



Pavimentos

Dimensionamento de Pavimentos
Flexíveis e Semi-Rígidos

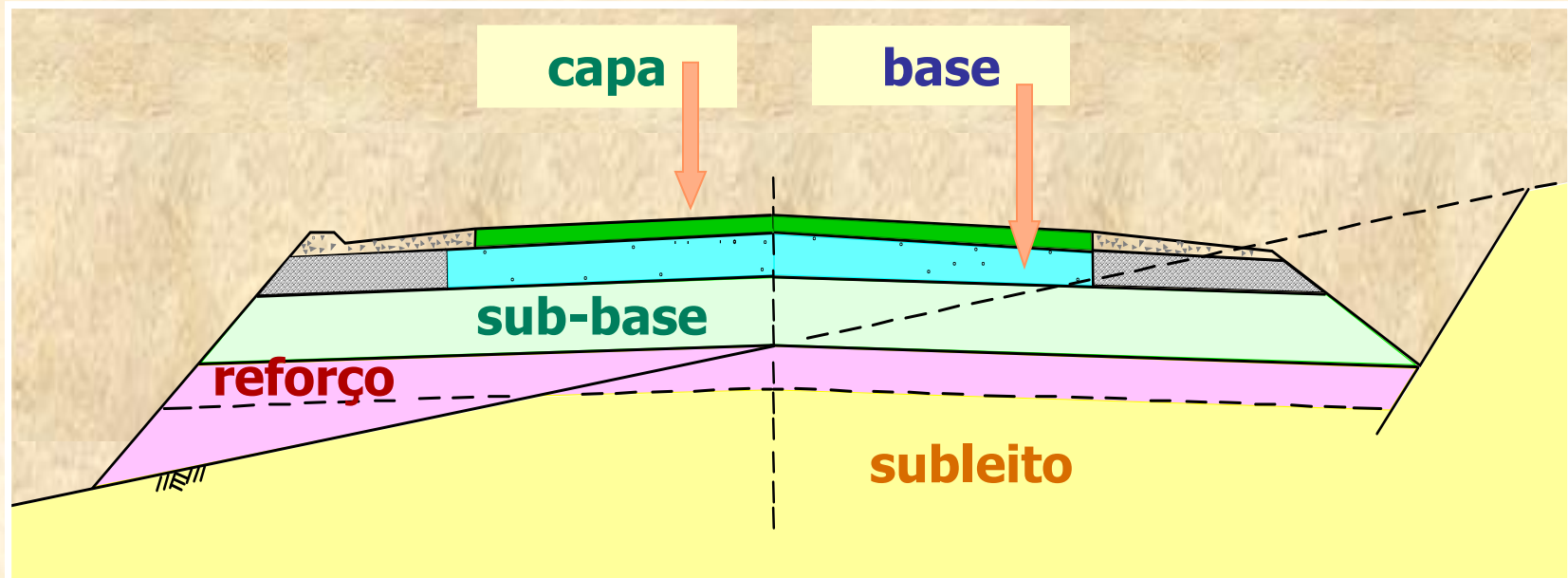
Método do DNER



Dimensionamento - Sumário

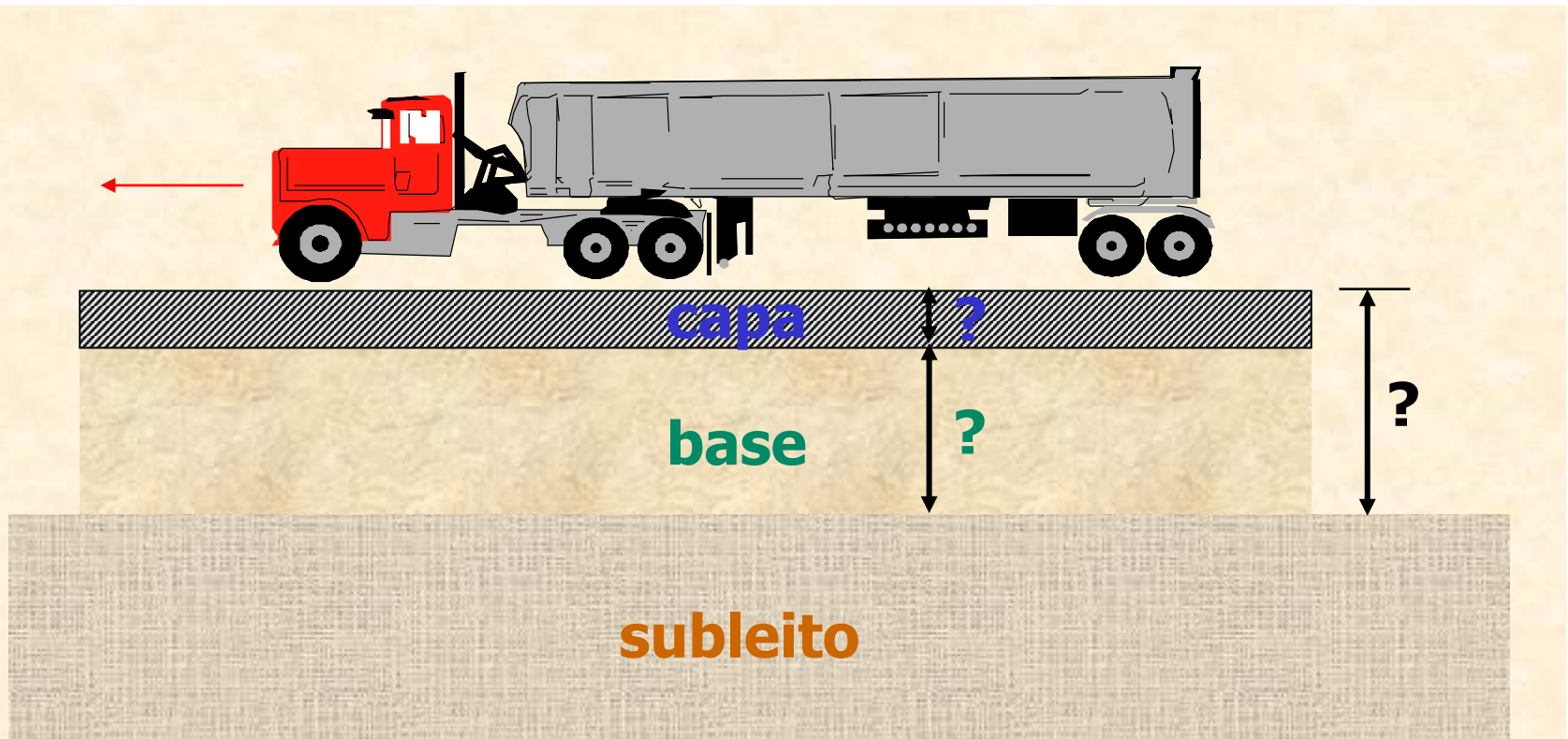
- Conceitos gerais
- Método do DNER para o dimensionamento de pavimentos flexíveis e semi-rígidos

Pavimentos – Conceitos gerais



O **pavimento** é uma estrutura destinada a resistir aos esforços gerados pelo tráfego, garantindo **durabilidade** à superfície de rolamento e proporcionando **conforto** e **segurança** ao usuário

