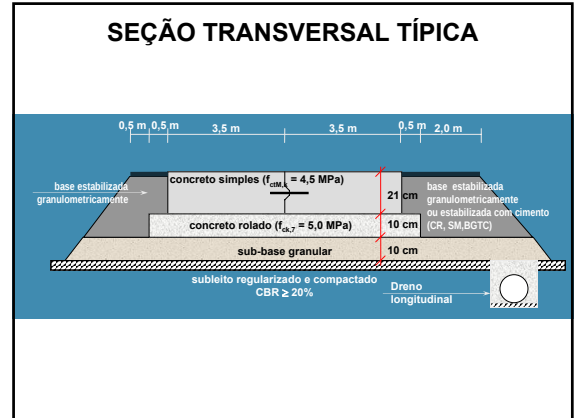


TT 402 – TRANSPORTES B
PAVIMENTAÇÃO

NOÇÕES DE PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

Eng. Mário Henrique Furtado Andrade





DIFERENÇAS BÁSICAS ENTRE PAVIMENTOS

Rígidos

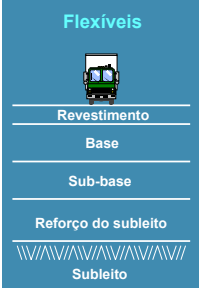


Base e revestimento

Sub-base

Subleito

Flexíveis



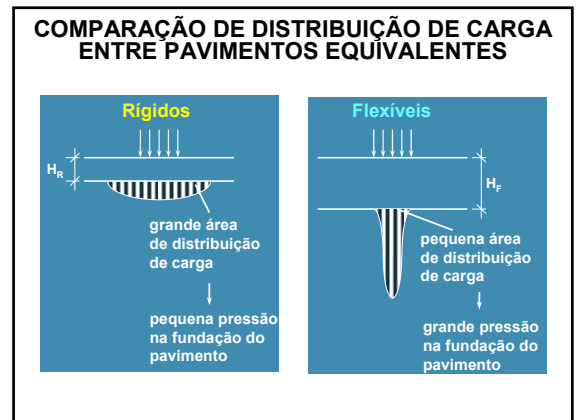
Revestimento

Base

Sub-base

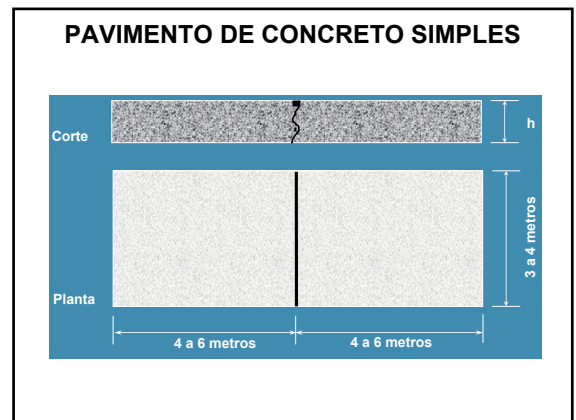
Reforço do subleito

Subleito

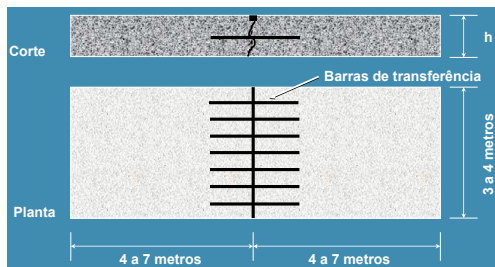


TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

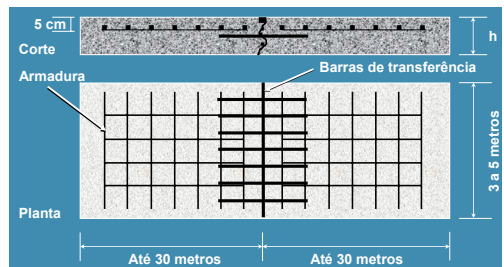
- Concreto Simples
- Concreto Simples com Barras de Transferência
- Concreto com Armadura Distribuída Descontínua sem Função Estrutural
- Concreto com Armadura Contínua sem Função Estrutural
- Concreto Estruturalmente Armado
- Concreto Protendido



