



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES



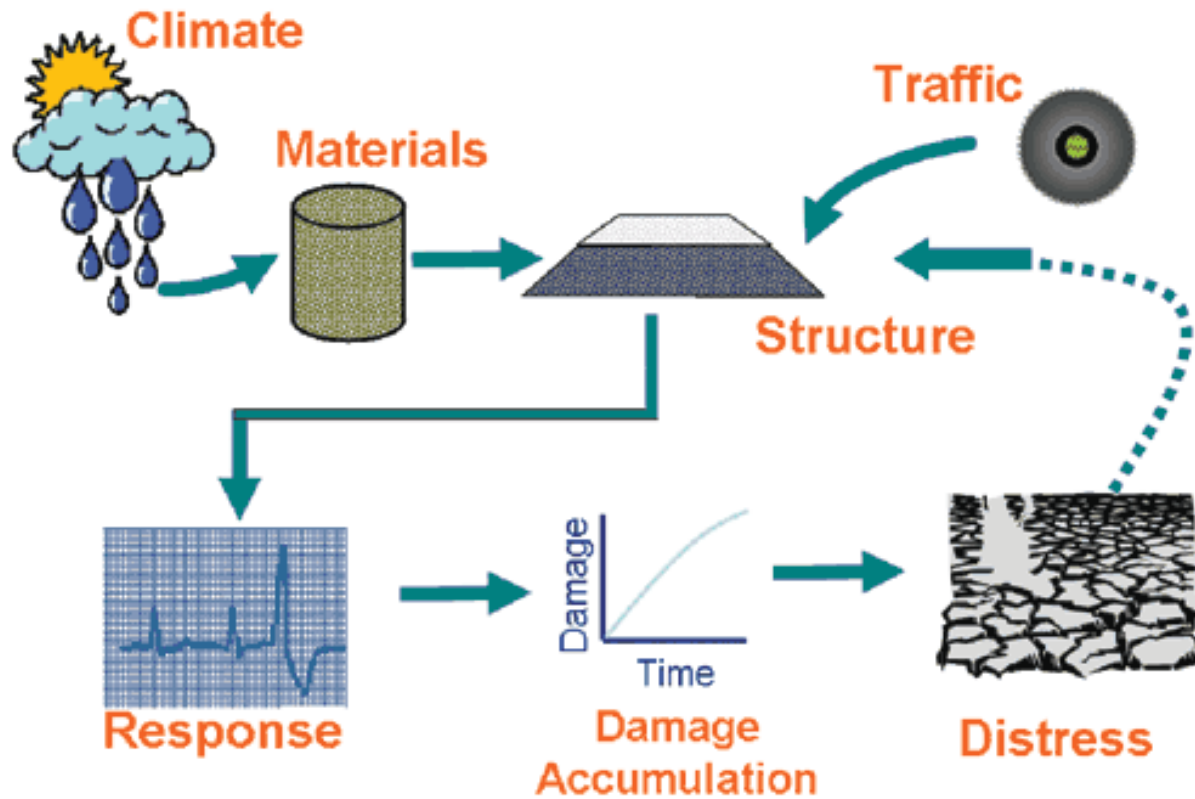
DIMENSIONAMENTO PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: MÉTODO EMPÍRICO

**Profa. Dra. Liedi Bernucci
Profa. Dra. Kamilla Vasconcelos**



AASHO ROAD TEST

Dados de entrada e fatores intervenientes



(FHWA)



AASHO ROAD TEST

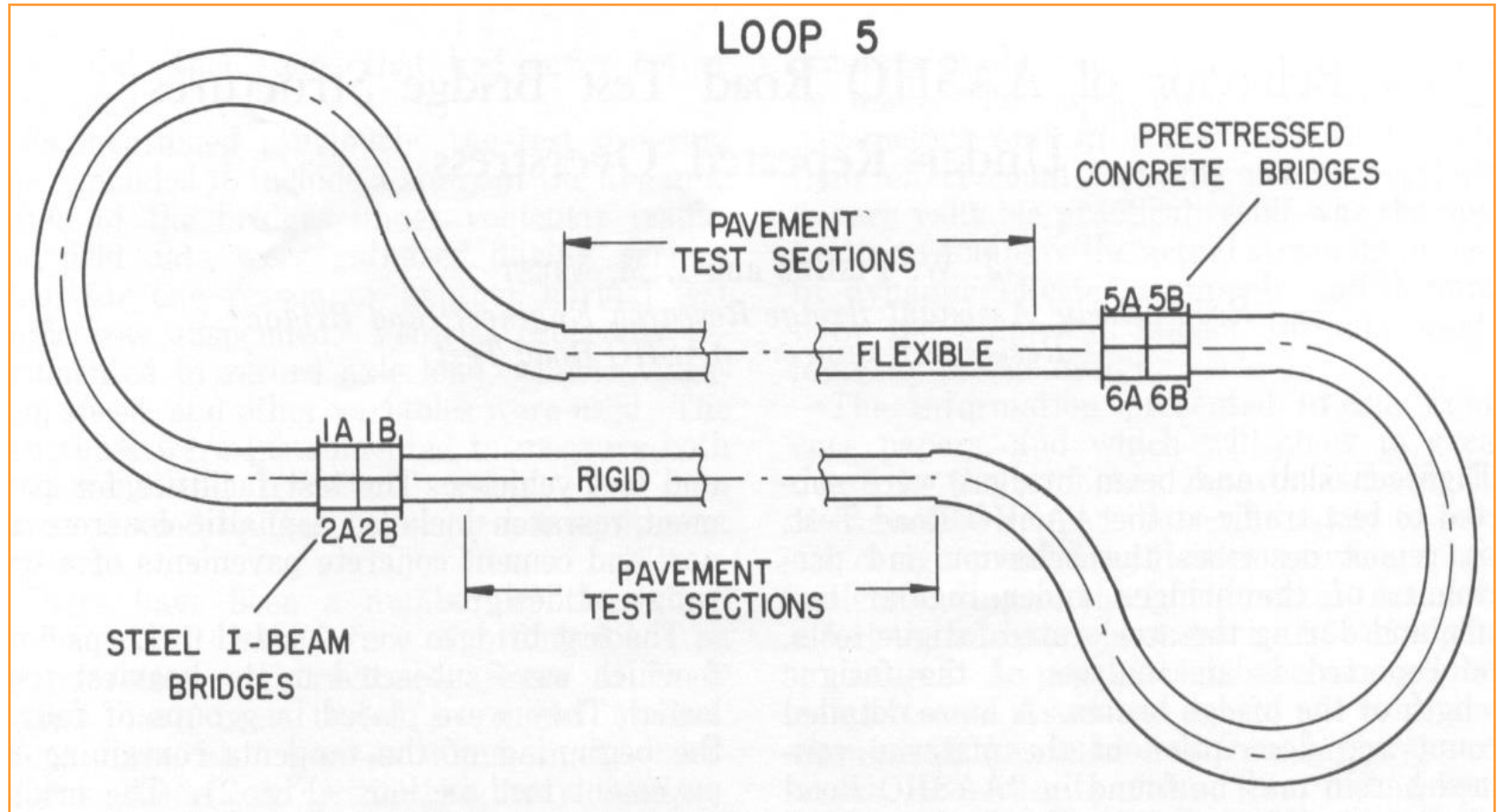
Final da década de 50





AASHO ROAD TEST

Exemplo de um das pistas da AASHO – Loop 5





AASHO ROAD TEST - CLIMA



Average Mean Temperature (July)	24.5°C (76°F)
Average Mean Temperature (January)	-2.8°C (27°F)
Annual Average Rainfall	837 mm (34 inches)
Average Depth of Frost (for fine-grained soil)	711 mm (28 inches)



AASHO ROAD TEST - TRÁFEGO

Exemplos de veículos utilizados para teste nas pistas da AASHO



Figure 5. Typical single-axle vehicle from Loop 5.



Figure 6. Typical tandem-axle vehicle from Loop 6.

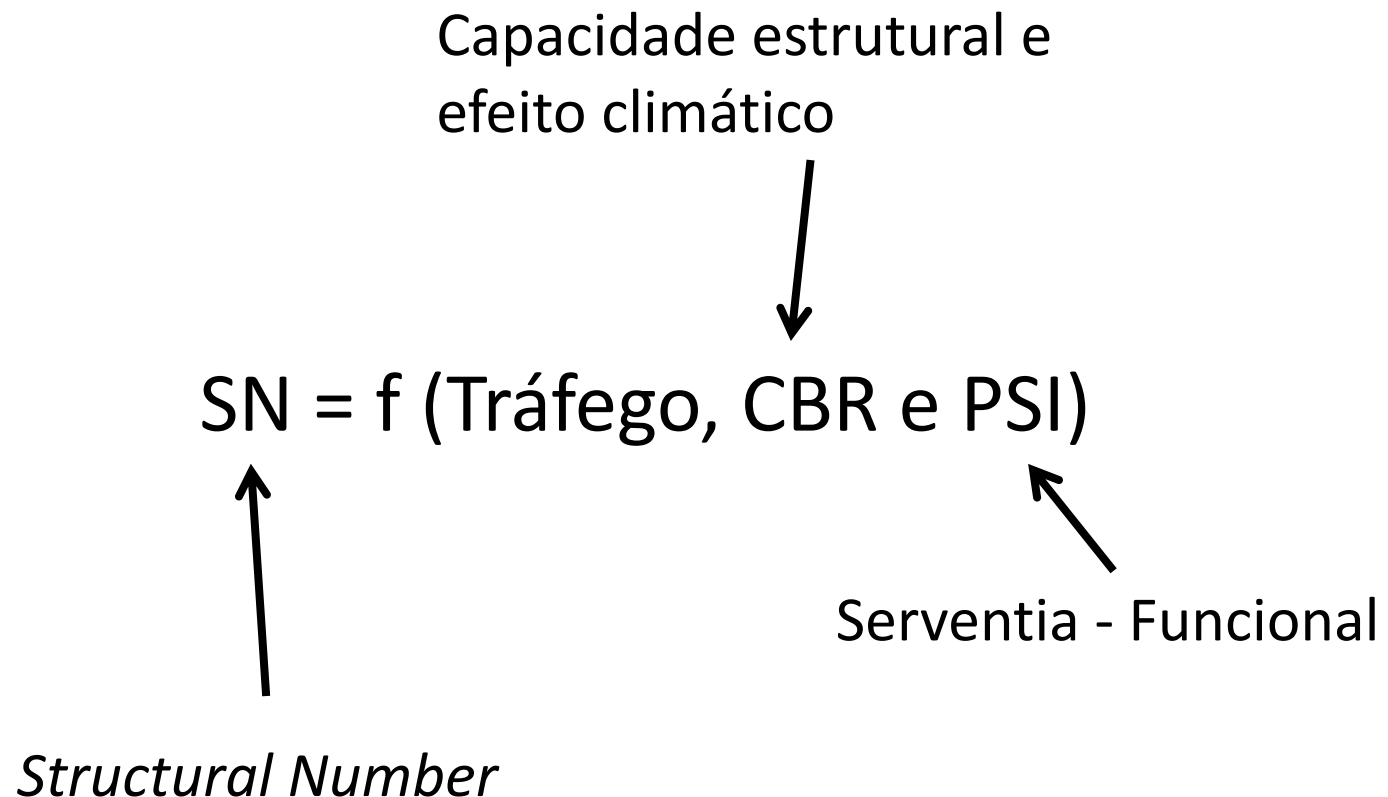
A avaliação estrutural e funcional de serventia era feita logo após a construção e periodicamente após um certo número de solicitações do tráfego de teste. Avaliavam-se as alterações do estado de superfície e suas conseqüências na percepção do conforto ao rolamento dos usuários.

