



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### 1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é apresentar as diretrizes para projeto e dimensionamento de pavimentos de concreto simples de vias urbanas da Prefeitura do Município de São Paulo. No caso de dimensionamento de pavimentos de concreto armado deverão ser respeitadas as diretrizes da NBR 6118 da ABNT.

### 2. ESTUDO GEOTÉCNICO DO SUBLEITO

Os serviços geológicos e geotécnicos para caracterização do subleito deverão respeitar a Instrução de Projeto IP-01 Instrução Geotécnica da SIURB/PMSP.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

As vias urbanas a serem pavimentadas serão classificadas de acordo com a Instrução de Projeto IP-02 Classificação das Vias da SIURB/PMSP. O Quadro 7.1 resume os principais parâmetros de classificação das vias.

#### Quadro 7.1

#### Classificação das vias e parâmetros de tráfego

TIPO DE VIA E SUA FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	PERÍODO DE PROJETO (P)	VOLUME INICIAL NA FAIXA MAIS CARREGADA		VOLUME MÉDIO DIÁRIO COMERCIAL NA FAIXA MAIS CARREGADA (1) E (2)
			VEÍCULO LEVE	CAMINHÃO E ÔNIBUS	
Via local residencial com passagem	Leve	20	100 a 400	4 a 20	6 a 30
Via coletora secundária	Médio	20	401 a 1500	21 a 100	31 a 150
Via coletora principal	Meio Pesado	20	1501 a 5000	101 a 300	151 a 450
Via Arterial	Pesado	20	5001 a 10000	301 a 1000	451 a 1500
Via arterial principal ou expressa	Muito Pesado	20	> 10000	1001 a 2000	1501 a 3000
Faixa exclusiva de ônibus	Volume Médio	20	-	< 500	< 750
	Volume Elevado	20	-	> 500	>750

#### Notas:

- (1) O volume médio diário na faixa mais carregada foi obtido considerando o valor inicial da via e um volume final após 20 anos, com crescimento de 5% ao ano.
- (2) Para efeito de dimensionamento deverá ser usada a coluna de volume médio
- (3) Período de projeto (P). A fixação do período de projeto do pavimento de concreto baseia-se na experiência internacional, principalmente na observação sistemática de pavimentos em serviço e nas conclusões obtidas em pistas experimentais. O período mínimo de 20 anos é normalmente cotejado para projetos de pavimentos de concreto simples na prática nacional para este tipo de estrutura de pavimento. Caso seja necessário levar em conta outra duração para esse período basta multiplicar os



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

- valores de tráfego (TMDC) tabelados pela relação numérica entre o período de 20 anos e o novo período a considerar.
- (4) Fatores de segurança para as cargas, empregados sem respaldo científico mais evidente, não são considerados nesse método uma vez que as equações de projeto já resultam, na média, em tensões de tração na flexão de cerca de 30% superiores àquelas aferidas em pistas experimentais desenvolvidas pela FAPESP no campus da USP em São Paulo.
  - (5) Preferencialmente realizar contagem classificatória e volumétrica por período mínimo ou consultar base de dados da CET/SMT/PMSP.
  - (6) No caso de tráfego médio a muito pesado empregar o critério de carga máxima legal quanto às cargas de projeto, a menos de justificativa em contrário.
  - (7) Elaborar análise de 24 horas sobre a distribuição horária do tráfego comercial (em termos percentuais do dia) caso a CET não disponha de dados desta espécie.

### 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE O SUBLEITO

Para o dimensionamento de pavimento de concreto, o método utiliza-se do parâmetro denominado por módulo de reação do subleito ( $k$ ). Este valor que caracteriza a capacidade de deformação elástica do subleito do pavimento pode ser determinado indiretamente, por meio de correlações com valores do índice de Suporte Califórnia ( $CBR$ ).

A capacidade de suporte do subleito ( $CBR_{subl}$ ) será determinada adotando o método de ensaio preconizado pela PMSP, com solo moldado em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade especificadas (ME-7 - Ensaio normal, intermediário e modificado de compactação de solos da SIURB/PMSP).

No caso de vias já dotadas de guias e sarjetas, reforços de pavimentos antigos ou de aproveitamento do leito existente, a determinação do índice de suporte do material ( $CBR_{subl}$  ou Mini  $CBR_{subl}$ ) poderá ser realizada *in situ*, conforme método ME-47 e ME-56 e pela determinação expedita do *mini-CBR* por penetração dinâmica (ME-55 da SIURB/PMSP).