Pavimentos – Dimensionamento



Dimensionamento = f(materials do subleito e camadas, e tráfego)

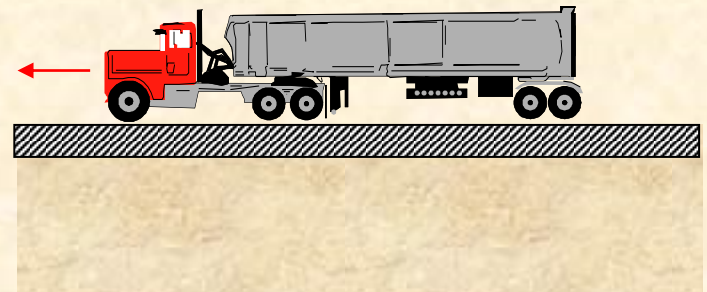
Pavimentos – Dimensionamento

- Abordagens utilizadas no dimensionamento e análise de obras geotécnicas:

- equilíbrio limite (FS)**



não utilizado
p/ pavimentos

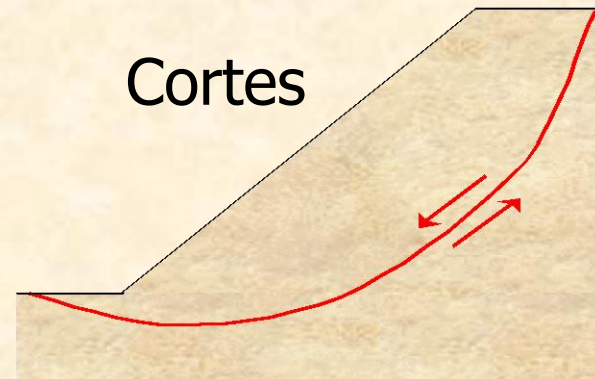
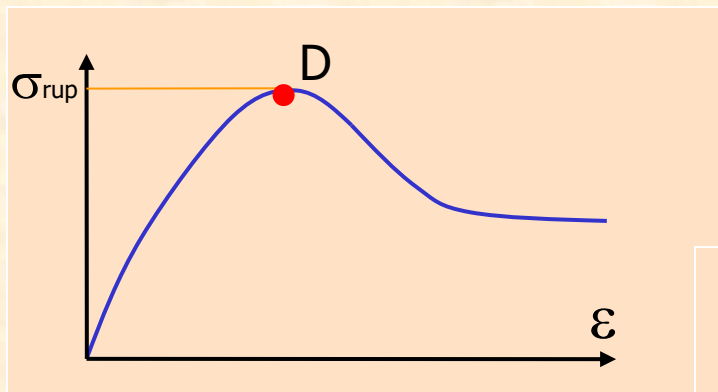


- empírica: CBR** (materiais granulares) (Método do DNER)
RCS (materiais cimentados)