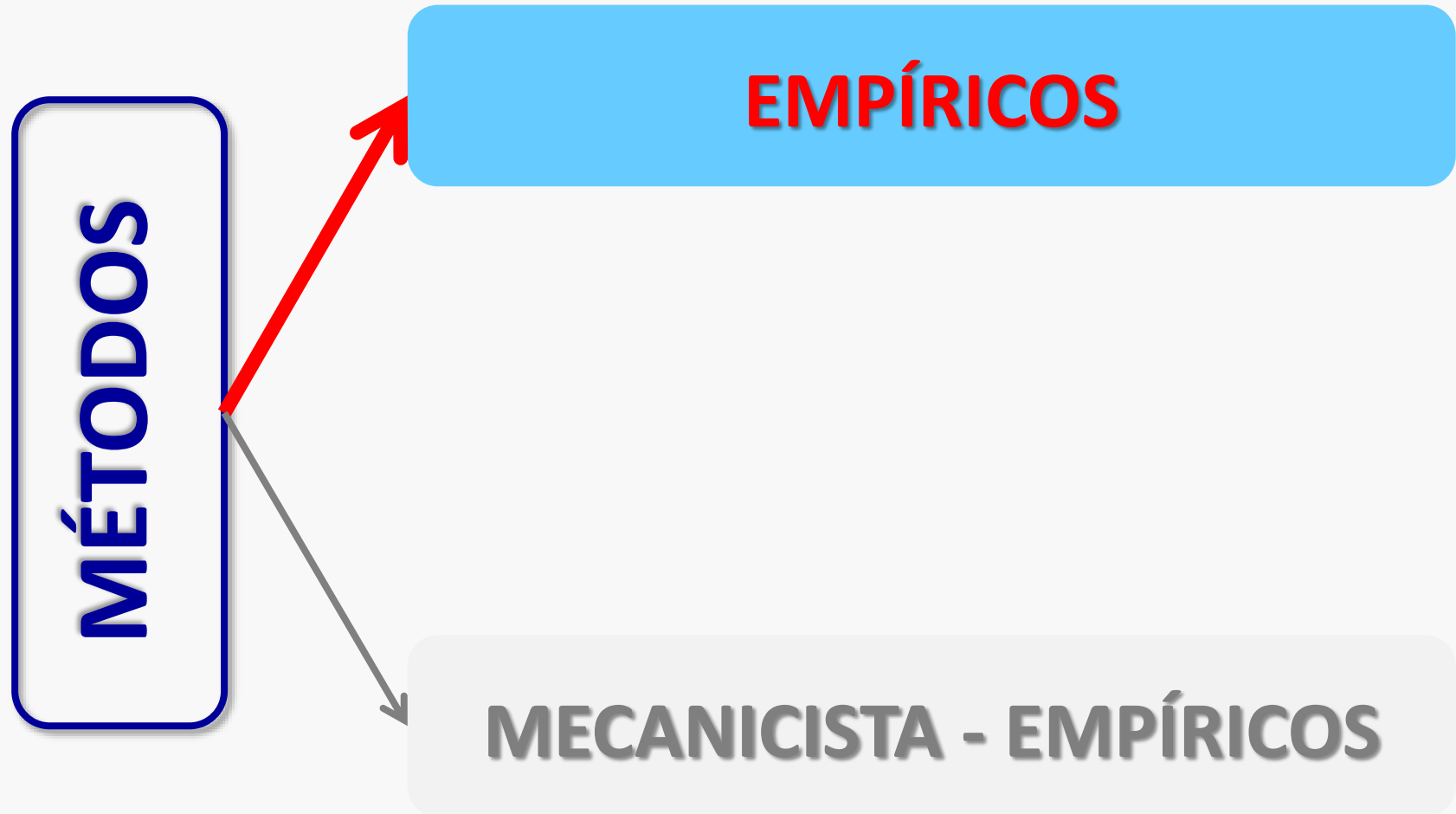


Avaliação de Defeitos e registros (Performance)



Dimensionamento de Estruturas de Pavimentos – Guia de 1962

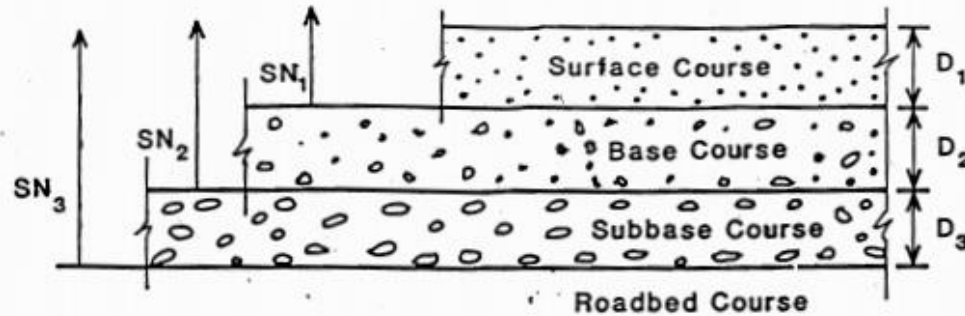






DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO

Dimensionamento de Estruturas de Pavimentos – Guia de 1962



$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

SN = f (Tráfego, CBR e PSI)



Simuladores de pista-teste

CEDEX



Flexible Pavements Dynamic Response under a Moving Wheel

Angel Mateos, Pablo de la Fuente Martín and Javier Perez Ayuso



SIMULADORES DE TRÁFEGO - BRASIL



UFRGS





SIMULADORES DE TRÁFEGO - MÓVEL



Simular

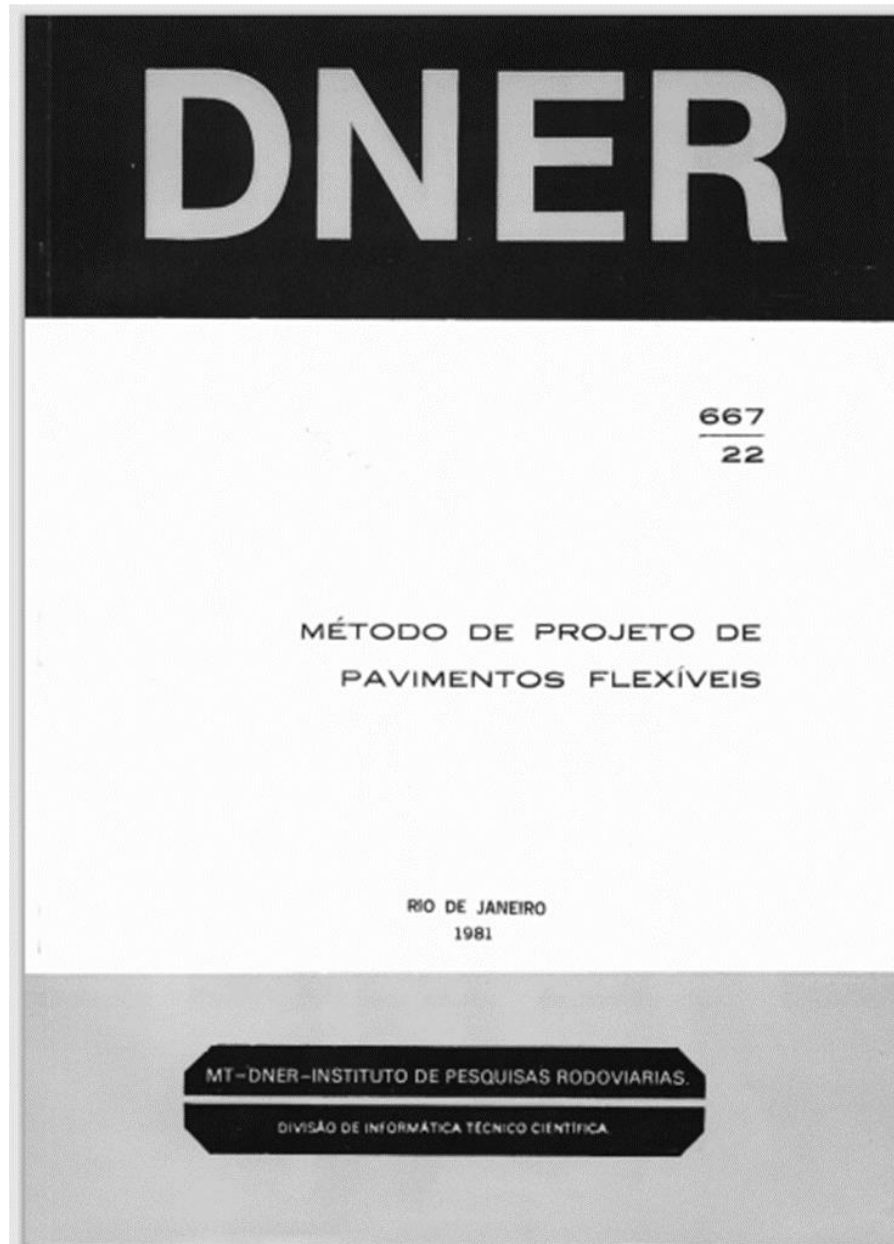


HVS





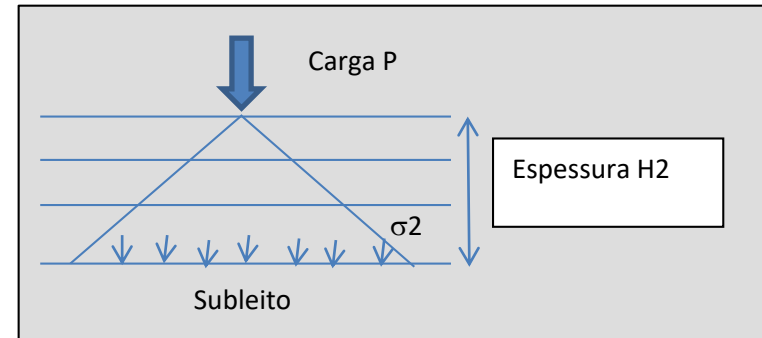
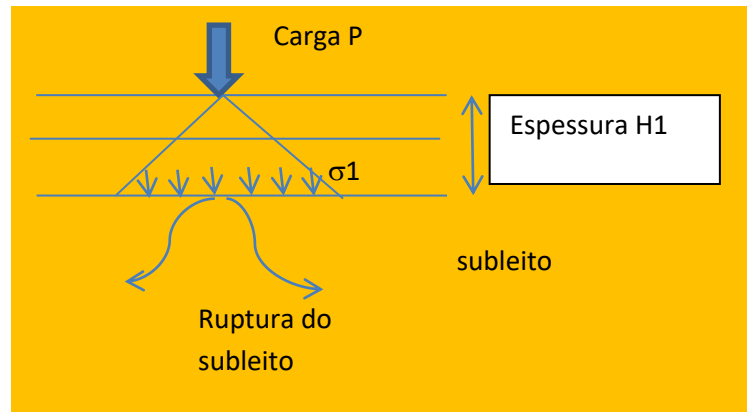
DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)





DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

- Baseado no princípio de PROTEÇÃO do subleito à ruptura por cisalhamento ou afundamento expressivo (final da década de 20 na Califórnia – era o principal problema dos pavimentos asfálticos)



$$H2 > H1, \text{ e } \sigma_2 \lll \sigma_1$$

Portanto, Espessura Total em função da
Capacidade de Suporte do Subleito, dada pelo CBR



DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

O método do DNIT é uma adaptação efetuada pelo **Eng. Murillo Lopes de Sousa em 1966** do método desenvolvido pelo USACE que utiliza algumas conclusões da pista experimental da AASHO (1958 a 1960).

As seguintes **4 etapas** de trabalho fazem parte do dimensionamento de pavimentos flexíveis de acordo com o referido método.

(1) DEFINIÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO SUBLEITO

(2) DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS

(3) DETERMINAÇÃO DO TRÁFEGO

(4) DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO DA PISTA DE ROLAMENTO E ACOSTAMENTOS



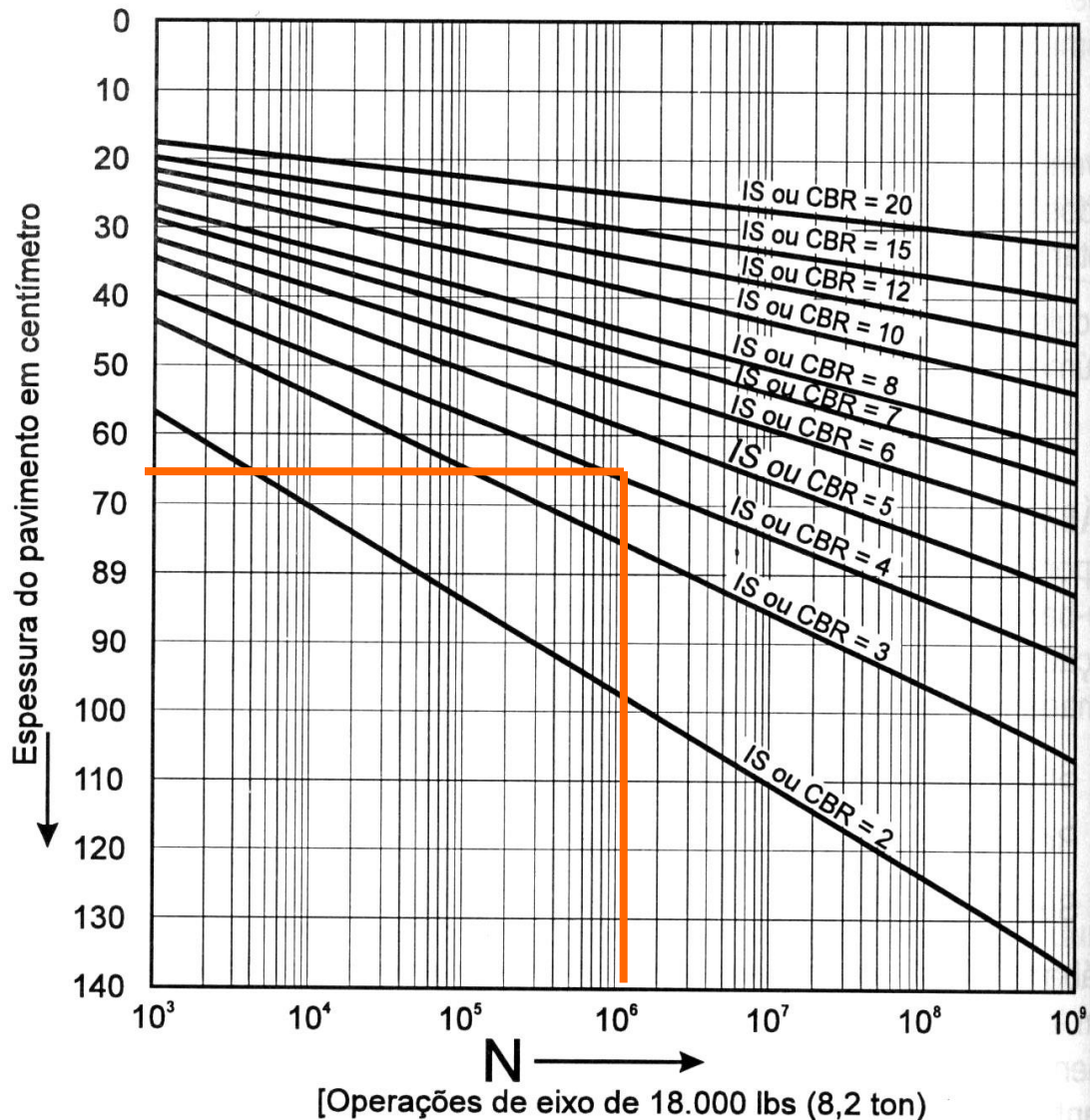
DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

Espessura total de pavimento é dada em **função do N** e da **capacidade de suporte** (CBR ou IS = Índice de Suporte dado como a média do $IS_{CBR} = CBR$ e o IS_{IG} que é tabelado de acordo com o IG, notando que $IS \leq IS_{CBR}$), em termos de base granular ($K = 1,00$).

