo Método: Análise Mecânica

Estrutura de camadas:

- h - Espessuras
- μ - Coeficiente de Poisson
- E - Módulo de Elasticidade



Porque mudar o método?



5. A Evolução dos veículos para o Transporte de Cargas no Brasil – Redução dos Custos de Transporte (14 á 16%) + Redução da emissão de poluentes.

Bitrens em Circulação (dados da Anfir)

Em 1999: 3.530

Em 2004: 36.412

Em 2006: +100.000

• Para 1.000 ton. são necessários **67** caminhões trucados.

• Apenas **19** "bitrenzões" levam a mesma carga!



"Relatório da UN-ESCAP, *United Nations - Economic and Social Commission for Asia and the Pacific* (2007) por Philipp Nagl, o uso de CVCs (ou LCV – *Longer Combinations of Vehicles*) é uma opção importante para o transporte rodoviário aumentar sua eficiência e tornar-se mais "amigável" com o meio ambiente."

O tráfego atual



Condições 1966 x 2016

- **O tráfego é muitíssimo diferente:** volume, tipos de veículos, tipos de pneus, velocidade, pesos, etc.
- **Evoluíram também:**
 - ✓ O conhecimento das formas de avaliar os materiais (novos ensaios);
 - ✓ A Mecânica dos Pavimentos
 - (por ex: considerar semirrígido \neq flexível)
 - ✓ Os processos construtivos;
 - ✓ Os materiais asfálticos;
 - ✓ As exigências de sustentabilidade;
 - Etc

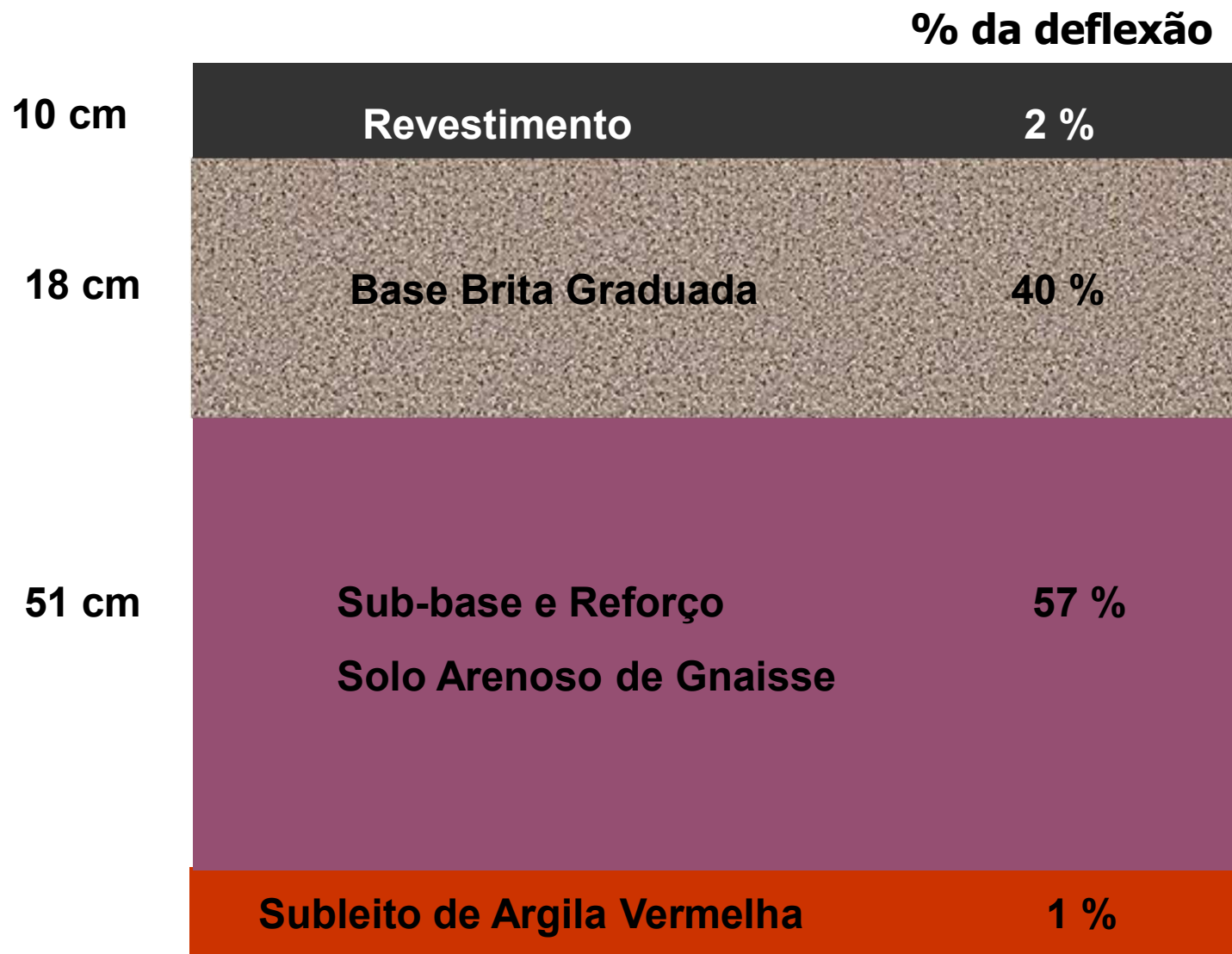


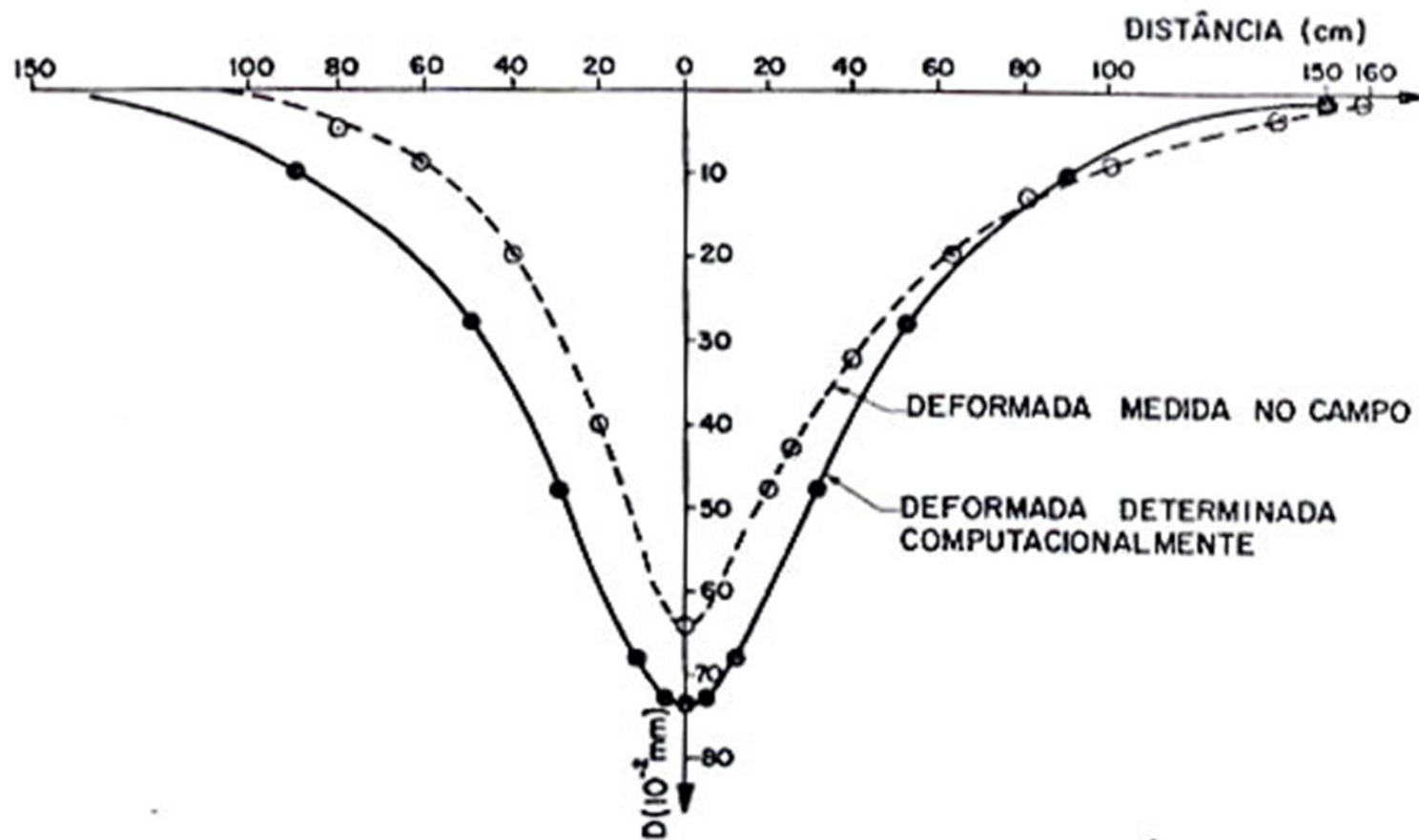
Mais um motivo para a mudança:
Extensão e % da rede pavimentada alguns países