- mecanística:** $\{\varepsilon\} = [D] \cdot \{\sigma\}$ (cálculo de tensões e deformações, análise da fadiga por tração e deform. permanente)

Pavimentos – Dimensionamento

- A análise por **equilíbrio limite** envolve o cálculo de um fator de segurança **(FS)** e não é utilizada para pavimentos:



resistência
+
critério de
ruptura

→

Fator de
Segurança
(FS)



Pavimentos – Dimensionamento

Abordagens utilizadas em pavimentação:

- **empírica**

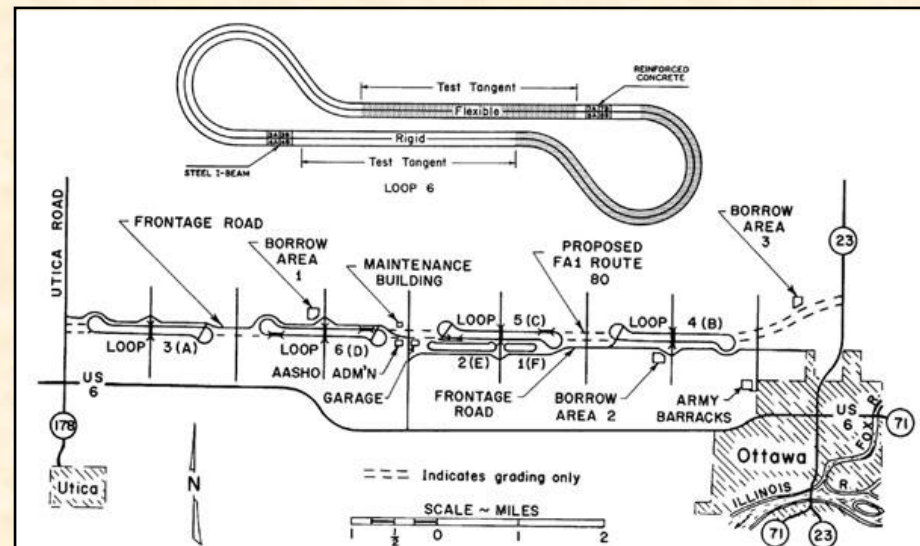
Os **métodos empíricos** são concebidos a partir de bases não teóricas, baseando-se na **experiência** e na **observação** do comportamento de trechos experimentais.

As suas aplicações limitam-se ao clima, materiais e condições de carregamento para as quais foram desenvolvidos.

Método Empírico

- Método de dimensionamento da AASHO

Experiência americana na pista experimental da American Association of State Highway Officials (AASHO Road Test) durante a década de 50



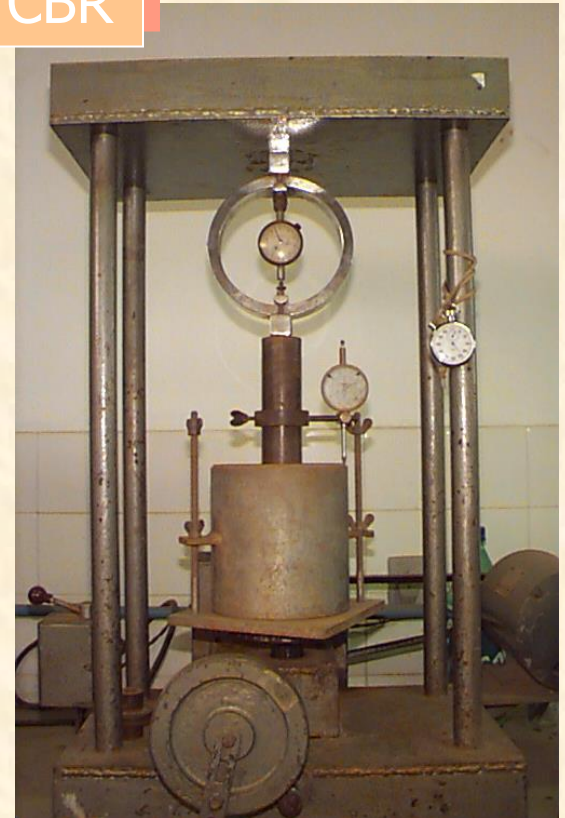
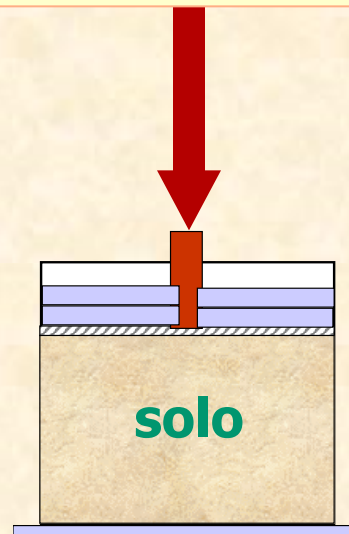
AASHO – American Association of State Highway Officials

Método Empírico

AASHO: o desempenho dos materiais que constituem o subleito e as camadas granulares é fornecido pelo índice de suporte California (**CBR**), e o das bases cimentadas, pela resistência à compressão simples (**RCS**)

Ensaio CBR

Penetração de um cilindro padrão no solo compactado





Método do DNER

- O método de dimensionamento do **DNER** é uma adaptação do método da AASHO, conforme apresentado no trabalho de TURNBULL, FOSTER e AHLVIN (*Design of flexible pavements considering mixed loads and traffic volume*), apresentado na International Conference in the Structural Design of Asphalt Pavement, realizada na Universidade de Michigan em 1962.