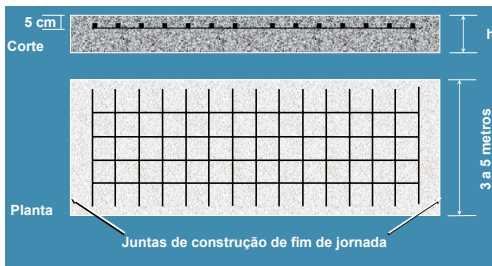
PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA



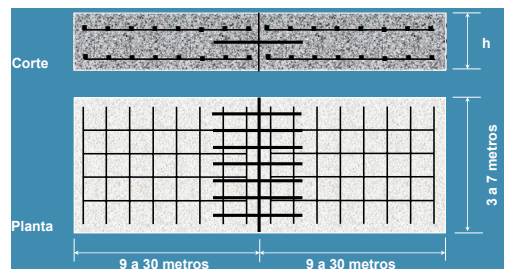
PAVIMENTO COM ARMADURA DISTRIBUÍDA DESCONTÍNUA SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL



PAVIMENTO COM ARMADURA CONTÍNUA SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL



PAVIMENTO DE CONCRETO ESTRUTURALMENTE ARMADO



MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

- Portland Cement Association:
PCA 1984
- American Association of State Highway and
Transportation Officials
AASHTO 1993
AASHTO (suplemento 1998)
AASHTO 2002 (em preparo)

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- | | | |
|----------|---|-----------------------------|
| Fundação | → | CBR |
| Tráfego | → | Contagem e
Classificação |
| Concreto | → | Resistência |

MÉTODO PCA/84

- Estudos teóricos
- Ensaios de laboratório
- Pistas experimentais
- Pavimentos em serviço

FUNDAÇÃO

- Westergaard (1925):
Fundação winkleriana
- Teoria do Líquido Denso:
deslocamento diretamente proporcional à
pressão exercida

$$p_c = k \times d \qquad k = \frac{p_c}{d}$$

FUNDAÇÃO

- k = coeficiente de recalque
 - provas de carga
 - define a capacidade de suporte do subleito
- Para efeito de projeto, relacionamos k com o CBR

FUNDAÇÃO



Ensaio de prova de carga

FUNDAÇÃO



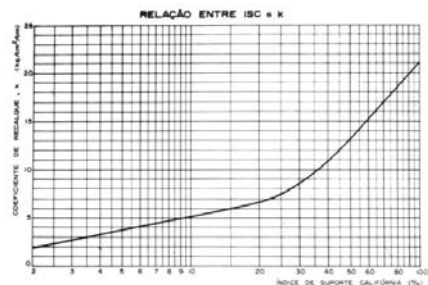
Ensaio de prova de carga

FUNDAÇÃO



Ensaio de prova de carga

FUNDAÇÃO



Correlação entre CBR e k

SUBLEITO - RELAÇÃO k x CBR (camada de espessura semi-infinita)

CBR (%)	k (MPa/m)
4	30
5	34
6	38
8	44
10	49

SUB-BASES

- Dar suporte uniforme e constante
- Evitar bombeamento
- Controlar as variações volumétricas do subleito
- Aumentar o suporte da fundação

FUNDAÇÃO - AUMENTO DE k PROPORCIONADO POR SUB-BASE DE CR

CBR _{subl} (%)	k _{subl} (MPa/m)	k _{CR 10} (MPa/m)
4	30	101
5	34	111
6	38	120
8	44	133
10	49	144

FUNDAÇÃO - AUMENTO DE k PROPORCIONADO POR SUB-BASE GRANULAR

CBR _{subl} (%)	k _{subl} (MPa/m)	k _{BG 10} (MPa/m)
4	30	34
5	34	38
6	38	42
8	44	48
10	49	54

FUNDAÇÃO - AUMENTO DE k PROPORCIONADO POR SUB-BASE DE SC

CBR _{subl} (%)	k _{subl} (MPa/m)	k _{SC 10} (MPa/m)
4	30	81
5	34	90
6	38	98
8	44	109
10	49	119

FUNDAÇÃO - AUMENTO DE k PROPORCIONADO POR SUB-BASE DE SMC

CBR _{subl} (%)	k _{subl} (MPa/m)	k _{SMC 10} (MPa/m)
4	30	60
5	34	66
6	38	73
8	44	82
10	49	89

FUNDAÇÃO - AUMENTO DE k PROPORCIONADO POR SUB-BASE DE CONCRETO ASFÁLTICO

CBR _{subl} (%)	k _{subl} (MPa/m)	k _{CA 10} (MPa/m)
4	30	40
5	34	45
6	38	50
8	44	55
10	49	66

CONCRETO

- A resistência característica de projeto é a de tração na flexão ($f_{ctM,k}$).