Para subleito com solos que apresentam expansão  $\geq 2\%$  e  $CBR < 4\%$ , deverá ser acrescida em projeto uma camada de reforço com, no mínimo, 40 cm de espessura sobre a camada final de terraplenagem, executada com solo selecionado ou estabilizado que apresente  $CBR \geq 5\%$  e expansão  $< 2\%$  (valores estatísticos). Feita a substituição, deverá ser obtido o módulo de reação do subleito ( $k$ ) do material substituído ou da camada acrescida.

O projetista poderá utilizar outros critérios diferentes dos expostos nessa norma para determinação do valor de  $k$ , desde que devidamente justificado e aprovado pela SIURB/PMSP. No caso de bases granulares sobre subleitos, o valor do módulo de reação do sistema base/subleito no topo da base granular, imediatamente abaixo da



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

placa de concreto, poderá ser determinado com base nas observações anteriores complementadas pelo Quadro 7.2 a seguir.

### Quadro 7.2

#### Aumento de $k$ devido à presença de base granular

Valor e suporte do subleito		Módulo de Reação no topo do sistema para espessuras de base iguais a (cm)			
CBR (%)	$k$ (MPa/m)	10	15	20	30
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	72	79	96

Observações:

- (1) Para espessuras de base entre os valores tabelados, ressalta-se que poderá ocorrer a interpolação para obtenção do módulo de reação ( $k$ ) desejado.
- (2) As bases ou sub-bases granulares, neste método, se restringem à brita graduada simples e ao macadame hidráulico, para vias de tráfego médio.
- (3) Para ruas periféricas com tráfego leve e declividade acentuada, poderão ser empregadas misturas do tipo solo-agregado como base do pavimento de concreto.

No presente método, não se faz alusão a eventuais melhorias no valor de  $k$  no caso de bases cimentadas, tendo-se em conta que a capacidade estrutural da base cimentada, trabalhando como placa em flexão, é explicitamente considerada no método de dimensionamento de pavimento de concreto apresentado; deve-se adotar, portanto, o



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

valor de  $k$  sobre o subleito ou o valor de  $k$  sobre a base granular, para fins de projeto. Quando o leito pré-existente da via for objeto de aproveitamento parcial ou total para execução do pavimento de concreto, o valor de  $k$  deverá ser estimado e justificado.

### **5. ESTRUTURA DO PAVIMENTO**

#### **5.1 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS SOBRE O DIMENSIONAMENTO**

Esse método se fundamenta na modelagem numérica de esforços em pavimentos de concreto, com incorporação de elementos mais favoráveis à análise global deste tipo de estrutura de pavimento, posto que contempla:

- A análise por elementos finitos de tensões nas bases cimentadas de pavimentos, considerando-se unicamente o caso de bases cimentadas não aderidas à placa de concreto (quando em geral há elemento interposto entre ambas as camadas para evitar aderência);
- A análise por elementos finitos incorporou a consideração de diferenciais térmicos lineares entre topo e fundo de placas de concreto, sempre positivos, que podem implicar em tensões de tração na flexão significativas quando da ação simultânea de eixos de veículos comerciais; os gradientes térmicos noturnos não são considerados pois não há evidências de sua significância, já que muito pequenos (valores médios entre 0 e  $-3^{\circ}\text{C}$  em São Paulo durante todas as estações climáticas), não alterando o estado de tensões em placas de concreto conseqüentemente.

O método se aplica sempre a pavimentos de concreto simples, isto é, sem armadura em sua estrutura, sobre bases não aderidas (cimentadas ou granulares), com barras de transferência de cargas em juntas transversais, não incorporando eventuais efeitos motivados por contaminação de bases granulares ao longo de sua vida de serviço, por não ser disponível modelo empírico tratando do fenômeno em clima tropical. A dimensão longitudinal das placas não deve ultrapassar 5,5 m de comprimento, sempre com a adoção de barras de transferência de carga, o que leva a esforços críticos na parte mais central da placa junto à borda longitudinal.

O concreto de cimento Portland e a base cimentada (CCR ou BGTC) deverão ser parametrizados por suas respectivas resistências à tração na flexão bem como por



## **IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

modelos de resistência à fadiga desses materiais. A resistência à tração na flexão dos materiais deverá ser determinada por ensaio preconizado pela NBR 12142 da ABNT. A resistência à fadiga desses materiais é representada matematicamente pelos modelos no item 7.4 dessa norma.