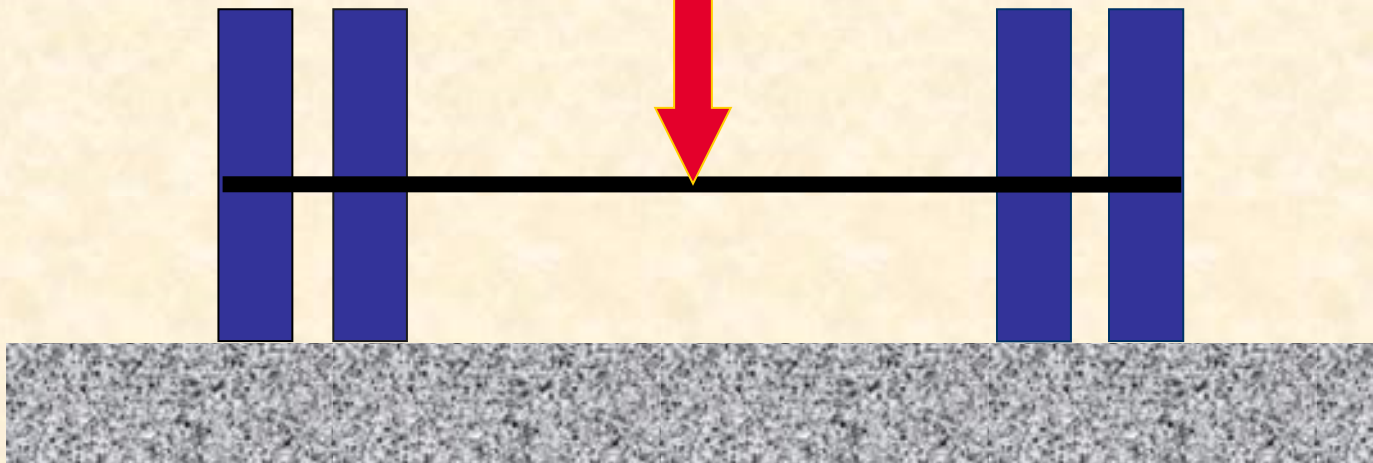
Método do DNER

Eixo padrão DNER – eixo simples de rodas duplas carregado com $8,2 t_f$

raio do carregamento:
10,8 cm

$8,2 t_f$

pressão de enchimento do pneu:
80 psi ou $5,6 \text{ kgf/cm}^2$



Método do DNER

- O dimensionamento é realizado para o número de solicitações equivalentes do eixo padrão de $8,2 t_f$ \longrightarrow **N**

$$N = 365 \cdot p \cdot VDM_M \cdot F_C \cdot F_P$$

N = número de solicitações de eixos simples de 8,2 tf;

p = período de projeto;

VDM_M = volume diário médio médio;

F_C = fator de carga = f(fator de equivalência, fator de operação);

F_P = fator de ponderação de eixos

levam em consideração os tipos de veículos que circularão na rodovia e a composição da frota



Método do DNER

- O dimensionamento deve ser feito levando-se em consideração o **tráfego da faixa mais solicitada**. Na falta de levantamento específico, recomendam-se os seguintes valores:

NÚMERO DE FAIXAS DE TRÁFEGO (2 SENTIDOS)	% DE VEÍCULOS COMERCIAIS NA FAIXA DE PROJETO
2 (1 faixa em cada sentido)	50
4 (2 faixas em cada sentido)	35 a 48
6 ou mais faixas	25 a 48