- Geralmente adota-se:

$$f_{ctM,k} = 4,5 \text{ MPa}$$

MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO (PCA/84)

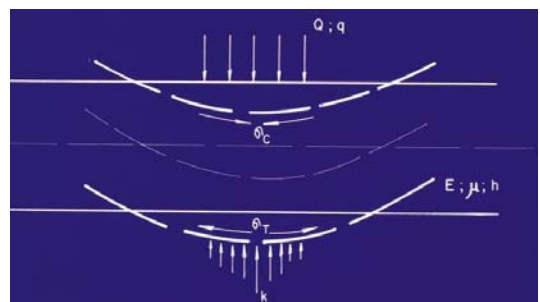
Modelos de Comportamento

- Fadiga
- Erosão

FADIGA

- Repetição de cargas
- Relação de tensões (S)
- Número limite ou admissível de repetições de carga

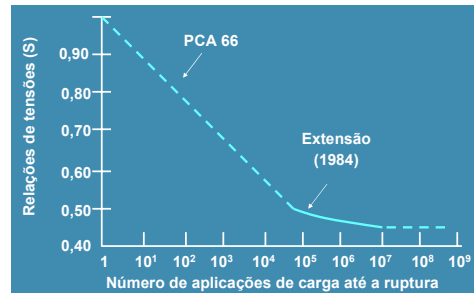
FADIGA DO CONCRETO



FADIGA (relação de tensões)

$$S = \frac{\sigma_t}{M_R}$$

RELAÇÃO DE TENSÕES E NÚMERO ADMISSÍVEL DE REPETIÇÕES DE CARGA - CURVA DE FADIGA (PCA-84)

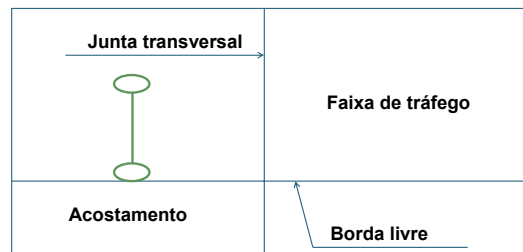


MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO (PCA/84) EQUAÇÕES DE FADIGA

Relação de tensões (R_t)	Equação
menor que 0,45	$N = \text{ilimitado}$
de 0,45 a 0,55	$N = (4,2577 / R_t - 0,4325)^{3,268}$
maior que 0,55	$N = (0,9718 - R_t) / 0,0828$

MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO (PCA/84)

Posição de carga crítica para as tensões de tração na flexão (6% do tráfego tangenciando a borda)



LEI DE MINER – DANO ACUMULADO POR FADIGA

Lei de Miner – Consumo de Resistência à Fadiga (C_{RF})

$$C_{RF} = \sum_{i=1}^m (n_i / N_{i adm})$$

$$C_{RF} \leq 100\%$$

MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO (PCA/84)

Modelos de Comportamento

- Fadiga
- Erosão

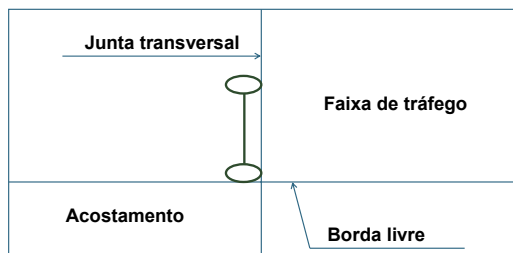
EROSÃO

Perda de material de camada de suporte sob as placas de concreto e nas laterais

- Efeito: deformações verticais críticas (cantos e bordas longitudinais livres)
- Novo conceito: Fator de Erosão - mede o poder que uma certa carga tem de produzir deformação vertical da placa

MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO (PCA/84)