Entra-se com o **valor de N na abscissa** e traçasse uma reta vertical até atingir o valor de suporte em causa.

Ordenada correspondente é a espessura do pavimento necessária para proteger um material com o CBR utilizado.

A hipótese é de drenagem adequada e lençol subterrâneo rebaixado em relação ao greide.





DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

4) DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO DA PISTA DE ROLAMENTO E ACOSTAMENTOS

Tabela 31 - Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20



DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

Existem dimensões mínimas para o **revestimento betuminoso R** (considerando $K = 2,00$) em função do número N de operações:

Tabela 32 - Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura



MÃO NA MASSA



EXERCÍCIO

II. Aplicação de Conceitos

4) Dimensione uma estrutura de pavimento flexível pelo método do DNER-66 (revisto em 1981), para um tráfego de **2×10^7 repetições de carga do eixo padrão** para um período de projeto de 15 anos. O **CBR de projeto do subleito** (calculado a partir de vários dados de CBR determinado com os materiais coletados na pista) é de **4%** e expansão de 1,2%. Para valores de CBR de projeto inferior a 2%, ou para expansão superior a 2%, são feitas substituições de solo.



EXERCÍCIO

II. Aplicação de Conceitos

Tem-se para fazer os pavimentos os seguintes materiais e facilidades:

- Usina de asfalto para CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente – Concreto Asfáltico) e PMQ (Pré-misturado a Quente);
- Equipamentos para tratamento superficial;
- Usina de brita graduada simples com material “A” com CBR 90% e material “B” com CBR de 64% (ensaios realizados na energia modificada);
- Jazida de cascalho natural com CBR de 28% na energia intermediária;
- Jazida de solo laterítico argiloso tipo LG’ (na classificação de solos tropicais desenvolvida por Nogami e Villibor em 1981), com CBR de 10% na energia intermediária.



EXERCÍCIO

II. Aplicação de Conceitos

Algumas regras:

- Para $N \geq 10^6$ repetições de carga do eixo padrão, o material de base deve apresentar $CBR \geq 80\%$, para $N < 10^6$ o material de base deve apresentar $CBR \geq 60\%$. A expansão de material de base deve ser menor ou igual a 0,5%.
- Para a sub-base, obrigatoriamente o material deve apresentar $CBR \geq 20\%$.
- Para compactar uma camada de solo ou material granular, recomenda-se que a espessura seja de no mínimo 10 cm e no máximo de 20cm.
- As camadas de revestimento usinado a quente devem ser executadas com um mínimo de 2 cm (depende das dimensões do material graúdo utilizado) e no máximo de 8 cm.



DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

Existem dimensões mínimas para o **revestimento betuminoso R** (considerando $K = 2,00$) em função do número N de operações:

Tabela 32 - Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura



Tabela 31 - Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20



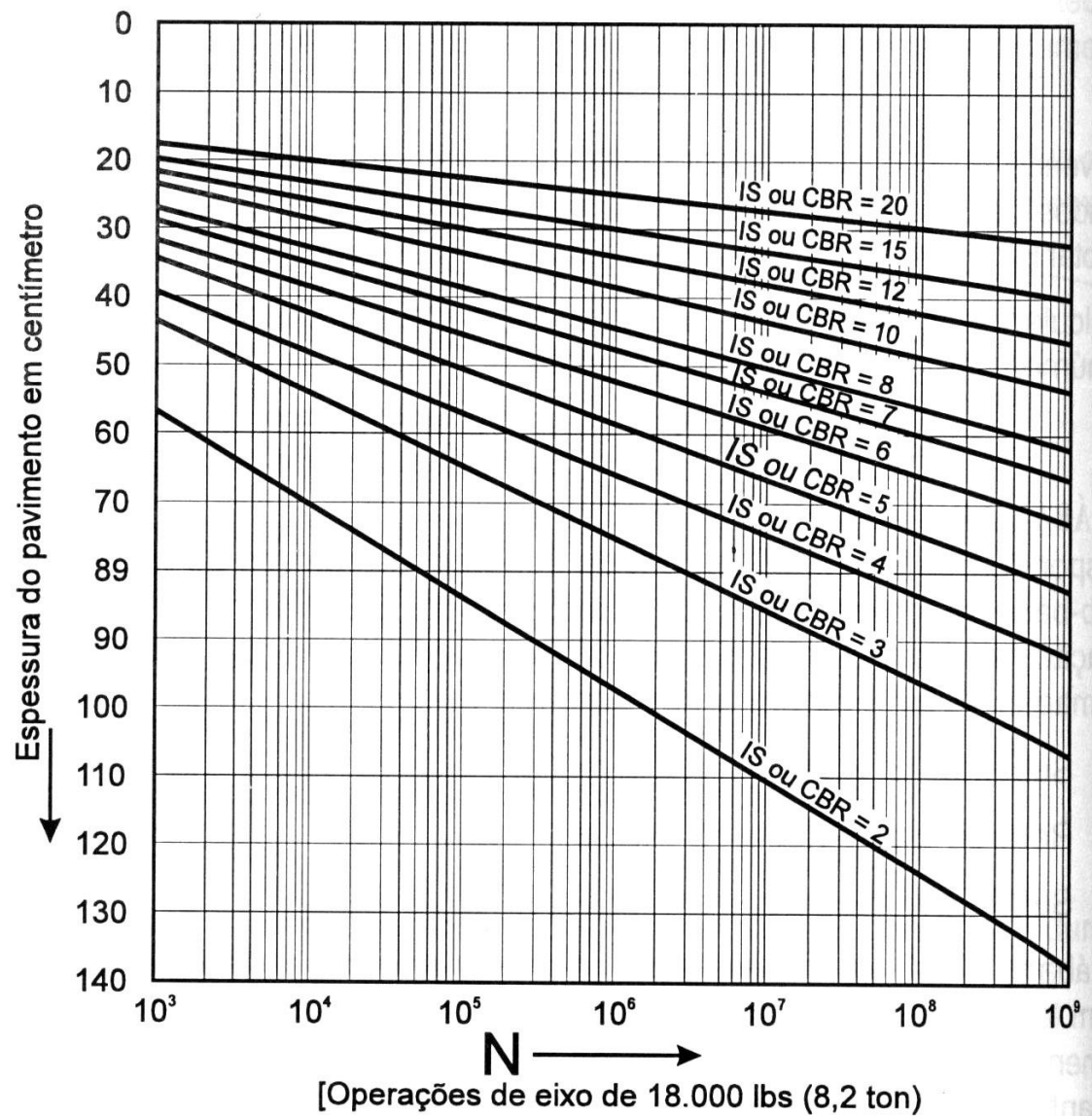
DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

EXERCÍCIO

	Material	Espessura
Revestimento Asfáltico	CONCRETO BETUMINOSO	?
Base	CBR ≥ 80% BGS com material "A" (CBR = 90%)	?
Sub-Base	CBR ≥ 20% Cascalho natural (CBR = 28%)	?
Reforço do Subleito	especificação não fixa CBR Solo laterítico argiloso tipo LG' (CBR = 10%)	?
Subleito	CBR = 4%	?



DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)



VALOR MÁXIMO PARA CÁLCULO: CBR = 20

$$H = 77,76 \times N^{0,0482} \times CBR^{-0,598}$$



RESOLUÇÃO

Para proteger subbase (CBR = 28 \rightarrow 20) precisa-se de: $H_{20} = 30$ cm (direto do gráfico)
Para proteger reforço (CBR = 10) precisa-se de: $H_{10} = 45$ cm (direto do gráfico)
Para proteger subleito (CBR = 4) precisa-se de: $H_4 = 77$ cm (direto do gráfico)

Base:

Concreto betuminoso (K = 2,0); camadas granulares (K = 1,0).

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$10,0 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 30 \text{ cm} \quad \therefore B \geq 30 - 20 = \underline{10 \text{ cm}}$$

Sub-base:

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$$

$$10,0 \times 2,0 + 10 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 \geq 45 \text{ cm} \quad \therefore h_{20} \geq 45 - 30 = \underline{15 \text{ cm}}$$

Reforço do Subleito:

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{Ref} \geq H_m$$

$$10,0 \times 2,0 + 10 \times 1,0 + 15 \times 1,0 + h_{10} \times 1,0 \geq 77 \text{ cm} \quad \therefore h_{10} \geq 77 - 45 = \underline{32 \text{ cm}}$$



DIMENSIONAMENTO – MÉTODO DO CBR (DNIT)

EXERCÍCIO

	Material	Espessura
Revestimento Asfáltico	CONCRETO BETUMINOSO	10cm
Base	CBR ≥ 80% BGS com material "A" (CBR = 90%)	10cm
Sub-Base	CBR ≥ 20% Cascalho natural (CBR = 28%)	15cm
Reforço do Subleito	CBR não fala nada Solo laterítico argiloso tipo LG' (CBR = 10%)	32cm
Subleito	CBR = 4%	∞



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES



DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: ANÁLISE MECANICISTA DE CAMADAS ELÁSTICAS

**Profa. Dra. Liedi Bernucci
Profa. Dra. Kamilla Vasconcelos**

PROJETO PAVIMENTOS

Já na década de 60, **o Prof Then de Barros e Eng Andreatini** calculavam os pavimentos como estruturas de múltiplas camadas e calculavam tensões e deformações usando a **Teoria da Elasticidade**. Mas sem computadores, era complicado calcular analiticamente.

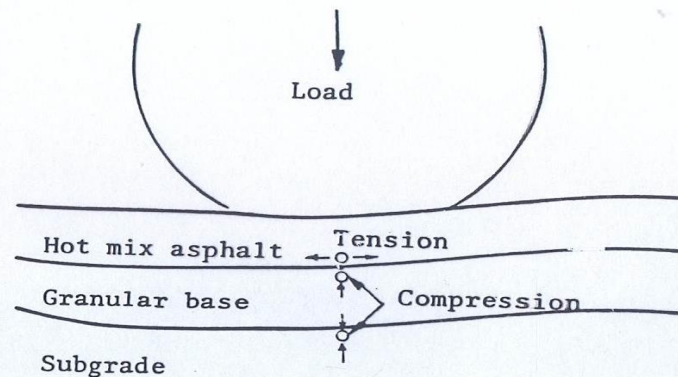
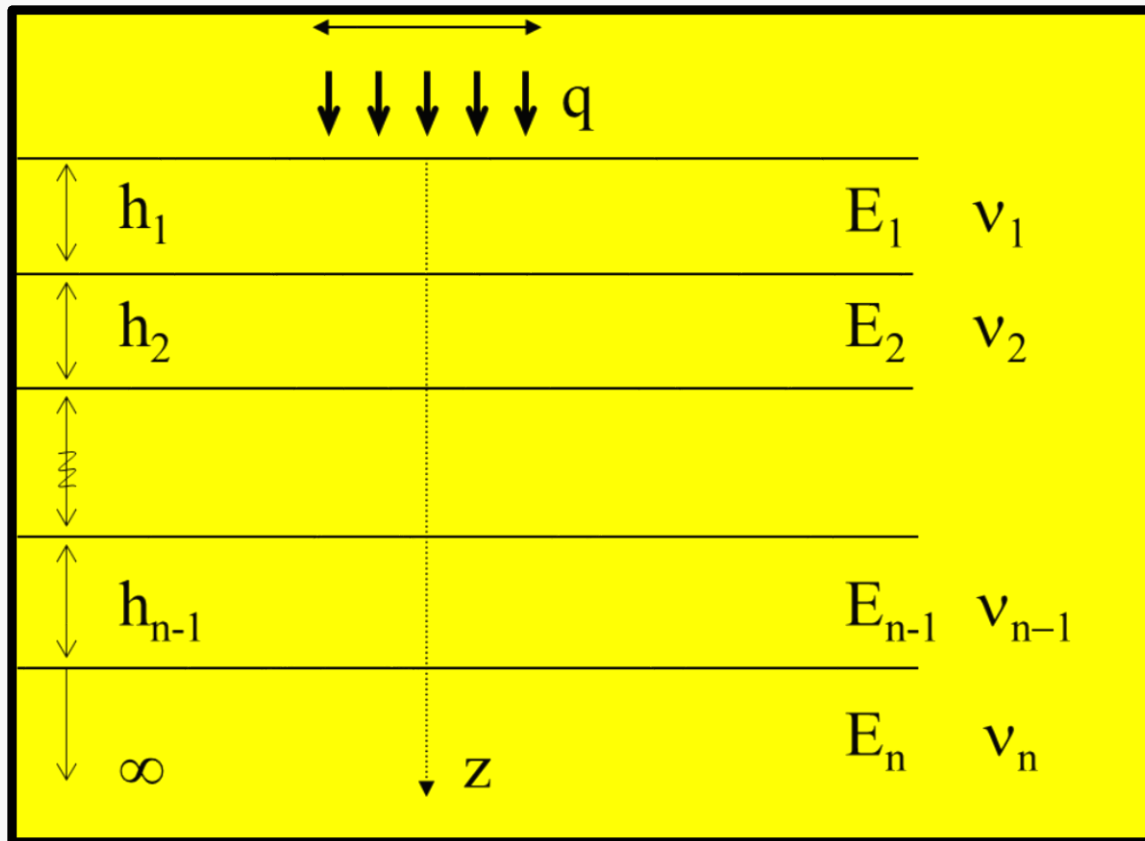