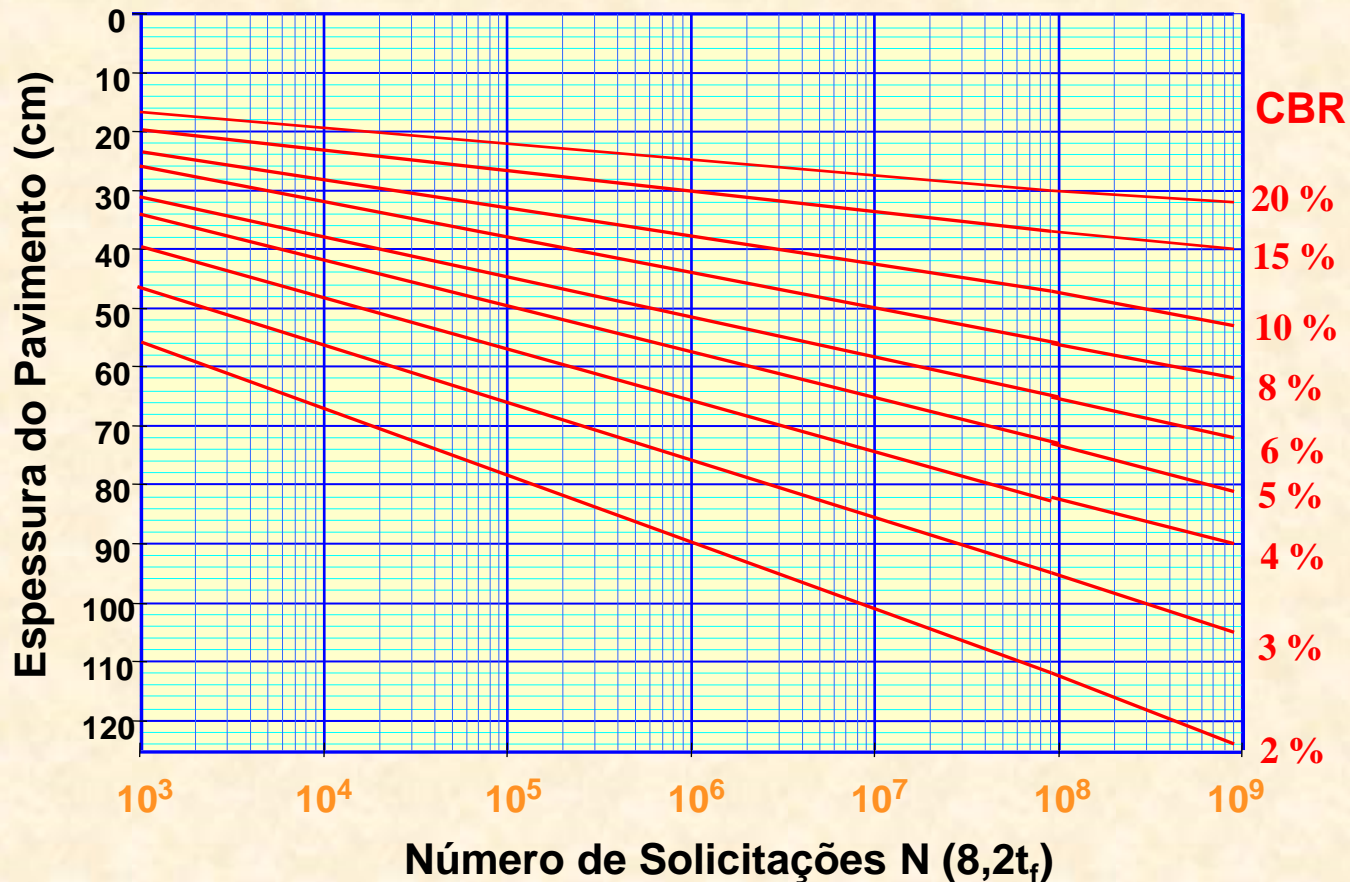


Método do DNER

- O **ábaco de dimensionamento do DNER** permite, para materiais granulares, a determinação da espessura de uma camada do pavimento em função do valor do **CBR** da camada subjacente e do número de solicitações **N** devido ao tráfego.
- Este dimensionamento garante que a camada subjacente não romperá e não sofrerá deformações excessivas.

Método do DNER

Ábaco de dimensionamento



$$H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times \text{CBR}^{-0,598}$$



Método do DNER

- Características exigidas para o **subleito**

- se o CBR do subleito for **inferior a 2%**, deve-se **substituir** o material por outro com **CBR \geq 2%**, na espessura mínima de **1m**.



Método do DNER

- Características exigidas para os **materiais granulares** (espessura compactada mínima: 15cm)

Reforço do subleito:

- CBR maior que o CBR do subleito
- Expansão $\leq 2\%$

Sub-base:

- CBR $\geq 20\%$
- Expansão $\leq 1\%$

Base:

- CBR $\geq 80\%$ (aceita-se CBR $\geq 60\%$ se $N \leq 10^6$)
- Expansão $\leq 0,5\%$
- LL $\leq 25\%$
- IP $\leq 6\%$

Método do DNER

- Outras características exigidas para os materiais usados na construção de **bases estabilizadas granulometricamente**