As bases cimentadas deverão atender aos seguintes critérios básicos:

- quando em BGTC, deverão apresentar resistência à tração na flexão de projeto  $\geq 0,7$  MPa aos 28 dias, ou alternativamente, resistência à compressão simples  $\geq 9$  MPa aos 28 dias;
- as bases de concreto compactado com rolo, deverão apresentar resistência à tração na flexão de projeto  $\geq 1,5$  MPa aos 28 dias, ou alternativamente, resistência à compressão simples  $\geq 15$  MPa aos 28 dias;

Quanto ao CCP, o material deverá atender às seguintes condições mínimas:

- resistência característica à tração na flexão ( $f_{ct,f}$ ) aos 28 dias, entre 3,8 e 5,5 MPa, determinada conforme a NBR 12142 (ABNT).

Caso seja utilizado concreto com maior resistência, em especial um concreto de alto desempenho (CAD), o projetista deverá apresentar análise à parte, por modelagem de placas por elementos finitos, justificando as tensões de cálculo e módulos de elasticidade adotados para o CCP, uma vez que a presente norma contempla apenas concretos convencionais com módulo de elasticidade em torno de 30 GPa.

### **5.3 ESPESSURAS RECOMENDADAS E MATERIAIS INDICADOS PARA AS CAMADAS DA ESTRUTURA DO PAVIMENTO**

O Quadro 7.3 apresenta as espessuras e materiais recomendados para as camadas de pavimento.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### Quadro 7.3

#### *Espessura e materiais indicados para a estrutura dos pavimentos*

<b>CAMADA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>INTERVALO DA ESPESSURA_(cm)</b>
SUB-BASE	Material granular (CBR > 60 %)	10-15
BASE	Material granular (CBR > 80 %)	10-30
	CCR ( $f_{ct,f} \geq 1,5$ MPa)	10-20
	BGTC ( $f_{ct,f} \geq 0,7$ MPa)	10-20
PLACA DE CCP	Concreto ( $f_{ct,f} = 3,8$ MPa)	$\geq 17$
	Concreto ( $f_{ct,f} = 5,5$ MPa)	$\geq 16$
	Concreto – CAD ( $f_{ct,f} > 5,5$ MPa)	$\geq 15$

### **6. DIFERENCIAIS TÉRMICOS (DT) PARA PLACAS DE CONCRETO EM SÃO PAULO**

Os valores de diferenciais térmicos positivos (os diferenciais negativos noturnos não devem ser considerados por serem desprezíveis) a serem empregados para projetos na cidade de São Paulo poderão ser estimados, para cada horário do dia, em termos de um valor médio representativo a cada hora. Os modelos aqui apresentados foram calibrados tendo em vista medidas de vários parâmetros climáticos em estação meteorológica completa da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica do Estado de São Paulo, situada no campus da Universidade de São Paulo, sendo válidos (sem extrapolações) para as seguintes faixas de variação de parâmetros climáticos:

- Temperatura atmosférica: de 6 a 36°C;
- Umidade relativa do ar: de 20 a 100%;
- Número de horas de insolação diárias: de 6 a 12 horas.

Quando o projetista dispuser de dados climáticos precisos sobre o local de projeto, para as diversas condições anuais, os diferenciais térmicos máximos diurnos (DT+) poderão ser definidos conforme os modelos seqüencialmente apresentados nos itens 6.1 e 6.2 na seqüência. Em ocorrendo tal possibilidade, deverão ser consideradas as condições básicas indicadas no Quadro 7.4 para o cálculo de diferencial térmico a cada hora.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### Quadro 7.4

#### Dados referenciais para cálculo da distribuição de diferenciais térmicos diurnos

ESTAÇÃO DO ANO	HORÁRIO DE INÍCIO DE DT POSITIVO <sup>1</sup>	HORÁRIO FINAL DE DT POSITIVO <sup>2</sup>	HORÁRIO DE DT+ MÁXIMO <sup>3</sup>	DT + MÁXIMO <sup>4</sup>
Primavera	8h	18h	13-15 h	12,5 °C
Verão	8h	19h	13-15 h	11,5 °C
Outono	9h	18h	13-15 h	8 °C
Inverno	9h	17h	13-15 h	10 °C

<sup>1</sup> entre 0 h e o horário indicado tomar DT = 0

<sup>2</sup> entre o horário indicado e 24 h tomar DT = 0

<sup>3</sup> considerar DT máximo constante entre 13 e 15 h

<sup>4</sup> empregado quando não se dispõe de dados climáticos para a área de projeto em São Paulo

O diferencial térmico em cada horário (médio) será definido pela interpolação linear entre o horário de início do diferencial positivo e 13 h (elevação de temperatura na manhã) e também entre 15 h e o horário de final de diferencial positivo da tarde (queda vespertina). Quando não se dispuser de dados climáticos para emprego dos modelos apresentados nos itens 6.1 e 6.2 na seqüência, então os valores de diferenciais térmicos máximos a serem adotados para cada estação do ano serão os indicados no Quadro 7.4.