País	Extensão pav. (km)	% pav.
EUA	4.300.000	65
China	3.300.000	81
Índia	2.000.000	47
Brasil	230.000	13
Rússia	984.000	70
França	960.000	98
Austrália	350.000	46



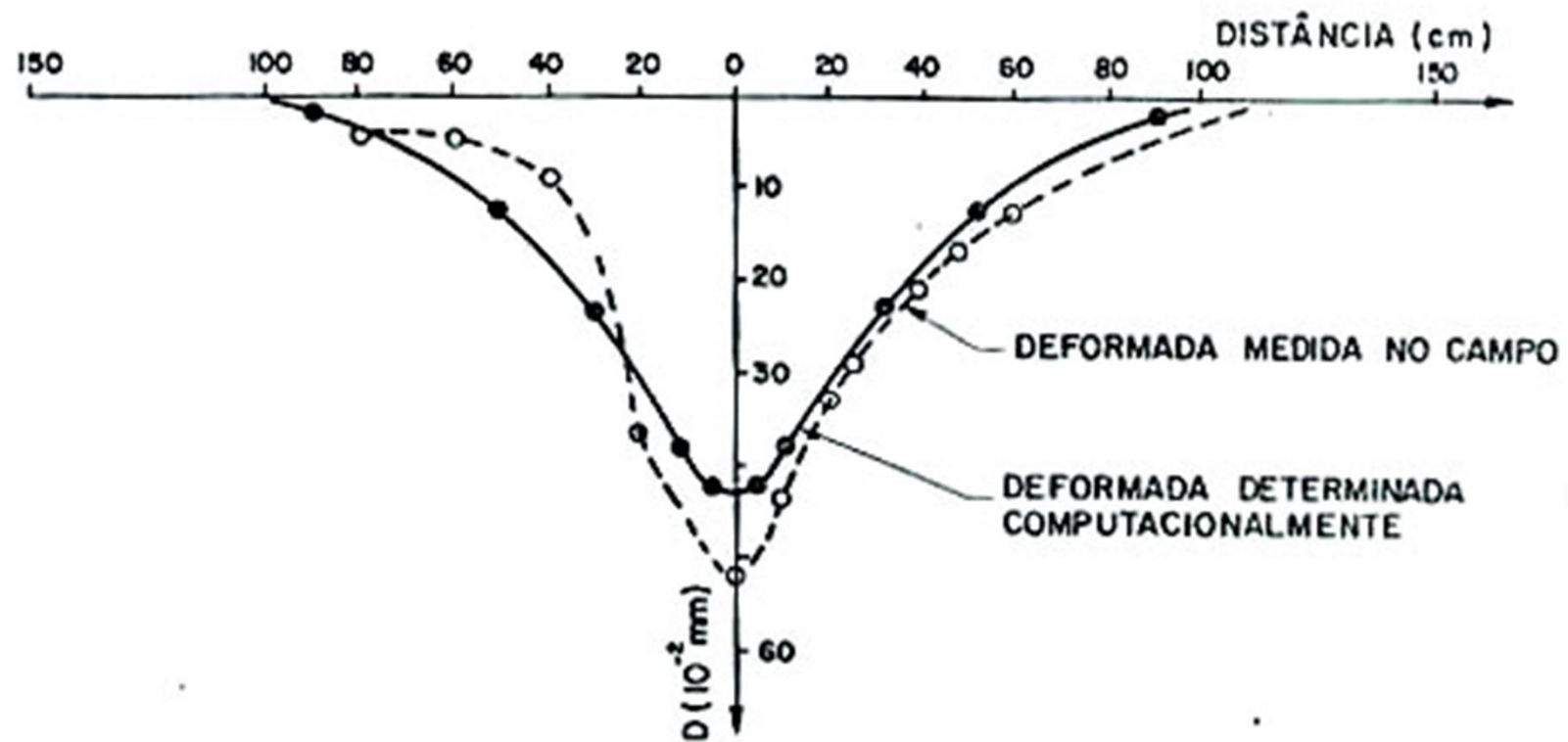
BR – 040 / RJ – Década de 1980





BR – 040 / RJ

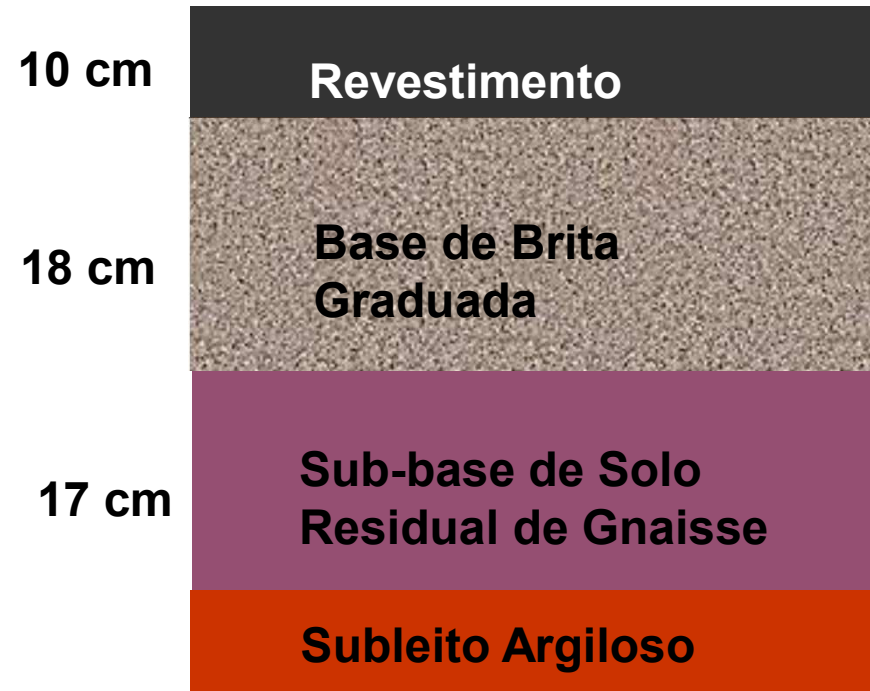
% da deflexão		
10 cm	Revestimento	4 %
37 cm	Base e Sub-Base de Brita Graduada	94 %
26 cm	Reforço de Argila Amarela	1 %
	Subleito de Argila Vermelha	1 %