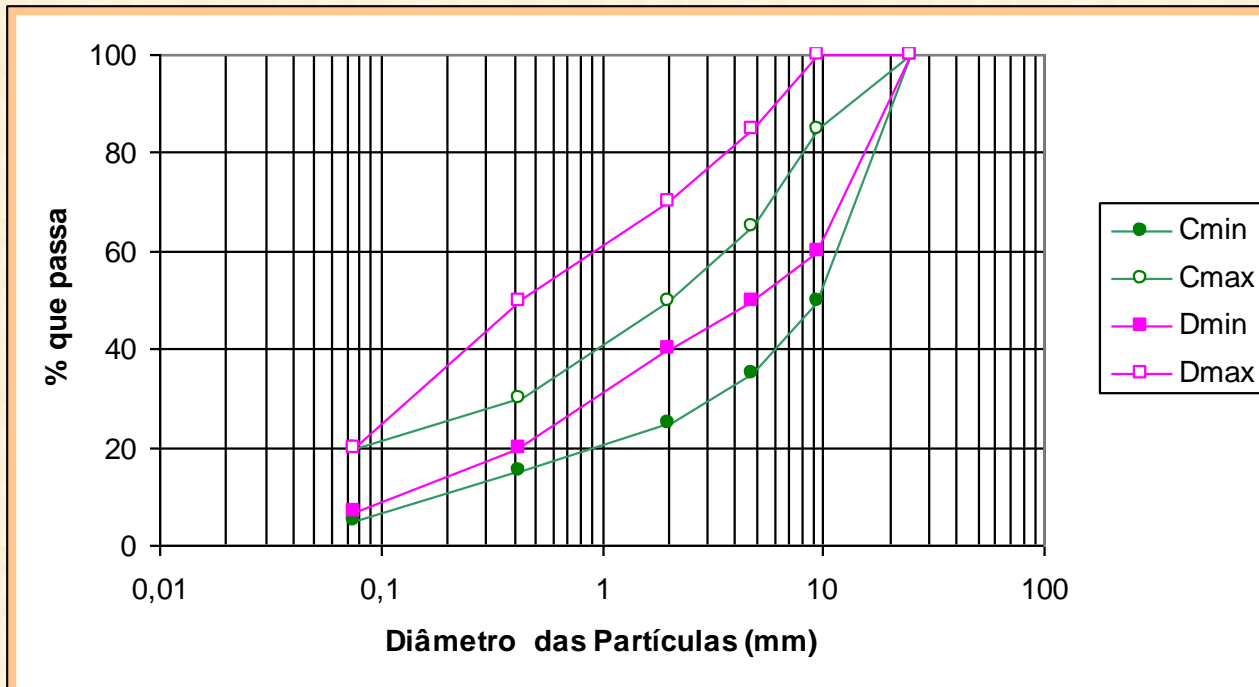
Peneiras /abertura	Faixas/Porcentagem em Peso Passando			
	A	B	C	D
2"(50mm)	100	100	-	-
1"(25mm)	-	75-90	100	100
3/8"(9,5mm)	30-65	40-75	90-85	60-100
Nº 4(4,8mm)	25-55	30-60	35-65	50-85
Nº 10 (2mm)	15-40	20-45	25-50	40-70
Nº 40(0,42mm)	8-20	15-30	15-30	25-45
Nº 200(0,075mm)	2-8	5-15	5-15	5-20



Para N maior que 10⁷, não utilizar as faixas E e F (não inclusas nesta tabela)

Método do DNER

- Outras características exigidas para os materiais usados na construção de **bases** – exemplos das **faixas C e D** do DNER



Método do DNER

- Espessuras mínimas do revestimento betuminoso dosado segundo o Método de Marshall

N	ESPESSURA MÍNIMA DO REVESTIMENTO
$N \leq 10^6$	TRATAMENTOS SUPERFICIAIS
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	CBUQ - Espessura > 5,0 cm
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	CBUQ - Espessura > 7,5 cm
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	CBUQ - Espessura > 10,0 cm
$N > 5 \times 10^7$	CBUQ - Espessura > 12,5 cm



Método do DNER

- Espessuras mínimas do revestimento betuminoso – **DER/SP**

Número N	Tipo e Espessura Mínima
$N \leq 10^6$	Tratamento superficial
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	CBUQ com 5,0cm
$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$	CBUQ com 7,5cm
$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$	CBUQ com 10,0cm
$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	CBUQ com 12,5cm
$N > 5 \times 10^7$	CBUQ com 15,0cm

Método do DNER

- **Coeficientes de equivalência estrutural:** exprimem comparativamente o desempenho dos materiais

CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)
Revestimento de Concreto Asfáltico	2,00
Revestimento de Concreto Magro Compactado com Rolo	2,00
Revestimento Pré-Misturado a Quente de Graduação Densa	1,80
Revestimento Pré-Misturado a Frio de Graduação Densa	1,40
Revestimento Asfáltico por Penetração	1,20
Paralelepípedos	1,00
<u>Base de Brita Graduada Simples, Bases Estabilizadas Granulometricamente, Macadame Hidráulico</u>	1,00

Cont.

Método do DNER

- **Coefficientes de equivalência estrutural:** exprimem comparativamente o desempenho dos materiais

CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)
Base de Brita Graduada Simples, Estabilizadas Granulometricamente e Macadame Hidráulico	1,00
Sub-Bases Granulares ou Estabilizadas com Aditivos	≤ 1,00*
Reforço do Subleito	≤ 1,00*
Base de Solo-Cimento ou BGTC, com resistência a compressão simples aos 7 dias superior a 4.5MPa.	1,70
Base de BGTC, com resistência a compressão simples aos 7 dias, entre 2,8 e 4,5MPa.	1,40
Base de Solo-Cimento, com resistência a compressão simples aos 7 dias, menor que 2,8 e maior ou igual a 2,1MPa	1,20
Base de Solo melhorado com Cimento, com resistência a compressão simples aos 7 dias menor que 2,1MPa	1,00