Posição de carga crítica para as deformações



FOLHA DE CÁLCULO - PCA/84

Espessura: cm			Juntas com BT:			
f_{ctm} : MPa/m			Acostamento de concreto:			
f_{cm} : MPa			Período de projeto (anos):			
Fsc:						
CARGAS POR EIXO (kN)		NÚMERO PREVISTO DE SOLICITAÇÕES	ANÁLISE DE FADIGA		ANÁLISE DE EROSIÃO	
1	2		NÚMERO ADMISSÍVEL DE SOLICITAÇÕES	CONSUMO DE FADIGA (%)	NÚMERO ADMISSÍVEL DE SOLICITAÇÕES	DANOS POR EROSIÃO (%)
1	2	3	4	5	6	7
EIXOS SIMPLES			Tensão Eq.: Fator de fadiga:		Fator de erosão:	
EIXOS TANDEM DUPLOS			Tensão Eq.: Fator de fadiga:		Fator de erosão:	
EIXOS TANDEM TRIPLOS			Tensão Eq.: Fator de fadiga:		Fator de erosão:	
TOTAL			TOTAL		TOTAL	

SISTEMAS ARTIFICIAIS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE JUNTAS

- Placas curtas
- Barras de transferência
- Sub-base estabilizada com cimento

OS SISTEMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

1. Diminuem

- Tensões e deformações nas placas de concreto
- Pressões e consolidação na fundação
- Manutenção

2. Aumentam

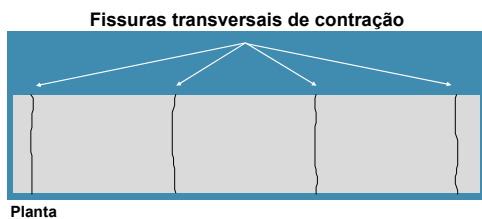
- Durabilidade
- Conforto e segurança de rolamento

PROJETO GEOMÉTRICO DE DISTRIBUIÇÃO DE PLACAS

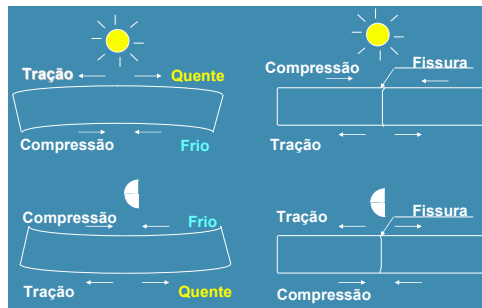
■ Combate:

- Restrição à retração volumétrica do concreto
- Empenamento restringido: fissuras longitudinais e transversais

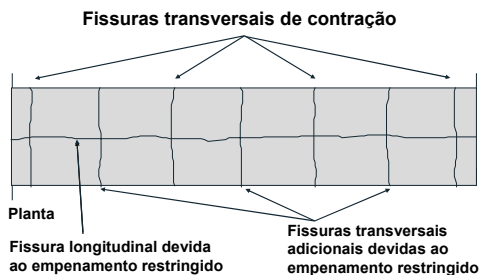
ASPECTO SUPERFICIAL PROVÁVEL DE PAVIMENTO DE CONCRETO SEM JUNTAS TRANSVERSAIS DE CONTRAÇÃO



EMPENAMENTO TEÓRICO DIURNO E NOTURNO



ASPECTO SUPERFICIAL DE PAVIMENTO DE CONCRETO SEM JUNTAS



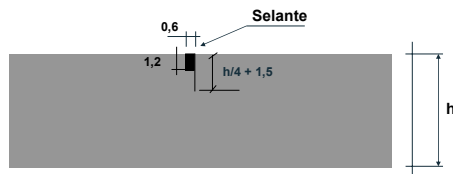
TIPOS DE JUNTAS

- Junta longitudinal
- Junta transversal
- Juntas de expansão

TIPOS DE JUNTAS LONGITUDINAIS

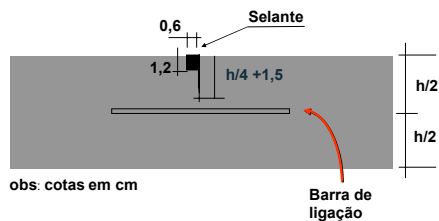
- Junta de articulação
- Junta de construção