BR – 040 / RJ

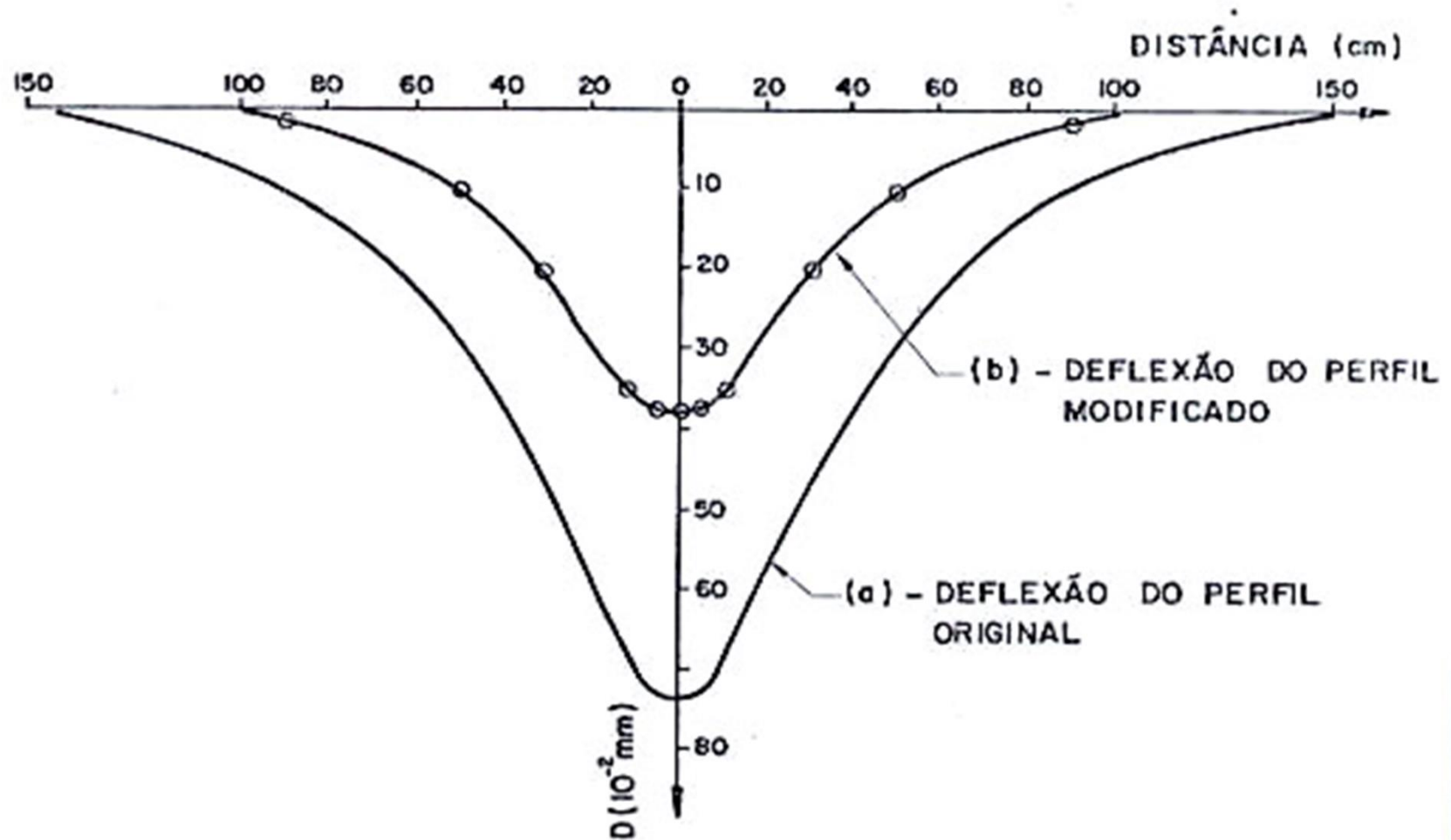


a) Perfil Original

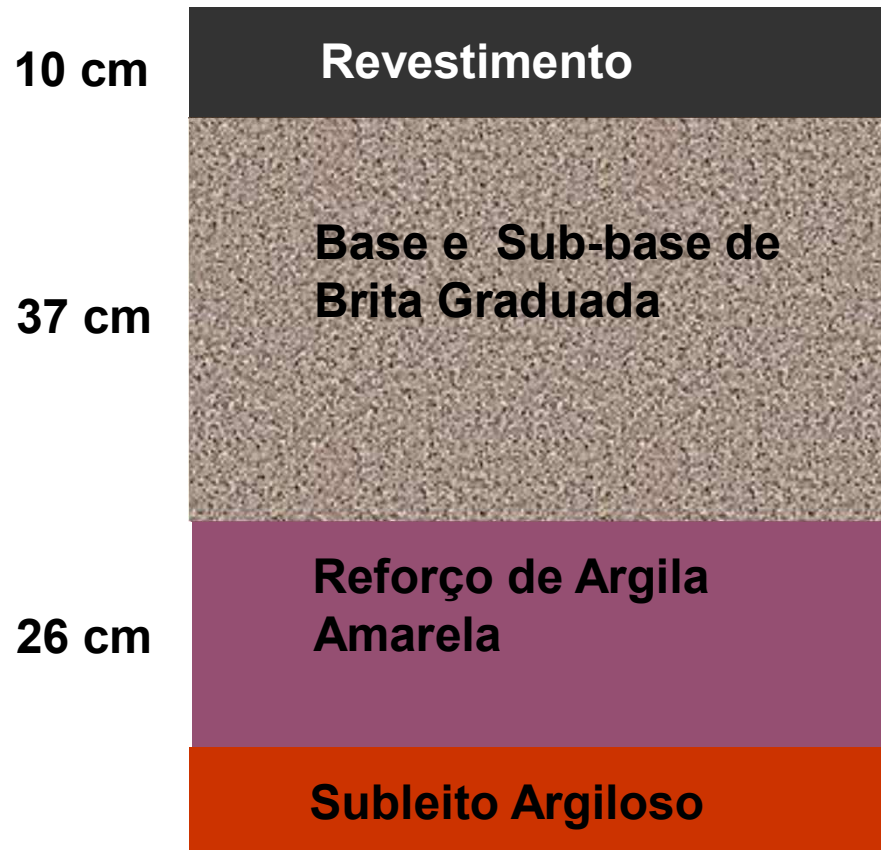


b) Perfil Modificado

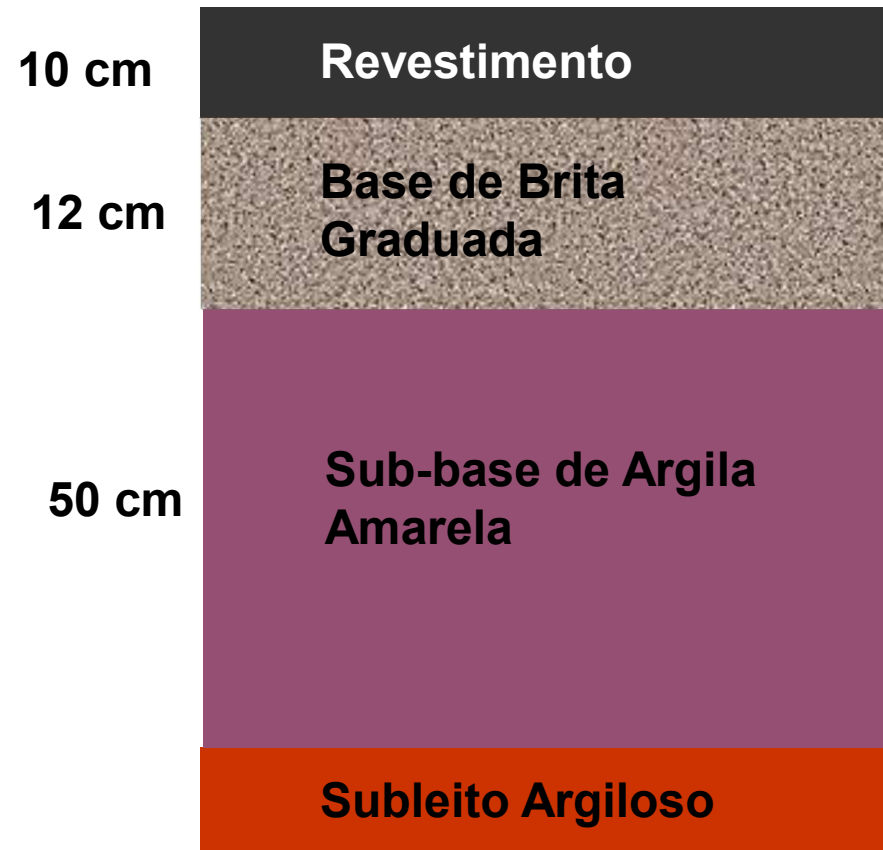
BR – 040 / RJ