* vide slide seguinte



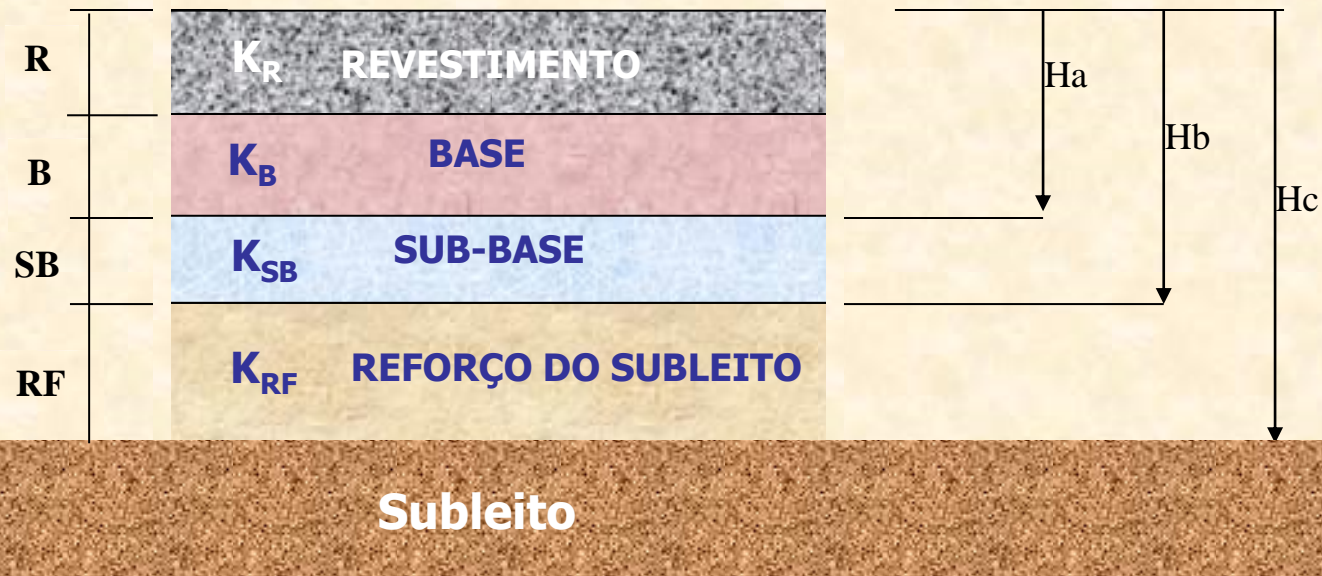
Método do DNER

- COEFICIENTES DE EQUIVALÊNCIA ESTRUTURAL para **SUB-BASE GRANULAR** e **REFORÇO DO SUBLEITO**
- Adota-se **K = 1** quando o CBR da **sub-base** ou do **reforço do subleito** for maior ou igual a 3 vezes o CBR do material subjacente. Caso contrário, o coeficiente estrutural é calculado pela relação:

$$K = (CBR_1/3.CBR_2)^{1/3}$$

onde, CBR₁: suporte da sub-base ou reforço
CBR₂: suporte do material subjacente

Método do DNER



a) $K_R \times R + K_B \times B > H_a$

b) $K_R \times R + K_B \times B + K_{SB} \times ha > H_b$

c) $K_R \times R + K_B \times B + K_{SB} \times ha + K_{RF} \times hb > H_c$

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EN	m2	2,280
MELH/PREPARO SUB-LEITO - 100% EI	m2	2,730
REFORCO SUB-LEITO ESCAV. SOLO ESCOLHIDO	m3	8,710
REFORCO DO SUB-LEITO - TRANSPORTE ATE 1 KM	m3*km	7,250
REFORCO DO SUB-LEITO - TRANSPORTE ATE 2 KM	m3*km	5,090
REFORCO DO SUB-LEITO - TRANSPORTE ATE 5KM	m3*km	3,970
REFORCO DE SUB-LEITO - TRANSPORTE ATE 10 KM	m3*km	3,320
REFORCO DO SUB-LEITO - TRANSPORTE ATE 15 KM	m3*km	2,930
REFORCO DOE SUB-LEITO - TRANSPORTE + 15KM	m3*km	2,310



TPU

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
REFORCO DE SUB-LEITO COMPACTACAO 100% EI	m3	7,160
REFORCO DE SUB-LEITO COMPACT 100% E N	m3	6,440
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 3% - USINA	m3	133,550
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 4% - USINA	m3	151,600
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 5% - USINA	m3	169,650
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 6% - USINA	m3	187,700
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 7% - USINA	m3	205,750
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 8% - USINA	m3	223,800
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 3% - PULVEMISTURADOR	m3	117,930