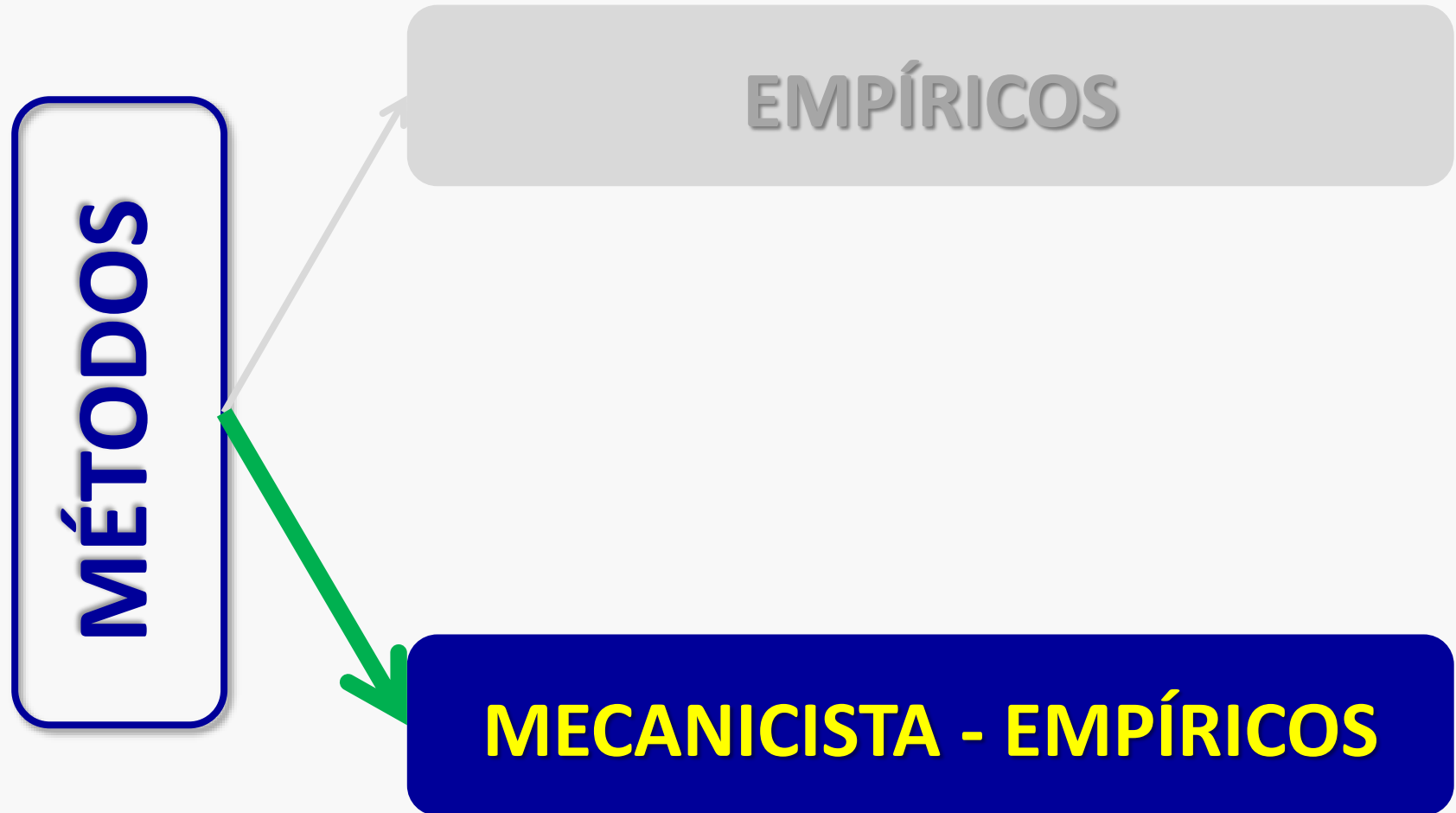
Figure 1.1 Tensile and compressive strains in flexible pavements.

Apud: Huang, 2003

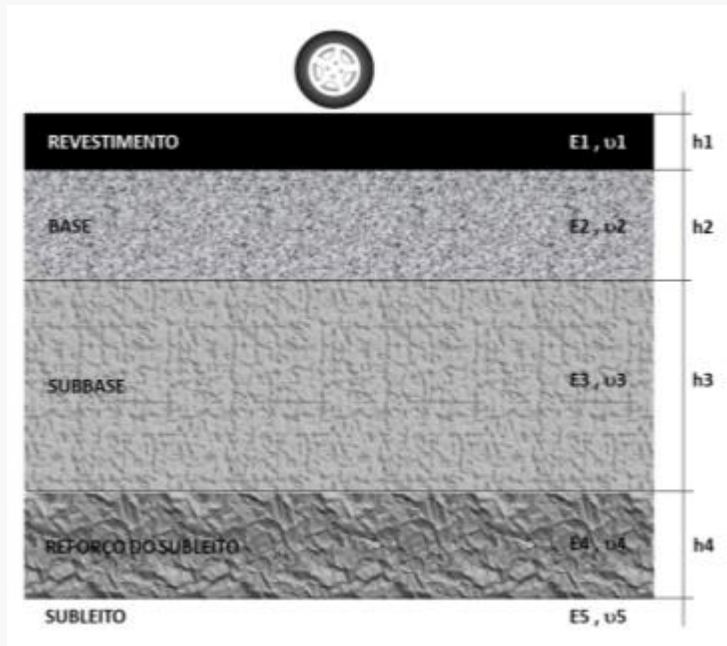
PROJETO PAVIMENTOS

Na década de 70, foi introduzido no país o estudo da **resiliência** dos materiais de pavimentação, permitindo analisar **o comportamento estrutural**.





MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO



ANÁLISE ESTRUTURAL

TENSÃO (σ)

DEFORMAÇÃO (ϵ)

DESLOCAMENTO (δ)

MECANÍSTICO ou MECANICISTA

MODELOS DE PREVISÃO

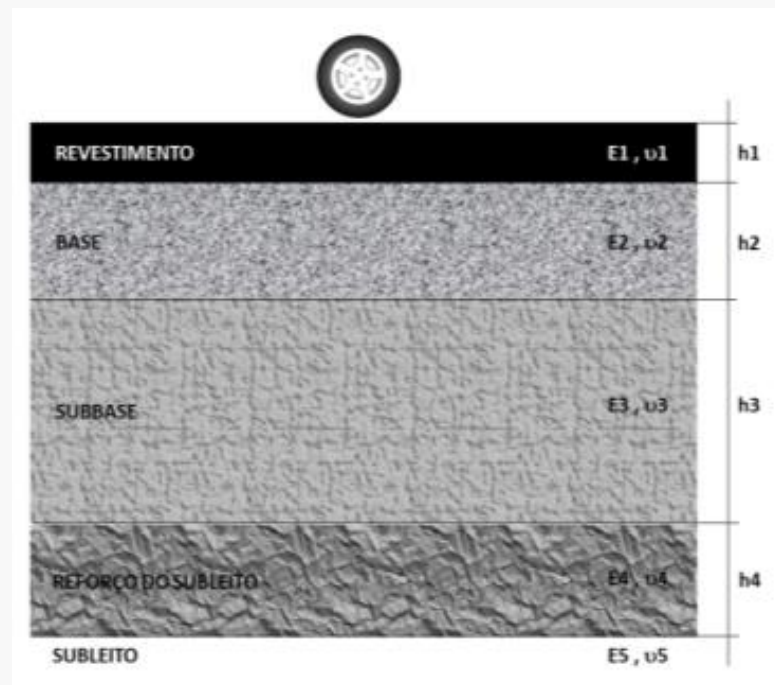
FADIGA

DEFORMAÇÃO PERMANENTE

EMPÍRICO

O QUE É UMA ANÁLISE ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS?

PAVIMENTO: estrutura ou sistema composto por camadas de espessuras finitas sobre o subleito (que por sua vez, pode ser considerado um semi-espaço infinito).



A análise estrutural é uma **FERRAMENTA ANALÍTICA** ou **NUMÉRICA** para cálculo de tensões, deformações e deslocamentos na estrutura do pavimento.

FUNDAMENTOS PARA A ANÁLISE ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS

- **TEÓRICO:** Teoria da Elasticidade
- **EMPÍRICO:**
 - Experimentos e observações de laboratório e/ou campo
 - Banco de dados - materiais e pavimentos

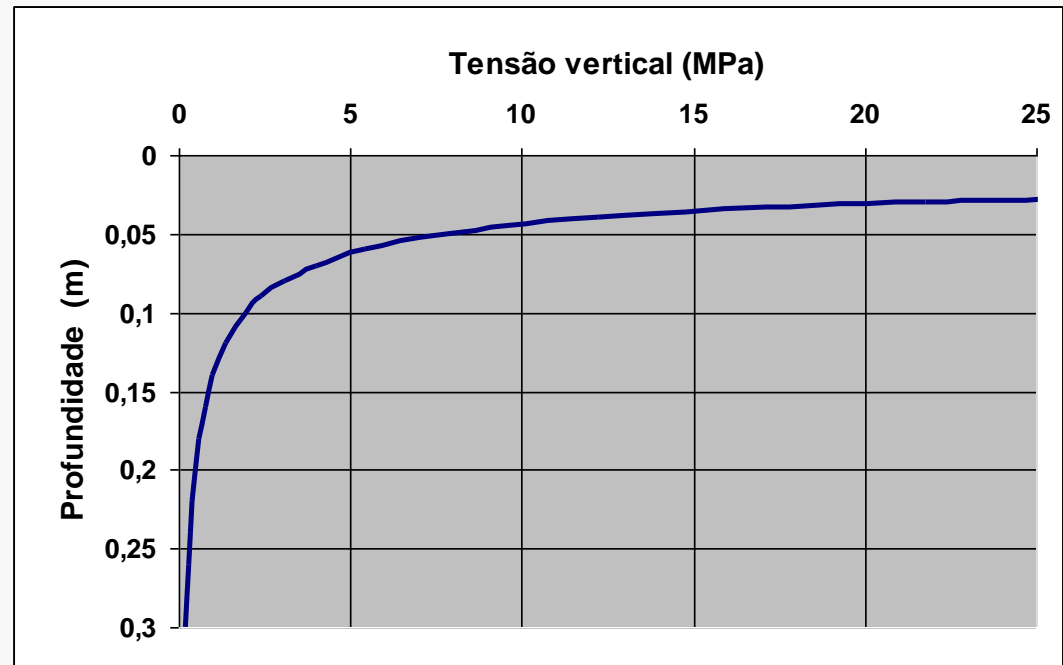
SOLUÇÕES ANALÍTICAS – SÉCULO 19

- **BOUSSINESQ (1885)**: aplica Teoria da Elasticidade para **CARGA VERTICAL CONCENTRADA** sobre semi-espaco infinito, isotrópico e homogêneo.

$$\sigma_v = \frac{3Q}{2\pi z^2} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