JUNTA LONGITUDINAL DE ARTICULAÇÃO, DE SEÇÃO ENFRAQUECIDA, SEM BARRAS DE LIGAÇÃO

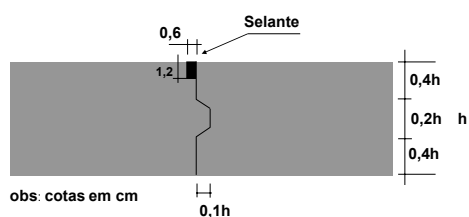


obs: cotas em cm

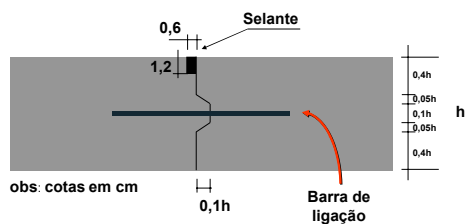
JUNTA LONGITUDINAL DE ARTICULAÇÃO, DE SEÇÃO ENFRAQUECIDA, COM BARRAS DE LIGAÇÃO



JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUÇÃO, DE ENCAIXE MACHO-FÊMEA, SEM BARRAS DE LIGAÇÃO



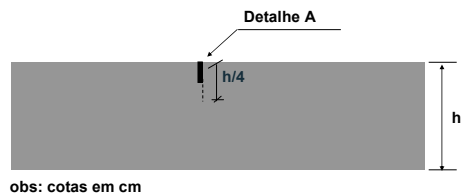
JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUÇÃO, DE ENCAIXE MACHO-FÊMEA, COM BARRAS DE LIGAÇÃO



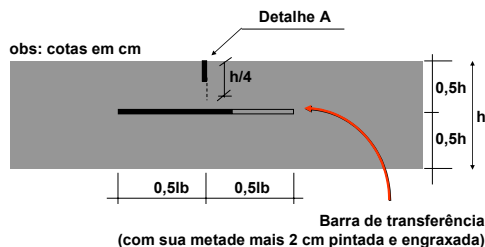
TIPOS DE JUNTAS TRANSVERSAIS

- Junta de retração
- Junta de retração com barras de transferência
- Juntas de construção

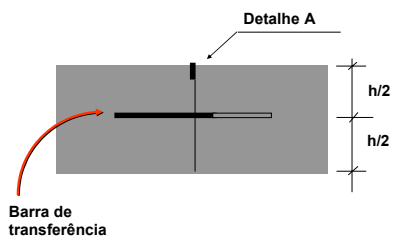
JUNTA TRANSVERSAL DE RETRAÇÃO, DE SEÇÃO ENFRAQUECIDA, SEM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA



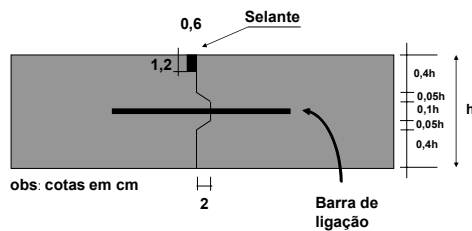
JUNTA TRANSVERSAL DE RETRAÇÃO, DE SEÇÃO ENFRAQUECIDA, COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA



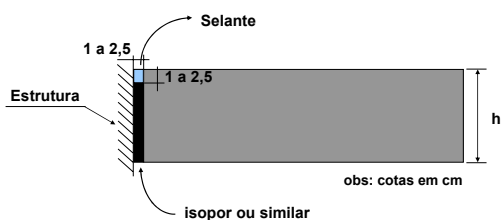
JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUÇÃO PLANEJADA, DE TOPO, COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA



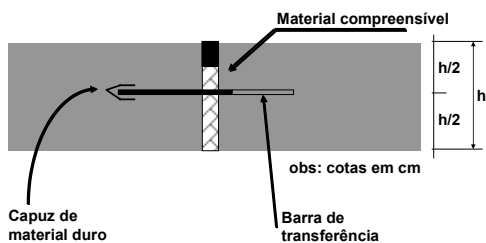
JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUÇÃO DE EMERGÊNCIA



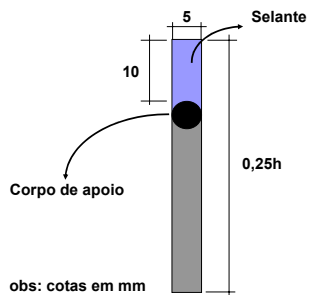
JUNTA DE EXPANSÃO



JUNTA DE EXPANSÃO



DETALHE A - PROFUNDIDADE DE CORTE E SELAGEM DE JUNTAS



DETALHE DO CORTE E RESERVATÓRIO DO SELANTE DAS JUNTAS