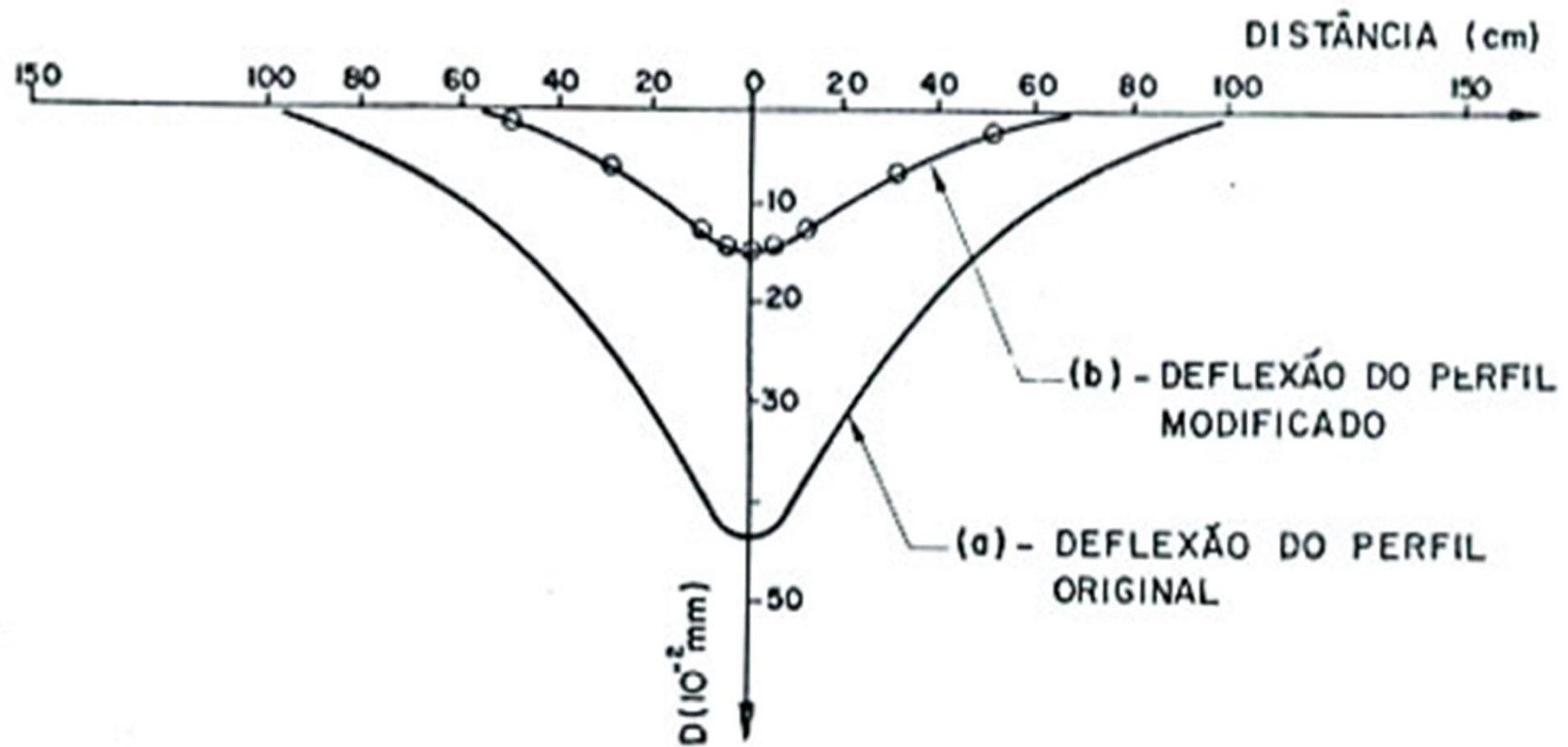
BR – 040 / RJ



a) Perfil Original



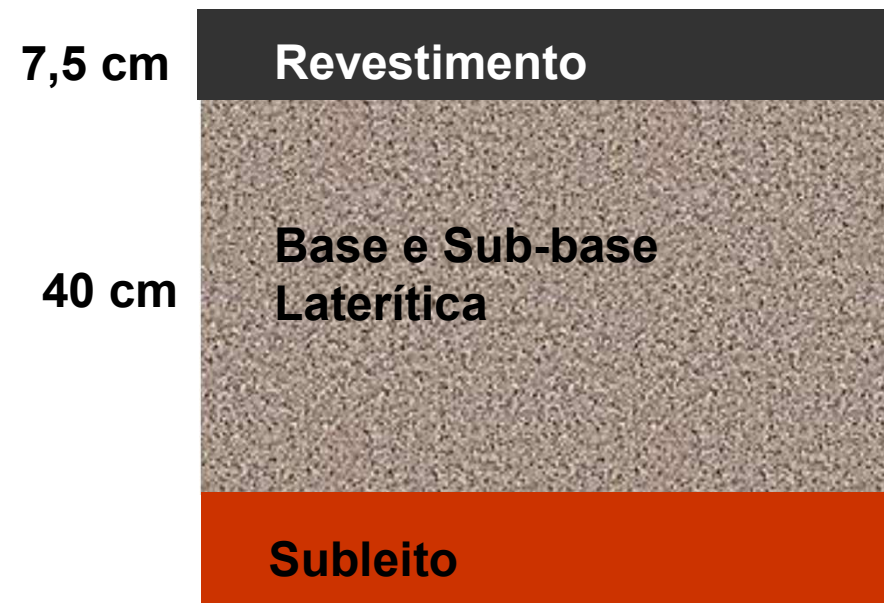
b) Perfil Modificado



Base Granular x Base Laterítica

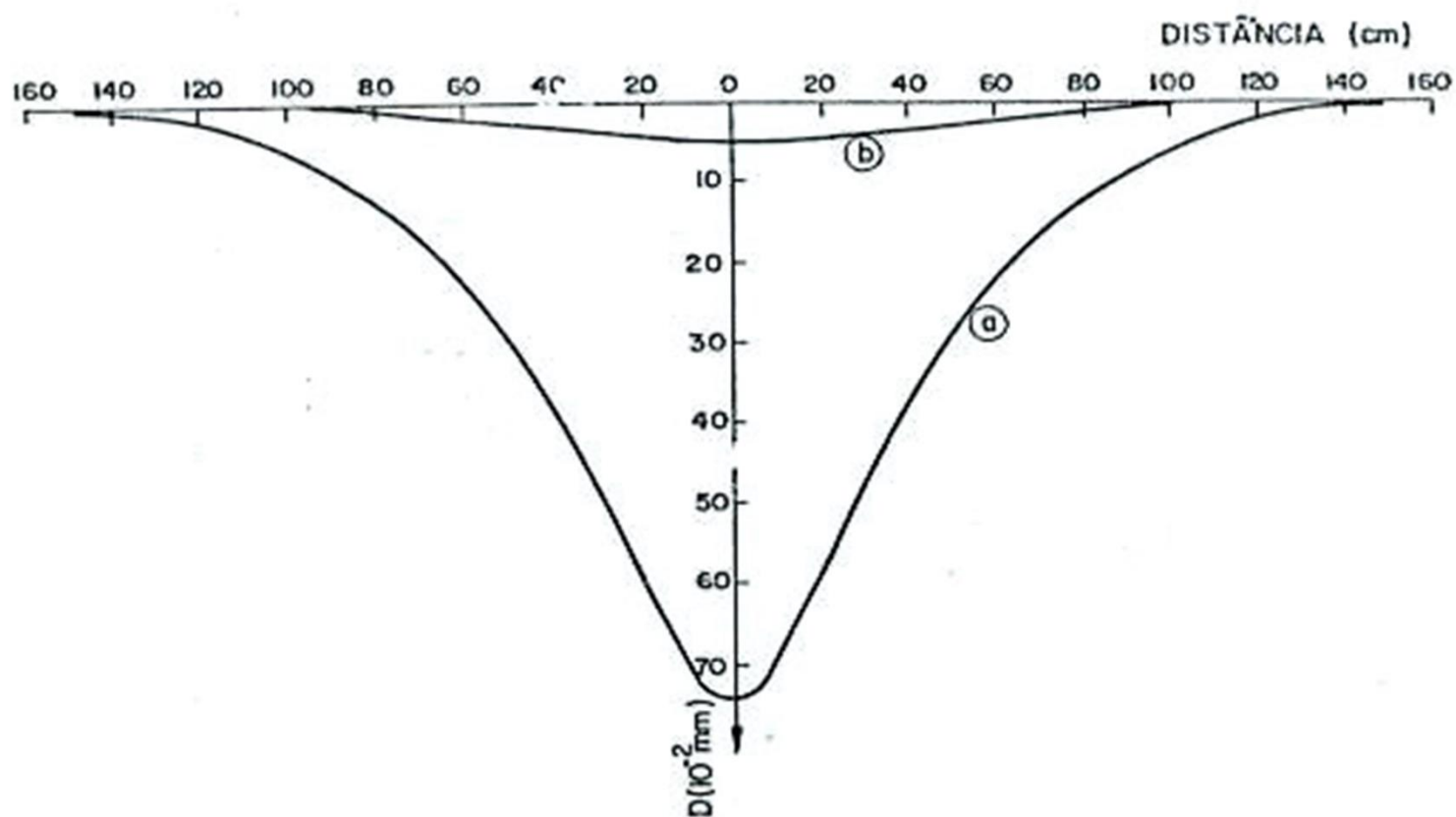