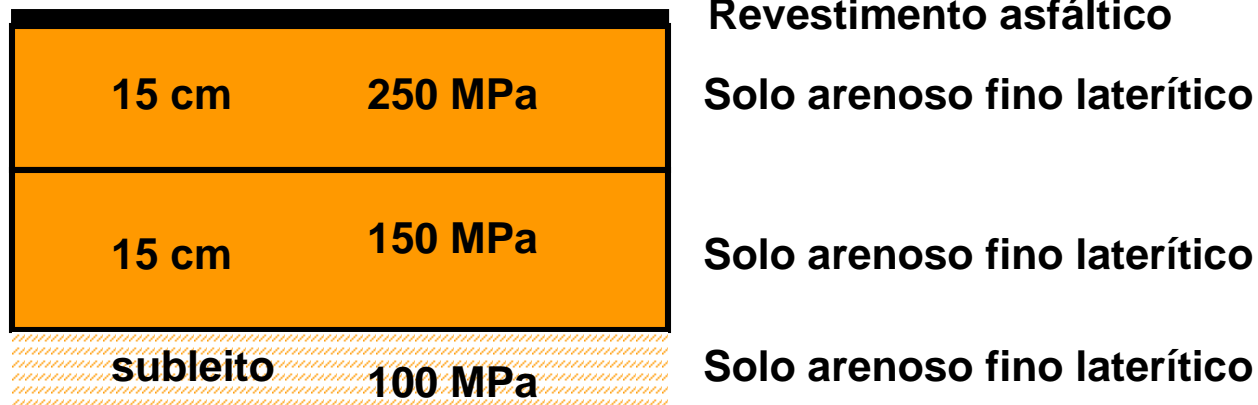
Para : $Q = 40 \text{ kN}$

$r = 0$



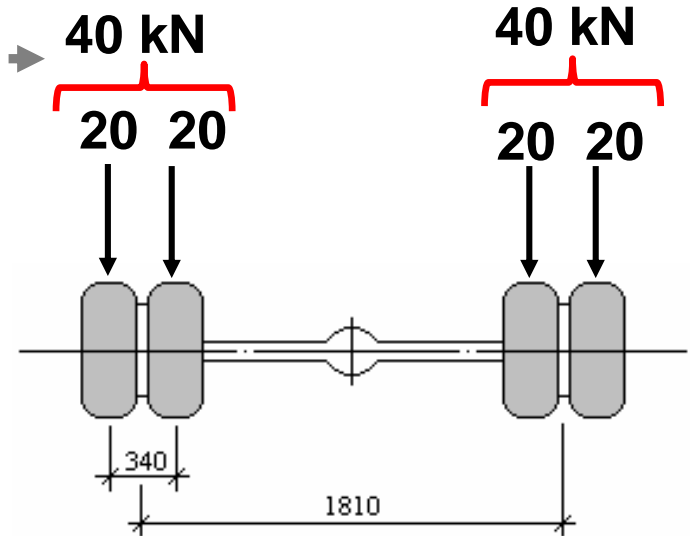
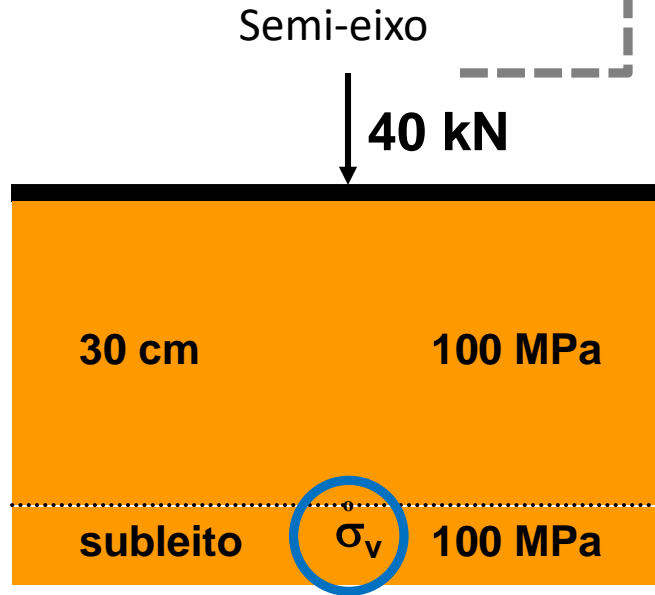
EXERCÍCIO

Exemplo de cálculo de tensões, deformações e deslocamentos

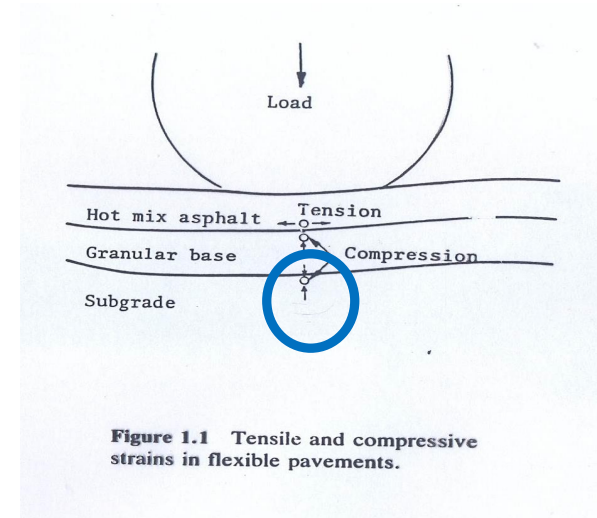


Segundo Boussinesq:

Solo arenoso fino laterítico

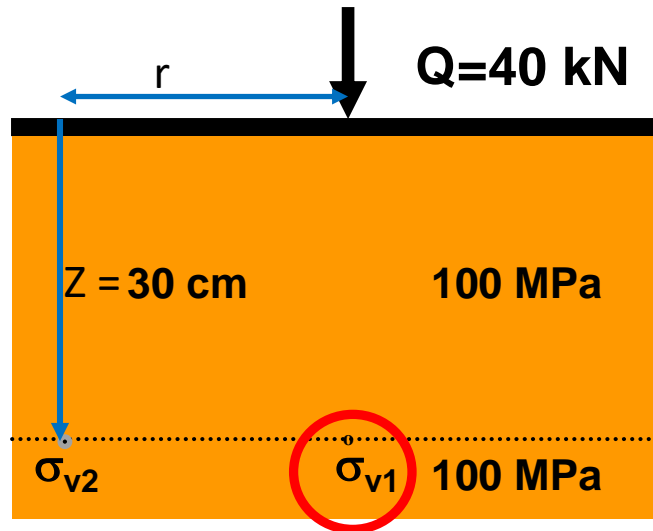


$\sigma_v = ???$



Segundo Boussinesq:

Solo arenoso fino laterítico



$$\sigma_v = \frac{3Q}{2\pi z^2} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

Para : $Q = 40 \text{ kN}$

$r = 0$

$$\sigma_{v1} = 0,212 \text{ MPa}$$

SOLUÇÕES ANALÍTICAS – SÉCULO 20

CARREGAMENTO DISTRIBUÍDO

semi-espaço infinito

- NEWARK: área retangular
- LOVE: área circular
- FOSTER e AHLVIN: ábacos para carregamento circular, $\nu=0,5$
- AHLVIN e ULERY: equação e ábacos para carregamento circular para diversos valores de ν

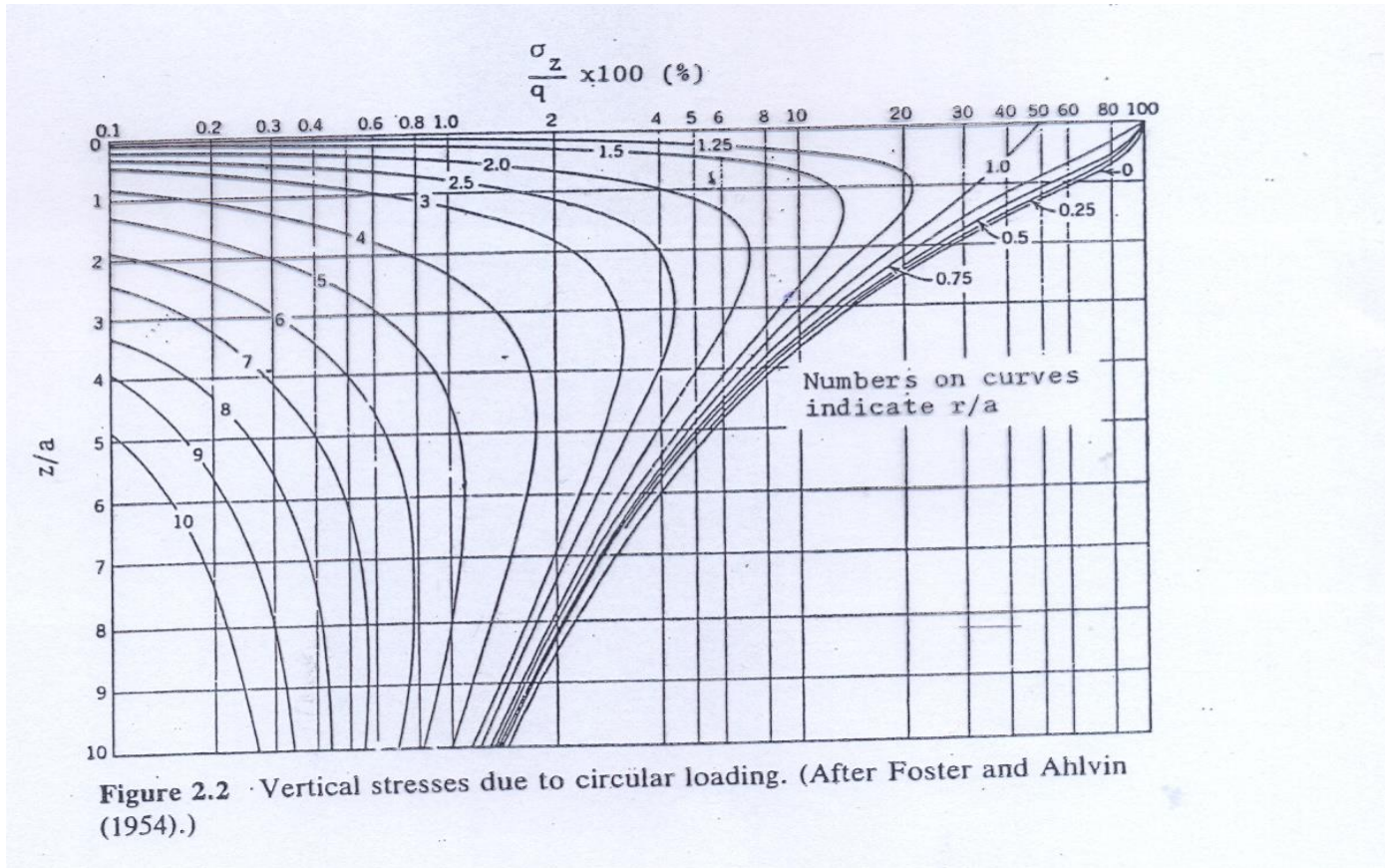
sistema de camadas

BURMISTER: 2 camadas (1943), 3 camadas (1945)

Sérgio Then de Barros (anos 60)

SOLUÇÕES ANALÍTICAS – SÉCULO 20

Pelos ábacos de Foster e Ahlvin



Pelos ábacos de Foster e Ahlvin

1) Pode usar para cargas **DISTRIBUÍDAS q** circulares na superfície com raio de **a**

2) calcula **σ_z** vertical na profundidade **z** e distantes do centro de carga distribuída **r**