TPU

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 4% - PULVEMISTURADOR	m3	135,980
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 5% - PULVEMISTURADOR	m3	154,030
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 6% - PULVEMISTURADOR	m3	172,070
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 7% - PULVEMISTURADOR	m3	179,860
SUB-BASE OU BASE SOLO CIM 8% - PULVEMISTURADOR	m3	187,390
SUB-BASE OU BASE DE SOLO-CAL 4% - PULVEMISTURADOR	m3	138,870
SUB-BASE OU BASE SOLO BRITA C/ CIM.3%	m3	223,710
SUB-BASE OU BASE SOLO BRITA C/ CIM.4%	m3	250,810
SUB-BASE OU BASE SOLO BRITA C/ CIM.5%	m3	265,860



TPU

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
SUB-BASE OU BASE SOLO BRITA C/ CIM.6%	m3	280,920
SUB-BASE OU BASE DE SOLO LATERITICO-BRITA 50% BRITA	m3	156,100
SUB-BASE OU BASE DE SOLO BRITA 50% BRITA	m3	156,100
SUB-BASE OU BASE DE SOLO BRITA 60% BRITA	m3	153,680
SUB-BASE OU BASE DE SOLO BRITA 70% BRITA	m3	187,400
SUB-BASE OU BASE DE SOLO BRITA 80% BRITA	m3	207,090
SUB-BASE OU BASE SE SOLO BRITA 90% BRITA	m3	221,000
SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. SIMPLES	m3	212,140
SUB-BASE OU BASE DE PEDRA BRITADA	m3	164,390

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
SUB-BASE OU BASE DE BICA CORRIDA	m3	177,780
SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. C/CIM 1%VOL	m3	211,130
SUB-BASE OU BASE BRITA GRA. C/CIM 2%VOL	m3	230,000
SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. C/CIM 3%VOL	m3	248,870
SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. C/CIM 4%VOL	m3	267,730
SUB-BASE OU BASE BRITA GRAD. C/CIM 5%	m3	300,290
SUB-BASE OU BASE ESTABILIZADA GRANULOMETRICAMENTE	m3	134,810
SUB-BASE OU BASE MACADAME HIDRAULICO	m3	191,680
SUB-BASE OU BASE MACADAME BETUMINOSO	m3	1.031,850



TPU

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
SUB-BASE OU BASE DE MACADAME SECO	m3	199,700
SUB-BASE OU BASE SOLO AREN. FINO 95% PI	m3	30,290
BASE SOLO ESTABILIZADO QUIMICAMENTE PARA SOLO ARENOSO	m3	65,490
IMPRIMADURA BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE	m2	11,980
IMPRIMADURA BETUMINOSA LIGANTE	m2	4,470
IMPRIMADURA BET. AUXILIAR DE LIGACAO	m2	2,370
IMPRIM. BET. LIGANTE MODIF. POLIMERO	m2	5,430
TRATAMENTO SUPERFICIAL SIMPLES	m2	10,330
TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO	m3	923,600



TPU

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO	m3	1.180,500
	m2	12,210
TRATAMENTO SUPERF. C/ LAMA ASFALTICA	m2	15,290
TRAT.SUP.CAM. LAMA ASFALTICA GROSSA	m2	15,290
TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO MODIFICADO POR POLIMEROS	m3	1.229,820
TRATAMENTO SUPERFICIAL TRIPLO MODIFICADO POR POLIMEROS	m3	1.436,900
PRE-MISTURADO A FRIO	m3	1.139,150
CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A S/DOP	m3	1.230,960



TPU

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.A C/DOP	m3	1.356,140
CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.B S/DOP	m3	1.356,140
CONCRETO ASFALTICO GRADUACAO I	m3	1.421,990
CONC.ASF.US.QUENTE - BINDER GRAD.B C/DOP	m3	1.431,130
CAMADA ROLAMENTO-CBUQ GRADUACAO C-S/DOP	m3	1.464,330
CAMADA ROLAMENTO - CBUQ - GRAD.C - COM DOP	m3	1.493,830
CAMADA DE ROLAMENTO - CBUQ - GRAD. D - SEM DOP	m3	1.580,810
CAMADA ROLANTE CBUQ - GRAD. D - COM DOP	m3	1.493,830
CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO POR POLIMERO - GRAD. II	m3	1.274,010

Exemplos de preços DER-SP (2021)

MATERIAL	UNIDADE	R\$
CONC. ASF. MODIFICADO P/POLIMERO	m3	1.429,430
CONCRETO ASFALTICO MODIFICADO COM 15% EM PESO DE BORRACHA	m3	1.580,800
CAPA SELANTE TIPO 3	m2	11,920
FRESAGEM CONTINUA DE PAV., INDEPENDENTE DA ESPESSURA	m3	297,050
PAVIMENTO CONCRETO INTERTRAVADO - E=6CM	m2	96,230
PAVIMENTO CONCRETO INTERTRAVADO - E=8CM	m2	111,330
PAV CONCRETO INTERTRAVADO - E=10CM	m2	125,850
RECICLAGEM CAPA/BASE COM ADICAO DE 4% DE CIMENTO	m3	163,460
RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 30% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	213,950
RECICLAGEM DE PAVIMENTO COM ADICAO DE 20% DE BRITA E 4% DE CIMENTO	m3	199,030