a) Pavimento Material Granular



b) Pavimento Material Laterítico

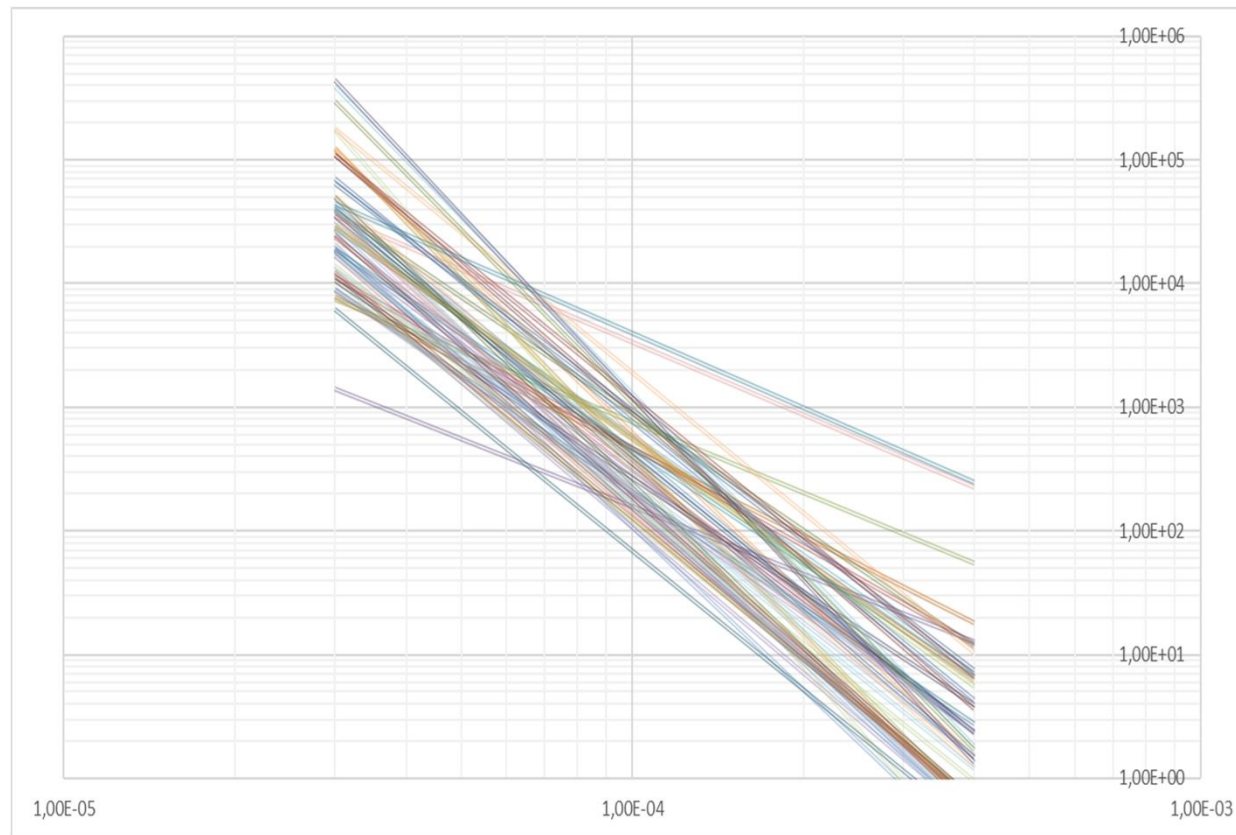
Base Granular x Base Laterítica



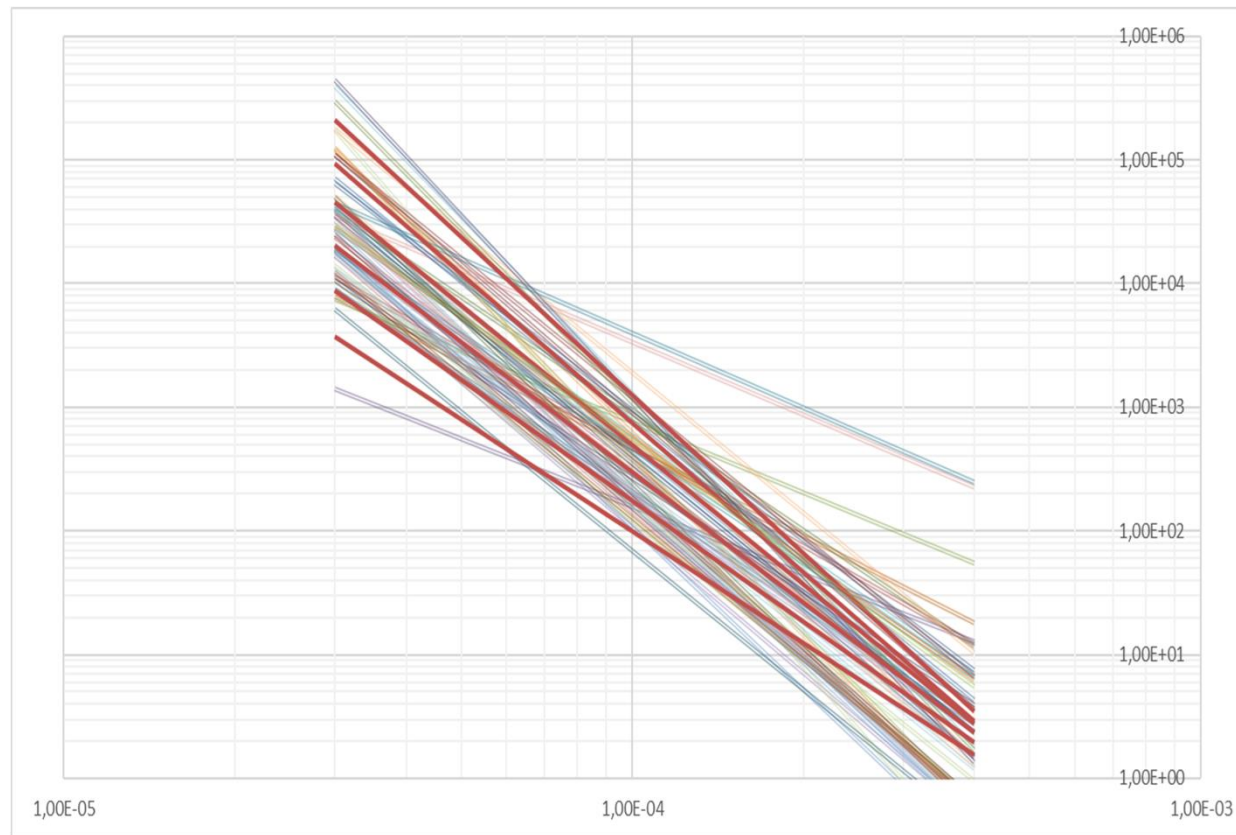
Método de Dimensionamento Nacional DNIT (2018)