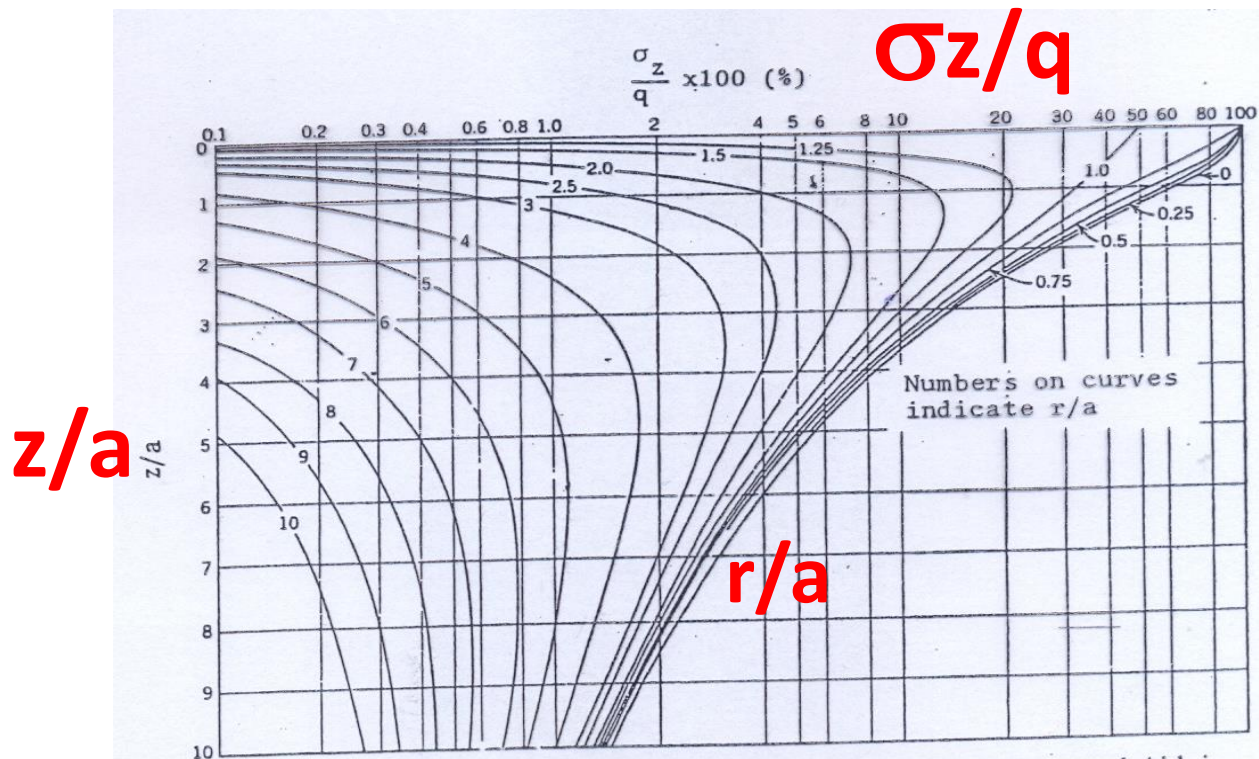
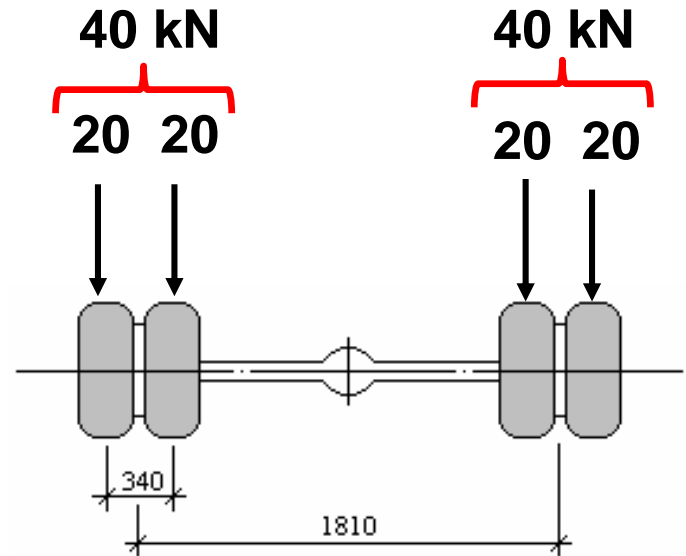
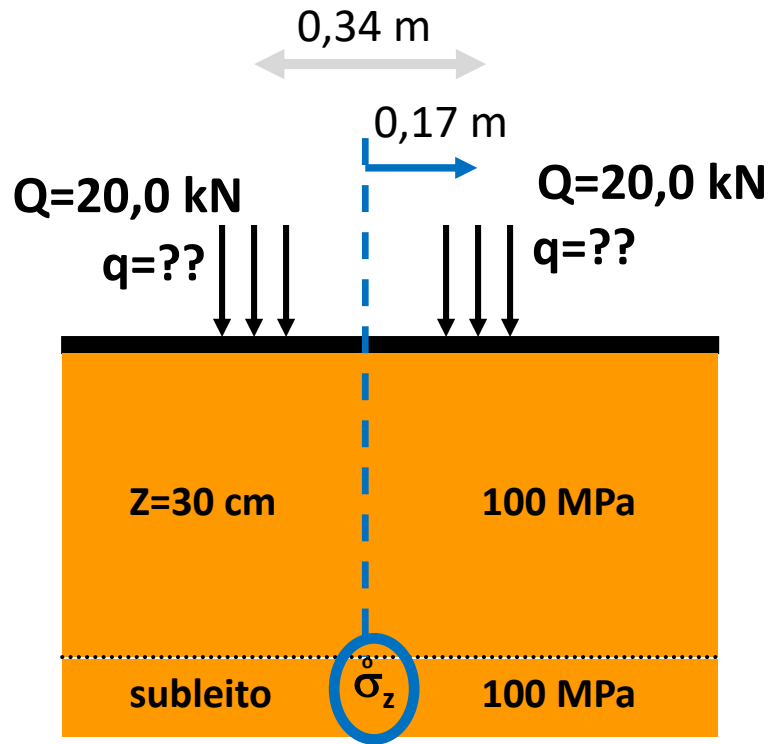


Figure 2.2 Vertical stresses due to circular loading. (After Foster and Ahlvin (1954).)

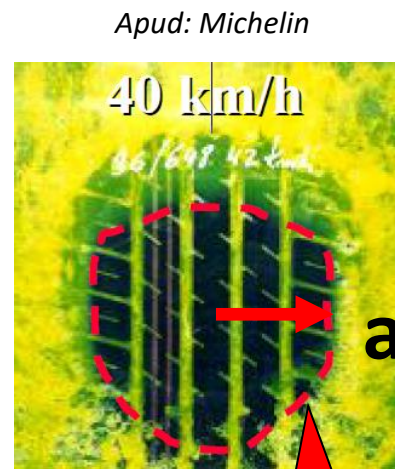
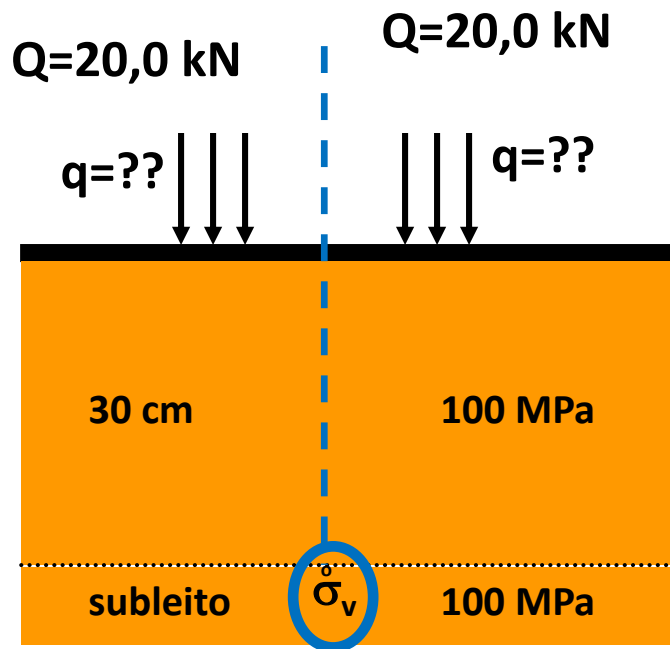


EXERCÍCIO Segundo Foster e Ahlvin:





EXERCÍCIO Segundo Foster e Ahlvin:



$a = 0,11 \text{ m}$ (raio da área de contato do pneu com pavimento)

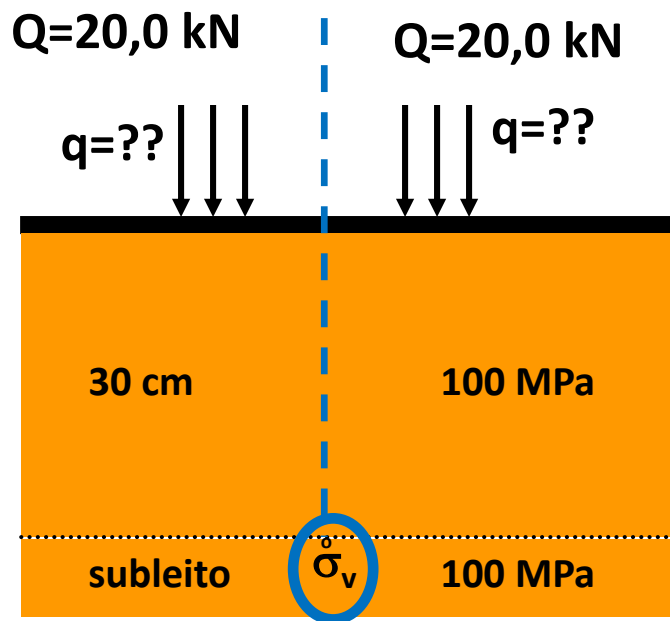
$r = 0,17 \text{ m}$

$a = 0,11 \text{ m}$ (raio da área de contato do pneu com pavimento)

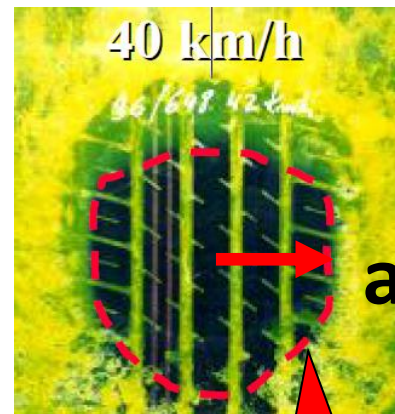
$q=Q/(\text{área de contato pneu e pavimento})$



EXERCÍCIO Segundo Foster e Ahlvin:



Apud: Michelin



$a = 0,11 \text{ m}$

$a = 0,11 \text{ m}$ (raio da área de contato do pneu com pavimento)

$r = 0,17 \text{ m}$

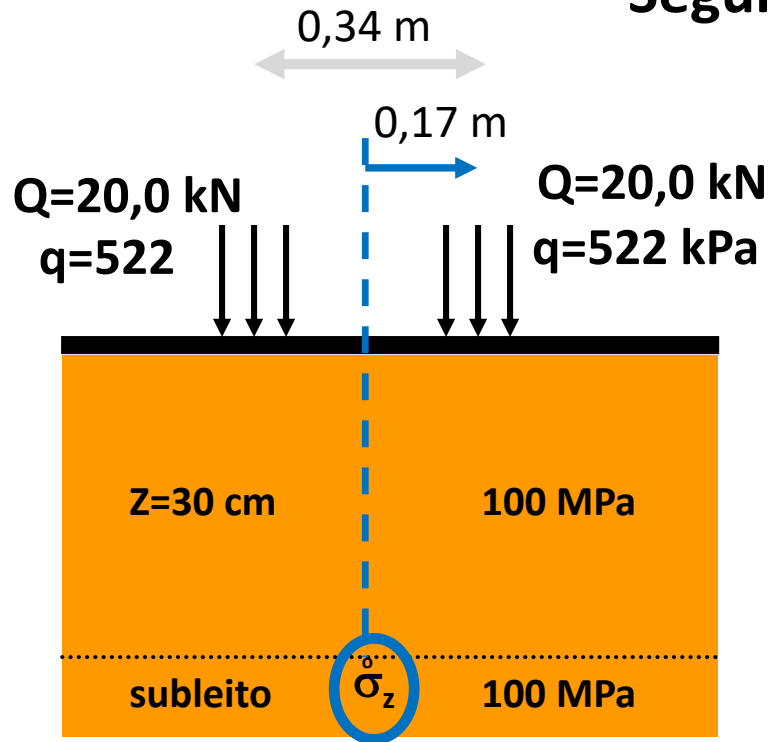
$a = 0,11 \text{ m}$ (raio da área de contato do pneu com pavimento)

$$q = 20 / (\pi a^2) = 522 \text{ kPa}$$



EXEMPLO DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Segundo Foster e Ahlvin:



$$a = 0,11 \text{ m (raio)}$$

$$r = 0,17 \text{ m}$$

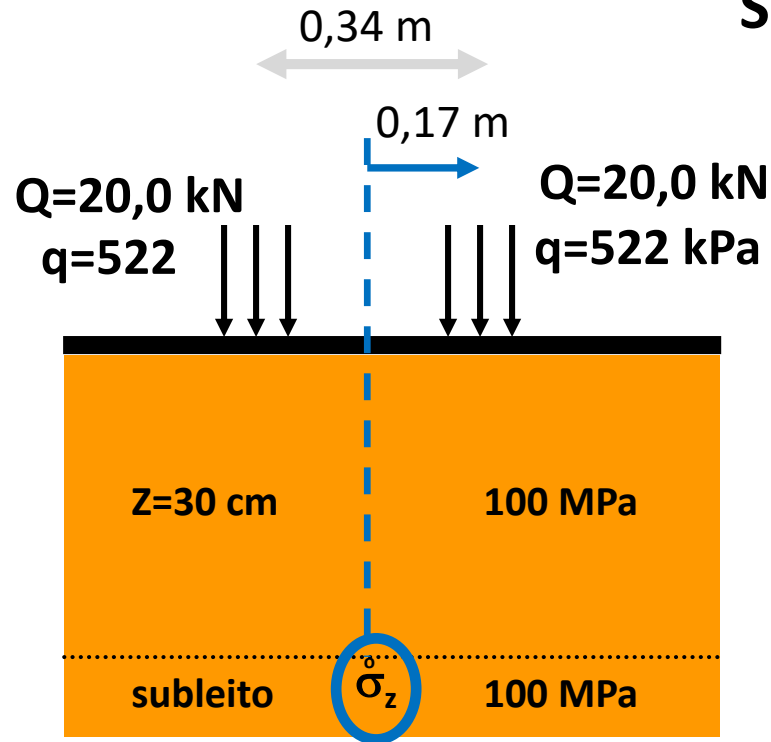
$$r/a = 0,17/0,11 = 1,5$$

$$z/a = 0,30/0,11 = 2,7$$

$$\sigma_z/q = ???$$



EXEMPLO DE CÁLCULO ESTRUTURAL



Segundo Foster e Ahlvin:

$$a = 0,11 \text{ m (raio)}$$

$$r = 0,17 \text{ m}$$

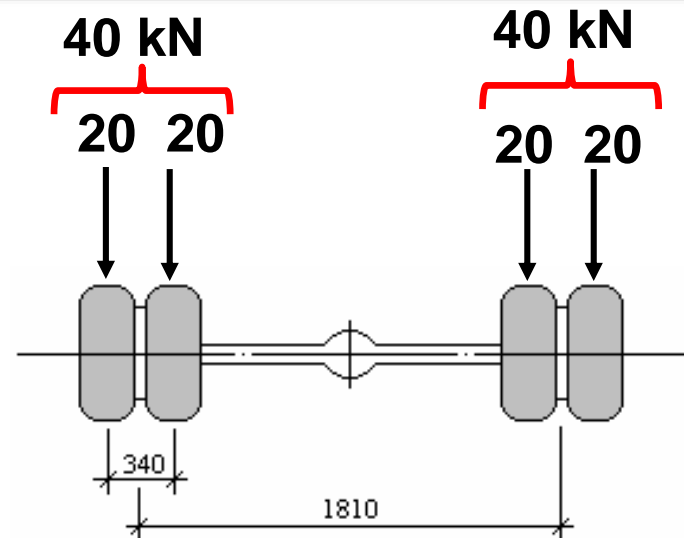
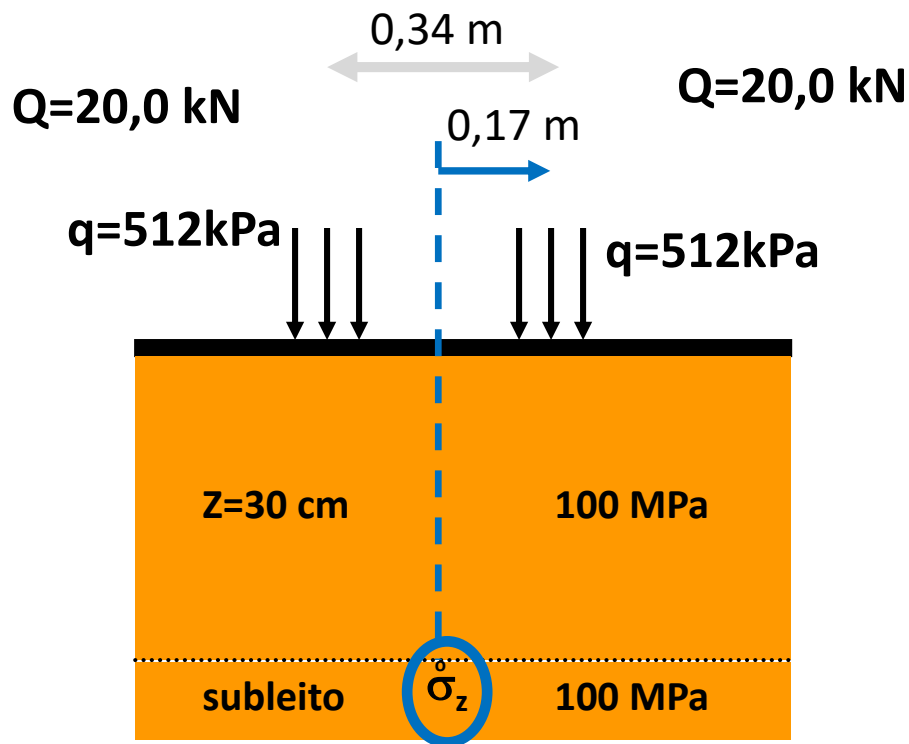
$$r/a = 0,17/0,11$$

$$z/a = 0,30/0,11$$

$$\sigma_z/q = 10\%$$



EXERCÍCIO Segundo Foster e Ahlvin:



Apud: Michelin

$\sigma_v = \sigma_z = \text{?????}$

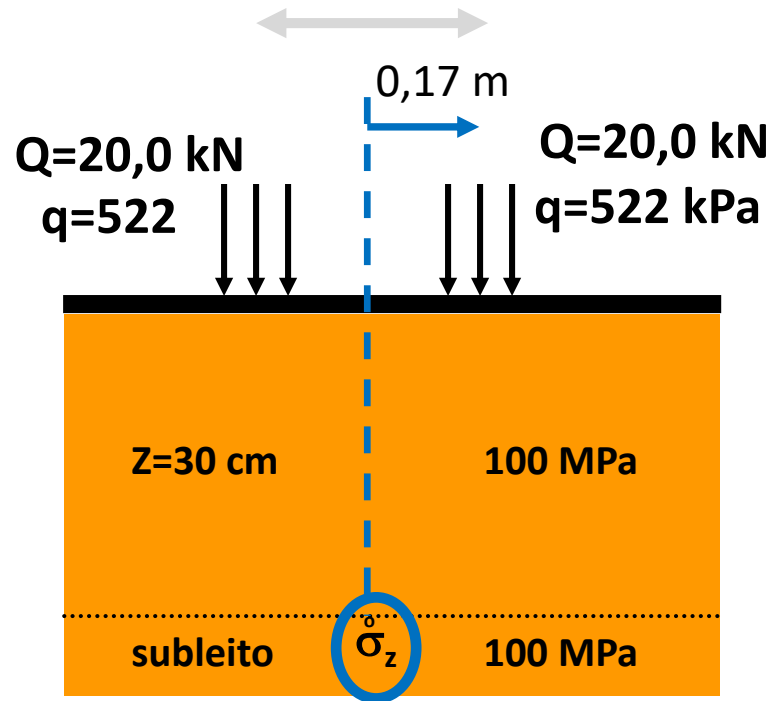
Responda também: a) Porque calcular tem~so entre rodas?

b) Quando calcular abaixo de uma das rodas?



EXEMPLO DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Segundo Foster e Ahlvin:



$$\sigma_z/q=10\%$$

$$\sigma_v = \sigma_z = 0,052 + 0,052 = 0,104\text{ MPa}$$

(duas rodas, cada uma com $\sigma_z/q=10\%$)

SOLUÇÕES NUMÉRICAS

Aplicação da **TEORIA DA ELASTICIDADE linear**

DIFERENÇAS FINITAS

CHEV

BISAR

DAMA

ELSYM 5

SOLUÇÕES NUMÉRICAS

Aplicação da TEORIA DA ELASTICIDADE linear e não linear

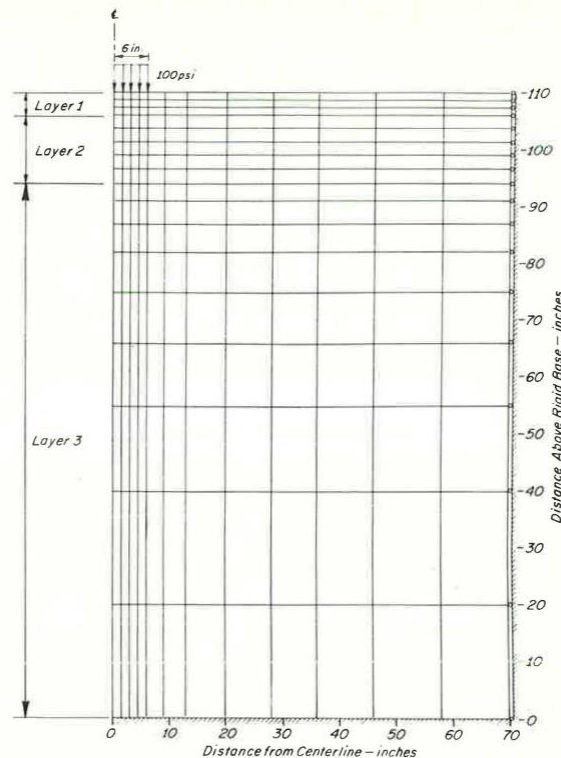


Figure 2. Finite element configuration used for analysis of homogeneous and layered systems.

Duncan et al.

ELEMENTOS FINITOS

FEPAVE

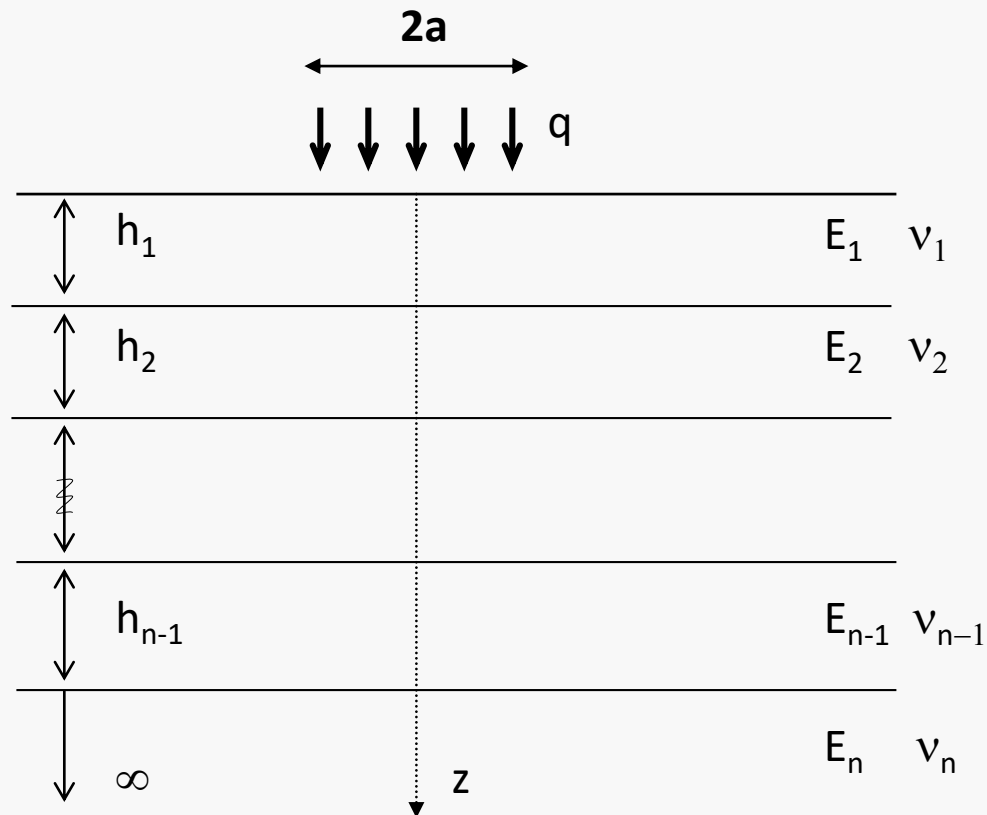
ILLI-PAVE

MICHPAVE

KENLAYER

ABACQUS

ANÁLISE ESTRUTURAL



Os **métodos mecanísticos** englobam além dos **ensaios dos materiais**, os métodos de **cálculo de tensões e deformações** nas diversas camadas, fatores ambientais, tráfego e desempenho.

CRITÉRIOS DE RUPTURA

FADIGA COM TRINCAMENTO NO REVESTIMENTO ASFÁLTICO, OU EM CAMADAS CIMENTADAS:

$$N_f = f_1(\varepsilon_t)^{-f_2} \times (E)^{-f_3}$$

DEFORMAÇÃO PERMANENTE:

$$N_d = f_4(\varepsilon_c)^{-f_5}$$

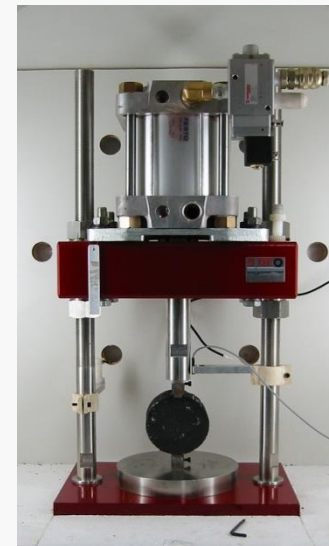
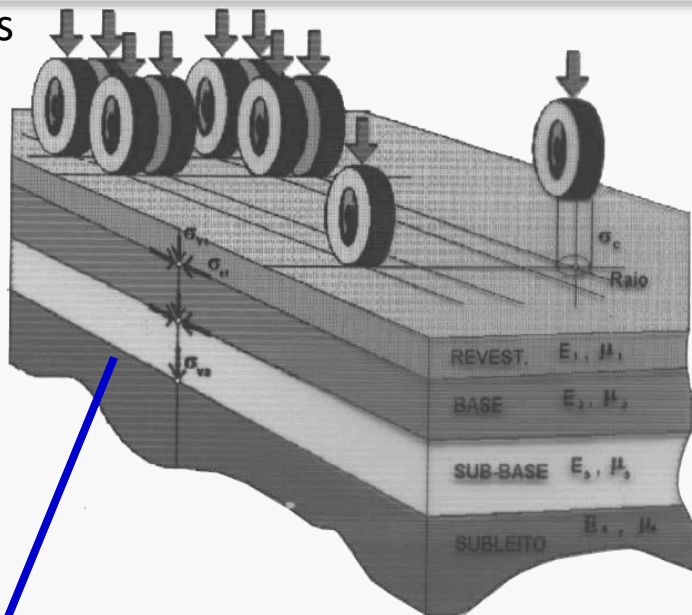
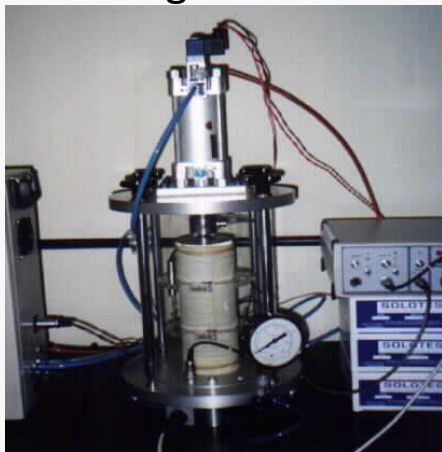
MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO

Ensaio-Empírico

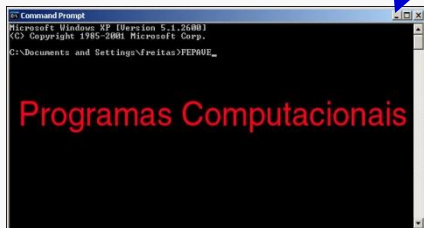
Ensaio-Empírico

Camadas granulares e solos

Revestimentos asfálticos



Análise mecanicista

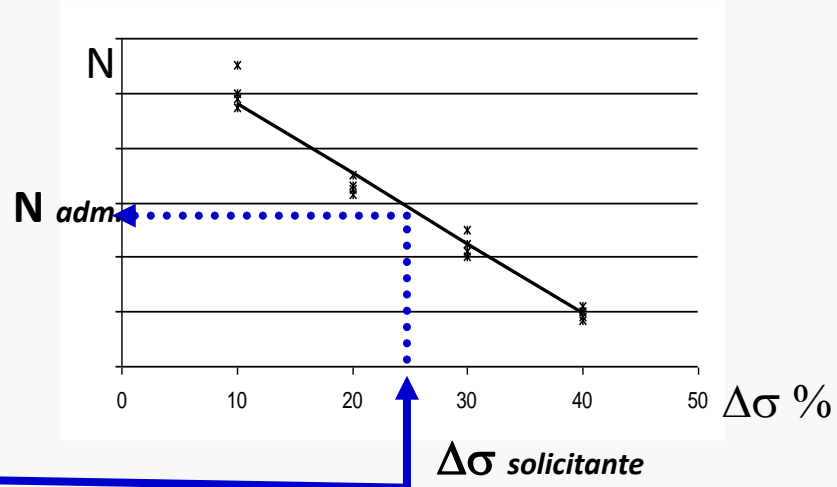


N adm. - CAMPO



FLC

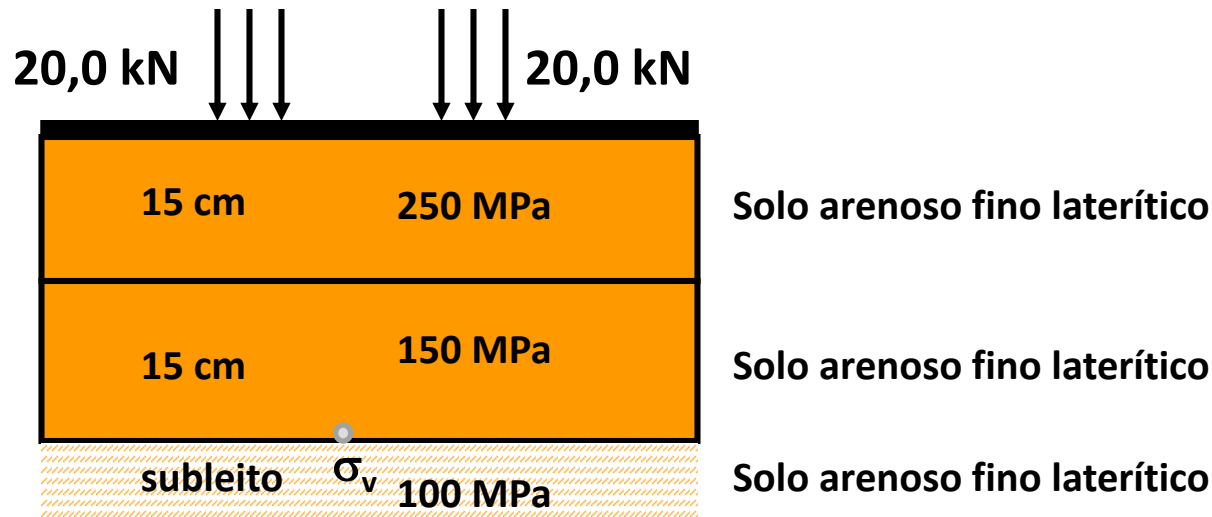
Modelo Fenomenológico





EXEMPLO DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Por meio do Elsym5:



$\sigma_v = 0,091$ MPa (topo do subleito)

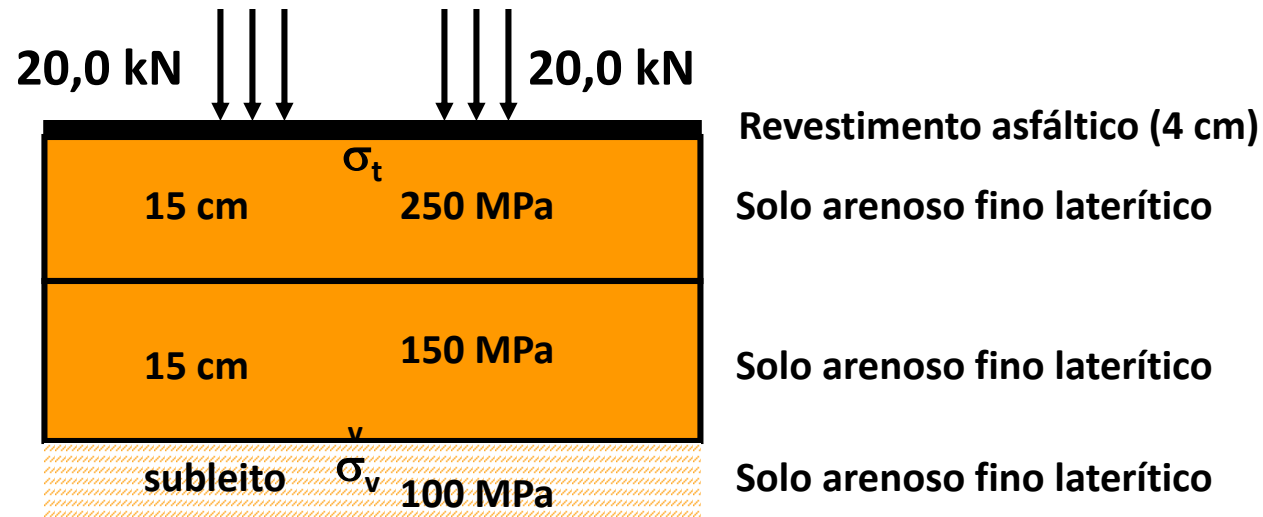
$D_{sup} = 64 \times 10^{-2}$ mm (deflexão entre rodas: deslocamento)

Revestimento: Tratamento superficial muito delgado:
trabalha à compressão



EXEMPLO DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Por meio do Elsym5:



$$\sigma_v = 0,068 \text{ MPa (topo do subleito)}$$

$$D_{\text{sup}} = 59 \times 10^{-2} \text{ mm (deflexão entre rodas: deslocamento)}$$

$$\sigma_{t,\text{asf}} = 0,76 \text{ MPa (fibra inferior do revestimento)}$$

$$\varepsilon_t = 4,76 \times 10^{-4} \text{ (fibra inferior do revestimento)}$$



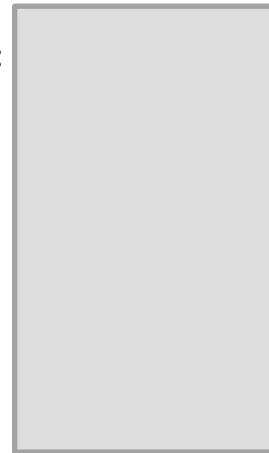
Verificação do critério de ruptura por deformação permanente no subleito

Boussinesq: $\sigma_v = 0,212$ MPa N =

Foster e Ahlvin: $\sigma_v = 0,104$ MPa N =

Elsym 5: $\sigma_v = 0,091$ MPa N =

Elsym 5 (rev. asf.): $\sigma_v = 0,068$ MPa N =



$$\sigma_v = \frac{0,007 \times E}{1 + 0,7 \log N}$$

Segundo Kerhoven e Dormon



Verificação do critério de ruptura por deformação permanente no subleito

Boussinesq: $\sigma_v = 0,212 \text{ MPa}$ $N = 1,9 \times 10^3$

Foster e Ahlvin: $\sigma_v = 0,104 \text{ MPa}$ $N = 1,2 \times 10^8$

Elsym 5: $\sigma_v = 0,091 \text{ MPa}$ $N = 3,6 \times 10^9$

Elsym 5 (rev. asf.): $\sigma_v = 0,068 \text{ MPa}$ $N = 1,9 \times 10^{13}$

$$\sigma_v = \frac{0,007 \times E}{1 + 0,7 \log N} \quad \text{Segundo Kerhoven e Dormon}$$



EXEMPLO DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Verificação do critério de ruptura por fadiga na camada de revestimento asfáltico

Segundo Salomão Pinto (1991):

$$N_{DC} = 6,64 \times 10^{-7} \times \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{2,93}$$

$$\varepsilon_t = 4,76 \times 10^{-4}$$

$$N_{DC} = \text{????}$$

Fator campo/laboratório: **N campo = Fator x N_{DC}**

Fator varia entre 10³ e 10⁵!!!!



EXERCÍCIO

Verificação do critério de ruptura por fadiga na camada de revestimento asfáltico

Segundo Salomão Pinto (1991):

$$N_{DC} = 6,64 \times 10^{-7} \times \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^{2,93}$$

$$\varepsilon_t = 4,76 \times 10^{-4}$$

$N_{DC} = 3,6 \times 10^3$ repetições de carga do eixo padrão

$N_{\text{campo}} = 3,6 \times 10^7$ repetições de carga do eixo padrão para Fator campo/laboratório de 10^4

Fator campo/laboratório: $N_{\text{campo}} = \text{Fator} \times N_{DC}$

CUIDADO!!!! Fator varia entre 10^3 e 10^5 !!!!



ANÁLISE ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Local de Análise	Equação	K	n	σ_r (kgf/cm ²)	Fonte
Fibra Inferior do Revestimento	$N_{ir} = k \times \left(\frac{1}{\varepsilon t} \right)^n$	$1,092 \times 10^{-6}$	3,512	-	FHWA (1976)
Topo do Subleito	$N_{sub} = k \times \left(\frac{1}{\varepsilon v} \right)^n$	$6,069 \times 10^{-10}$	4,762	-	Dormon e Metcalf (1965)
Fibra Inferior da Base Tratada com Cimento	$N_{BGTC} = 10^{7,19 \times \left(1 - \frac{\sigma_t}{8 \times \sigma_r} \right)}$	-	-	20	DER- SP (2006)
Topo do Pavimento	$N_{tr} = \sqrt[n]{\left(\frac{10^k}{D} \right)}$	3,01	0,174	-	DNER-PRO 011/79

Em que:

N_{ir} : N para o a fibra inferior do revestimento, sendo subclassificado como N_{irr} e N_{iri} para respectivamente à camada de rolamento e à camada de ligação;

N_{sub} : N para o topo do subleito;

N_{BGTC} : N para a Base Tratada com Cimento (BTC);

N_{tr} : N para o topo do revestimento;

εt : deformação específica horizontal de tração, sendo subclassificado como ε_{tr} e ε_{tl} para respectivamente à camada de rolamento e à camada de ligação;

εv : deformação específica vertical de compressão;

σ_t : tensão de tração atuante (kgf/cm²);

σ_r : tensão de tração na ruptura do material (kgf/cm²);

D: deslocamento vertical/deflexão (mm);

k e n : coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura asfáltica e modificados para refletir o desempenho no campo.



- Todos os métodos de dimensionamento mecânico-empíricos apresentam ajuste deste tipo, estabelecidos levando em conta todos os aspectos do método.
- *Portanto: não é possível simplesmente “pegar” modelos de desempenho de um método para uso em outro.*



- **Defeitos estruturais que definem os critérios:**
 - **Trincamento por fadiga**
 - **Da camada asfáltica (“flexível”)**
 - **Da camada tratada com cimento portland (BGTC)**
 - **ATR (afundamento em trilha de roda)**
 - **Contribuição de todas as camadas “geotécnicas” e subleito**





NOVO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO (DNIT)

MeDiNa - v.1.0.0 - abril/2018

Projeto Editar Análise Ajuda

ESTRUTURA MODELAGEM RESULTADOS

AUTOR: EMPRESA:

PROJETO:

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
>> 1 <<	CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO	RJ CAPFLEX 65/90 SBS PG 70-22	10,0	3184	0,30
2	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaise C5	20,0	381	0,35
3	SOLO FINO, SILTOSO OU ARGILOSO	Solo Argiloso LG'(1)	20,0	250	0,45
SL	SUBLEITO	Solo Siltoso NS'	0,0	189	0,45

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

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO ---

Seção do pavimento analisada 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: 16,3%

Deformação Permanente Total (sob as rodas): 3,5mm

Projeto novo NÍVEL <A>