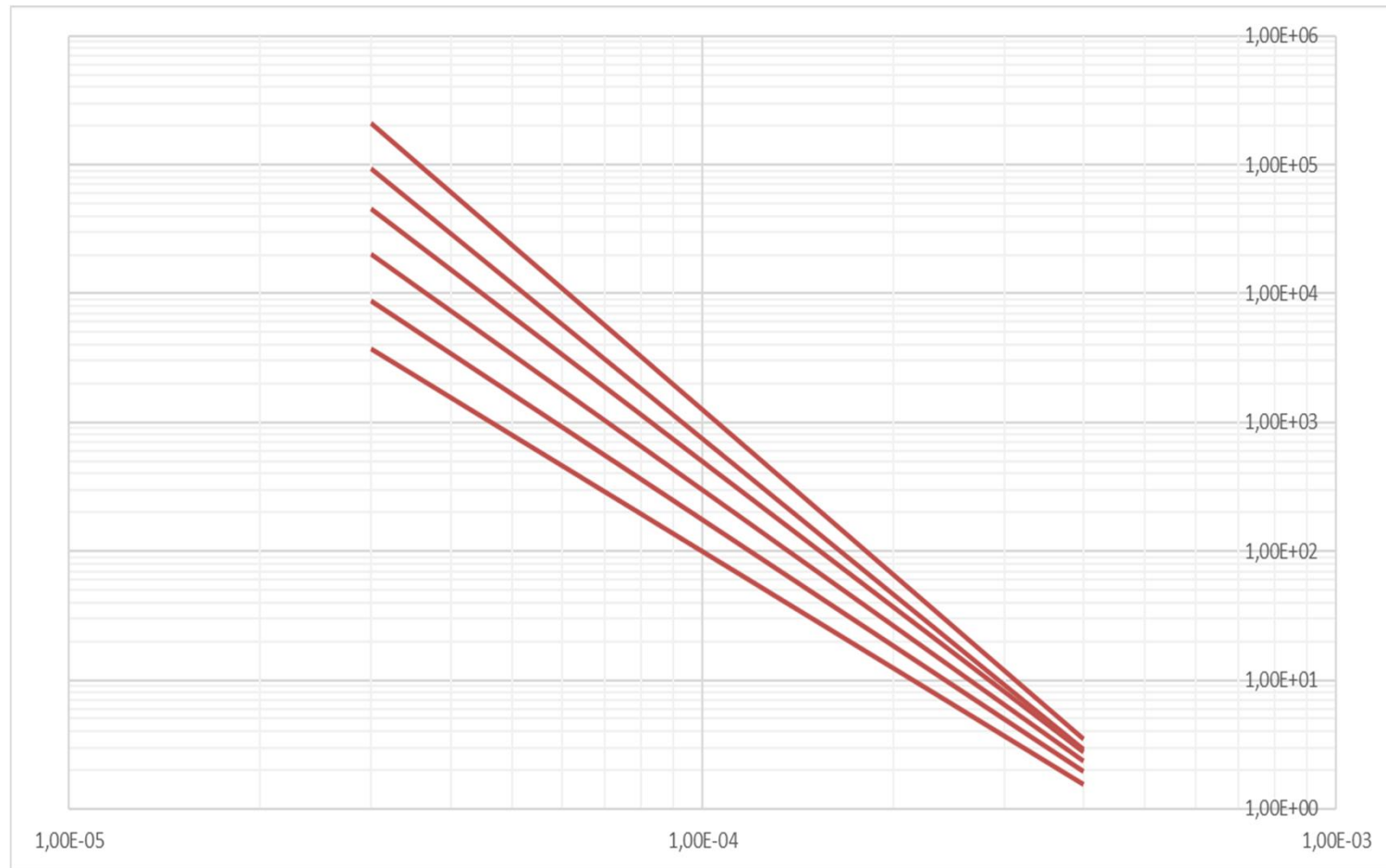
MeDiNa – Agrupando Fadigas



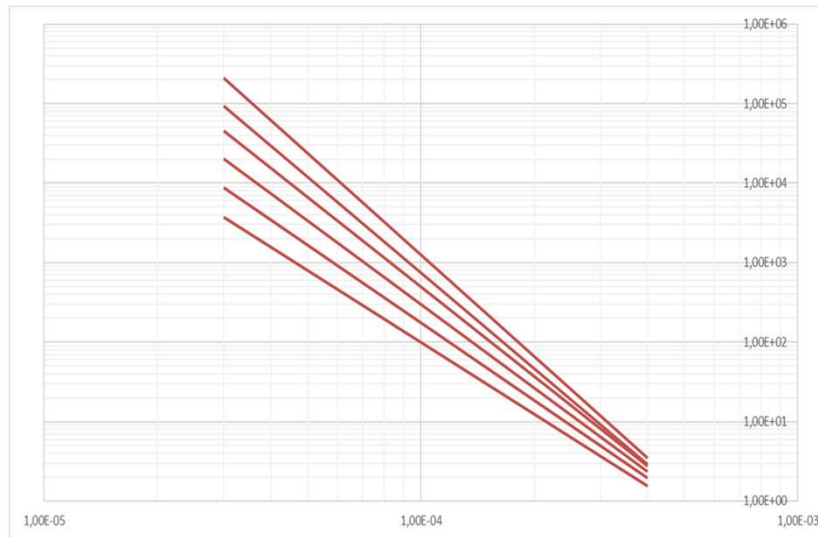
MeDiNa – Agrupando Fadigas



MeDiNa – Agrupando Fadigas



MeDiNa – Agrupando Fadigas



Nível	K1	K2	MR
6	1,25e-14	-4,25	5000
5	7,50e-14	-4,00	5500
4	5,00e-13	-3,75	6000
3	3,00e-12	-3,50	6500
2	1,75e-11	-3,25	7000
1	1,00e-10	-3,00	7200

Projeto [Editar](#) [Análise](#) [Ajuda](#)

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

VERSÃO PARA TESTES

AUTOR: EMPRESA: SUA MARCA
AQUIPROJETO: [Alterar Estrutura >>](#)

CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Nível 4	5,0	6000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Granito Gnaiss C5	15,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	27,0	250	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,35

+ EIXO PADRÃO RODVIÁRIO

- DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Área Urbana - Sistema Coletor
VMD (1º ano):	274
FV:	1.000
N anual total:	1.00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	1.00e+05
Taxa de crescimento (%):	0.0
Período de projeto (anos):	10
N Eq:	1.00e+06

N Anual da faixa:

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%
 Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 8,2%
 Análise encerrou por haver atingido a espessura mínima da camada.
 Deformação Permanente Total (sob as rodas): 6,1mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

VERSÃO PARA TESTES

AUTOR: Nome do autor ou dos autores do projeto

EMPRESA: Nome da empresa projetista

SUA MARCA
AQUI

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc

Alterar Estrutura >>

CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Nível 6	10,0	5000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Granito Gnaiss C5	15	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	30	250	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,35

+ EIXO PADRÃO RODVIÁRIO

- DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Área Urbana - Sistema Coletor
VMD (1º ano):	1370
FV:	1.000
N anual total:	5.00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	5.00e+05
Taxa de crescimento (%):	0.0
Período de projeto (anos):	10
N Eq:	5.00e+06

N Anual da faixa:

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 28,6%
Deformação Permanente Total (entre as rodas): 4,5mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

VERSÃO PARA TESTES

AUTOR: Nome do autor ou dos autores do projeto

EMPRESA: Nome da empresa projetista

SUA MARCA
AQUI

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc

Alterar Estrutura >>

CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Nível 6	13,2	5000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Granito Gnaiss C5	18,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	30,0	250	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,35

+ EIXO PADRÃO RODVIÁRIO

- DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Área Urbana - Sistema Coletor
VMD (1º ano):	2192
FV:	1.000
N anual total:	8.00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	8.00e+05
Taxa de crescimento (%):	0.0
Período de projeto (anos):	10
N Eq:	8.00e+06

N Anual da faixa:

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 29,7%
Deformação Permanente Total (entre as rodas): 3,5mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

VERSÃO PARA TESTES

AUTOR: Nome do autor ou dos autores do projeto

EMPRESA: Nome da empresa projetista

SUA MARCA
AQUI

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc

Alterar Estrutura >>

CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Nível 6	15,0	5000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Granito Gnaiss C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	32,0	250	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,35

+ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

- DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Área Urbana - Sistema Coletor
VMD (1º ano):	2740
FV:	1.000
N anual total:	1.00e+06
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	1.00e+06
Taxa de crescimento (%):	0.0
Período de projeto (anos):	10
N Eq:	1.00e+07

N Anual da faixa:

Número de passagens anual do eixo padrão na faixa de projeto

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%
Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 28,9%
Deformação Permanente Total (entre as rodas): 3,1mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

AUTOR: Nome do autor ou dos autores do projeto

EMPRESA: Nome da empresa projetista

SUA MARCA
AQUI

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc

Alterar Estrutura >>

CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Nível 4	10,0	6000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	20,0	250	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,35

+ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

- DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1370
FV:	1.000
N anual total:	5,00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	5,00e+05
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	10
N Eq:	5,00e+06

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

AUTOR:

Nome do autor ou dos autores do projeto

EMPRESA:

Nome da empresa projetista

SUA MARCA
AQUI

PROJETO:

Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc

Alterar Estrutura >>

CAMADA	MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO	Nível 4	10,0	6000	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	20,0	250	0,35
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,35

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano):	1370
FV:	1,000
N anual total:	5,00e+05
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	5,00e+05
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	10
NEq:	5,00e+06

--- DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO ---

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 85%

Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 29,0%

Deformação Permanente Total (entre as rodas): 4,1mm

Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

MeDiNa - Cálculo do Fator de Veículo (DNIT)

[illegible]

MeDiNa - v.1.0.0

Projeto

Editar

Análise

Ajuda

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

CALIBRAÇÃO

1 - CONCRETO ASFÁLTICO

2 - MATERIAL GRANULAR

3 - SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO

4 - SUBLEITO

1 - CONCRETO ASFÁLTICO

Área trincada (%)

Modelo:

Coeficiente de Regressão (k1):

5,0E-13

Coeficiente de Regressão (k2):

-3,75

Modelo:

Selecione o modelo a ser utilizado.

Expressão matemática do modelo:

$$N = k_1 \cdot (\epsilon_t)^{k_2}$$

Projeto novo

NÍVEL <A>

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

EVOLUÇÃO MENSAL DOS DANOS

Mês	N equiv	ÁREA TRINCADA (%)	Def Perm Total entre as rodas (mm)	Def Perm Total sob as rodas (mm)
1	4,167e+04	0,80%	2,96	2,78
2	8,334e+04	1,13%	3,10	2,92
3	1,250e+05	1,39%	3,19	3,00
4	1,667e+05	1,62%	3,25	3,06
5	2,084e+05	1,83%	3,30	3,11
6	2,500e+05	2,02%	3,35	3,15
7	2,917e+05	2,21%	3,38	3,18
8	3,334e+05	2,39%	3,41	3,21
9	3,750e+05	2,56%	3,44	3,24
10	4,167e+05	2,73%	3,46	3,26
11	4,584e+05	2,90%	3,49	3,29
12	5,001e+05	3,06%	3,51	3,31
13	5,417e+05	3,23%	3,53	3,32
14	5,834e+05	3,39%	3,55	3,34
15	6,251e+05	3,55%	3,56	3,36
16	6,667e+05	3,71%	3,58	3,37
17	7,084e+05	3,87%	3,59	3,39
18	7,501e+05	4,02%	3,61	3,40
19	7,917e+05	4,18%	3,62	3,42
20	8,334e+05	4,34%	3,63	3,43
21	8,751e+05	4,50%	3,65	3,44
22	9,168e+05	4,66%	3,66	3,45
23	9,584e+05	4,82%	3,67	3,46
24	1,000e+06	4,98%	3,68	3,47
25	1,042e+06	5,14%	3,69	3,48
26	1,083e+06	5,31%	3,70	3,49
27	1,125e+06	5,47%	3,71	3,50
28	1,167e+06	5,63%	3,72	3,51
29	1,208e+06	5,80%	3,73	3,52
30	1,250e+06	5,97%	3,74	3,53
31	1,292e+06	6,13%	3,75	3,54
32	1,333e+06	6,30%	3,75	3,54
33	1,375e+06	6,47%	3,76	3,55

MeDiNa - v.1.0.0

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA

MODELAGEM

RESULTADOS

RELATÓRIO COMPLETO DA ANÁLISE

Programa MeDiNa v.1.0.0

Dimensionamento do pavimento

SUA MARCA
AQUI

Empresa:
Projeto:
Elaborado por:

Seção do pavimento dimensionada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.
ATENÇÃO: Os resultados obtidos pelo programa devem ser avaliados criteriosamente antes de serem aprovados para a execução de campo.

Tipo de via: **Sistema Arterial Primário**
Nível de confiabilidade: **85%**
Período de projeto: **10** anos.

Análise realizada em **14/03/2018 às 20:37:13** no **NÍVEL DE PROJETO << A >>**
Área trincada prevista no pavimento no fim do período: **29,0%**
Deformação permanente total prevista no pavimento no fim do período:
- Entre rodas = **4,1mm**
- Sob as rodas = **3,9mm**

Estrutura do pavimento

Cam	Material	Espessura (cm)	Módulo (MPa)	Coef Poisson	Aderência	Propriedades
1	CONCRETO ASFÁLTICO Nível 4	10,0	Resiliente Linear MR = 6000	0,30	Não Aderido	Norma ou Especificação = DNIT ES 31 Ensaio de Fadiga -Modelo: k1 .(et ^ k2) -Coeficiente de Regressão (k1): ≥ 5,0E-13 -Coeficiente de Regressão (k2): ≥ -3,75 Flow Number Mínimo

Projeto novo

NÍVEL <A>

Métodos de ensaio atualizado RT



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE IN-
FRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁ-
RIAS

Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21240-000
E-mail: ipr@dnit.gov.br

Julho /2017

NORMA DNIT 136/2017 - ME

Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – De- terminação da resistência à tração por compres- são diametral – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR
Processo: 50607.002843/2017-46

Origem: Revisão da Norma DNER - ME 136/2010

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de //

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Misturas asfálticas, resistência, tração

Total de páginas

9



Método de ensaio atualizado MR

DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000
Tel/fax: (21) 3545-4600

Maio/2017

NORMA DNIT 134/2017-ME

**Pavimentação – Solos – Determinação do módulo
de resiliência – Método de ensaio**

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR

Processo: 50607.005821/2016-57

Origem: Revisão da Norma DNIT 134/2010-ME

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / .

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:
Solos, Britas, Módulo de resiliência

Total de páginas
18



Métodos de ensaio novo

DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro/RJ
CEP 21240-000
E-mail: ipr@dnit.gov.br

Junho/2017

NORMA DNIT xxx/2017 - ME

Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo administrativo nº 50607.001246/2017-02

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / .

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Mistura asfáltica, deformação permanente, número de fluxo, FN.

Total de páginas

9



Método de ensaio novo

DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL
DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO
E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163
Vigário Geral-Rio de Janeiro/RJ
CEP 21240-000
E-mail: ipr@dnit.gov.br

Julho/2017

NORMA DNIT xxx/2017 - ME

Pavimentação - Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50607.001247/2017-49

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / .

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Mistura asfáltica, dano por umidade induzida, Lottman

Total de páginas

9





MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE IN-
FRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, km 163

Vigário Geral - Rio de Janeiro/RJ

CEP 21240-000
E-mail: ipr@dnit.gov.br

Julho/2017

NORMA DNIT xxx/2017 - ME

Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral a tensão controlada – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50607.001249/2017-38

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / .

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Vida de fadiga, tensão controlada, compressão diametral, ruptura

Total de páginas

15



Método de ensaio atualizado MR CBUQ

DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISAS

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000
E-mail: ipr@dnit.gov.br

Junho /2017	NORMA DNIT 135/2017 - ME	
Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas Determinação do módulo de resiliência Método de ensaio		
Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR		
Processo: 50607.001248/2017-93		
Origem: Revisão da norma DNIT 135/2010 - ME		
Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de / / .		
Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.		
Palavras-chave:		Total de páginas
Misturas asfálticas, Módulo de resiliência, coeficiente de Poisson.		13



Norma nova MR BGTC



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA EXECUTIVA
INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000
Tel/fax: (21) 3545-4600

/2016

NORMA DNIT __/2016 - ME

Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo:

Origem: TED 682/2014 – norma nova

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de / / .

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

BGTC, solo-cimento, CCR, material tratado quimicamente, módulo de resiliência.

Nº total de páginas

16

Resumo

Esta norma especifica os procedimentos de ensaio para determinação do comportamento resiliente de brita graduada tratada com cimento Portland (BGTC), concreto compactado com rolo (CCR), material de reciclagem de revestimento e base com adição de cimento Portland, solo cimento e outros materiais de pavimentação estabilizados quimicamente. As

Abstract

This standard specifies the test procedures for determining the resilient behavior of cement treated base (CCTB), roller compacted concrete (RCC), cold recycling with cement, soil - cement, and other pavement materials that are chemically stabilized. The test conditions are such that they simulate the physical conditions and stress states of these materials in

Norma Nova: FN (concreto asfáltico)

DNIT

MINISTÉRIO DOS
TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL
DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA
DESENVOLVIMENTO
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP
21240-000
Telfax: (21) 3545-4600

/2017

NORMA DNIT __/2017 - ME

Pavimentação - Misturas asfálticas - Ensaio uniaxial de carga repetida para a determinação da resistência à deformação permanente – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: xxxxxxx

Origem: TED 682/ 2014

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de / / .

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Nº total de páginas

Mistura asfáltica, deformação permanente, número de fluxo, FN.

9

Resumo

Esta Norma descreve um procedimento de ensaio para a estimativa da resistência à deformação permanente de misturas asfálticas na fase de projeto e de construção, a partir do ensaio uniaxial de carga repetida em corpo de prova cilíndrico, utilizando o parâmetro denominado Número de Fluxo. Este parâmetro na designação internacional denomina-se *Flow Number*, com a sigla

6	Ensaio.....	4
7	Resultados.....	4
8	Ensaio.....	5
	Anexo A (Normativo) Figura 1 e Figura 2.....	6
	Anexo B (Informativo) Figura 3 e Figura 4	7
	Anexo C (Informativo) Bibliografia.....	8
	Índice geral.....	9



BRASIL: Novo método dimensionamento

- Rede Temática de Asfalto da Petrobras – 20 universidades (desde 2006)
- DNIT (IPR) e COPPE - TED início abril 2015, mas parceria antiga. Exemplo:
 - Ensaio de carga repetida de solos implantados desde 1978 (Preussler, 1978)
 - Ensaio de carga repetida de concreto asfáltico desde 1980 (Pinto e Preussler, 1980)



MeDiNa - v.1.0.0 - abril/2018

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

AUTOR: Nome do autor ou dos autores do projeto EMPRESA: Nome da empresa projetista

PROJETO: Identificação da via, rodovia, trecho, km, estaca, etc

Alterar Estrutura >>

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO
2	MATERIAL GRANULAR
3	SOLO FINO, SILTOS
SL	SUBLEITO

COEFICIENTE DE POISSON

0,30
0,35
0,45
0,45

MeDiNa 2018
Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos
v 1.0.0

DNIT

☒ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

☒ DADOS DO TRÁFEGO

Tipo de Via:

VMD (1º ano):

FV:

N anual total:

% Veículos na faixa de projeto:

N Anual da faixa:

Taxa de crescimento (%):

Período de projeto (anos):

N Eq: 5,00e+06

Projeto novo

NÍVEL <A>

Participantes deste desenvolvimento

Equipe COPPE

- Jacques de Medina
- Laura Maria Goretti da Motta
- Francisco Thiago Sacramento Aragão
- Filipe Augusto C. de Proença Franco
- Mariluce Ubaldo
- Álvaro Augusto Dellê Vianna
- Marcos Antonio Fritzen
- Carlos Filipe Santos Correia e Silva
- Leni Figueiredo Mathias Leite
- **Alunos mestrado e doutorado**

Equipe IPR/DNIT (Fiscais TED)

- Luciana Nogueira Dantas
- Prepredigna D. E. Almeida da Silva
- Jeffrey Rodrigues de Carvalho



Participantes deste desenvolvimento

- **Equipe Rede Temática Asfalto (CENPES/PETROBRAS) – coordenadores locais**
- Luis Alberto Hermmann do Nascimento (CENPES/PETROBRAS)
- Ilonir Antônio Tonial (Consultor)
- Antônio Carlos Rodrigues Guimarães (IME)
- Liedi Barianni Bernucci (USP)
- Jorge Augusto Pereira Ceratti (UFRGS)
- Jorge Barbosa Soares (UFC)
- Luciano Pivoto Specht (UFSM)
- Geraldo Luciano Marques (UFJF)
- Glicério Trichês (UFSC)
- Adalberto Leandro Faxina (USP / SC)
- Mário Henrique Furtado de Andrade (UFPR)
- Lílian Rezende (UFG)
- John Kennedy (UFCG)
- UFS e UFMT



A figura central: Jacques de Medina





Laboratório de Geotecnia Prof. Jacques de Medina - Setor de Pavimentos

*Laura Maria Goretti da Motta, D.Sc.
(COPPE/UFRJ, 1991)*

**PROGRAMA DE ENGENHARIA CIVIL
COPPE/UFRJ**

laura@coc.ufrj.br



Laura Motta





ENGENH



COPPE

Laura Maria Goretti da Motta

COPPE/ UFRJ

CP 68506- Rio de Janeiro

CEP: 21941-972

Tel.: (21) 3938-7197

laura @ coc. ufrj. br

www.coc.ufrj.br

COPPE
Jo Luiz Coimbra de
Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia UFRJ

Laura Motta COPPE/UFRJ

Agradecimentos:



- Petrobras/CENPES
- DNIT/IPR
- UFRJ/COPPE
- Parceiros de várias universidades
- Alunos e técnicos Laboratório
- Eduardo Suassuna pela amizade de tantos anos
- Professora Kenia pelo convite
- ULBRA
- **A todos vocês que me ouviram hoje**

Obrigada aos que me ouviram hoje