### 6.1 PREVISÃO DA TEMPERATURA DE TOPO DE PLACA DE CONCRETO

O modelo de previsão de temperatura de topo máxima estabelece relações empírico-estatísticas correlacionando dados de temperatura medidos no interior de pavimentos de concreto experimentais, pautando-se pelos seguintes critérios de seleção de dados:

- todas as medidas referem-se ao horário solar independentemente da estação ou época do ano;
- o número de horas de insolação ( $NHI$ ) a ser considerado tem como referência o período entre o amanhecer e 16h;
- a temperatura atmosférica ( $T_{ar}$ ) é a média entre a máxima e a mínima verificadas entre 9 horas e 15 horas do dia;
- a umidade relativa do ar ( $H$ ) às 15 horas.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

O seguinte modelo serve para a previsão da temperatura de topo em placas de concreto, para qualquer época do ano:

$$T_{T,máx} = -6,00 + 1,00 \cdot NHI + 1,37 \cdot T_{ar} + 0,064 \cdot H$$

onde:

$T_{T,máx}$  : temperatura de topo máxima (°C);

$NHI$  : número de horas de insolação (h);

$T_{ar}$  : temperatura atmosférica (°C);

$H$  : umidade relativa do ar (%).

Este modelo apresentou, para 142 conjuntos de dados, um erro padrão de 3,7 °C e um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,73.

### **6.2 PREVISÃO DO DIFERENCIAL TÉRMICO MÁXIMO**

Os modelos empírico-estatísticos para a previsão de diferenciais térmicos positivos na cidade de São Paulo são dependentes dos seguintes parâmetros e fatores:

- da temperatura máxima de topo verificada no mesmo instante;
- da espessura da placa de CCP;
- da presença de umidade no fundo da placa ( $H_f$ ) devido à má drenagem do pavimento, causando redução na temperatura de fundo e conseqüente elevação nos diferenciais térmicos.

#### **Previsão de Diferencial Térmico para primavera/verão caso as camadas inferiores do pavimento sejam sujeitas à saturação nessas estações**

(tomar  $H_f = 1$  neste caso; caso contrário  $H_f = 0$ )

$$DT+ = -18,83 + 0,542 \times T_{T,máx} + 0,037 \times e + 4,165 \times H_f$$





## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### Previsão de Diferencial Térmico para outono/inverno

$$DT+ = -6,534 + 0,509 \times T_{T,máx} + 0,0013 \times e$$

### **7. DIMENSIONAMENTO PARA TRÁFEGO MÉDIO A MUITO PESADO E FAIXA EXCLUSIVA DE ÔNIBUS**

O presente método permite, com base em conceitos mecanicistas, a verificação à fadiga das placas de concreto simples e das bases cimentadas. O processo de dimensionamento se fará com emprego das equações apresentadas neste item, sendo que as mesmas foram calibradas e validadas com base na medida física de deformações e tensões que ocorrem em placas de concreto em verdadeira grandeza.

#### **7.1 PARÂMETROS BÁSICOS PARA A OBTENÇÃO DA ESPESSURA DA PLACA DE CONCRETO**

- Resistência característica à tração na flexão do concreto, em MPa, aos 28 dias ( $f_{ct,f}$ ); esta data de referência para o valor de  $f_{ct,f}$  tem caráter exclusivamente indicativo posto que, o projetista poderá optar por emprego de concretos de rápida liberação ao tráfego, podendo ser portanto tal data menor que a indicada (por exemplo, 24 horas, 3 dias ou 7 dias);
- Resistência característica à tração na flexão da base cimentada, em MPa, aos 28 dias (ou data de liberação ao tráfego de obra);
- Valor do módulo de reação do subleito ou do sistema de apoio (apenas para o caso de placa apoiada sobre base granular), em MPa/m;
- Volume de tráfego diário de veículos comerciais, aferido em campo ou estimado, na faixa de projeto do pavimento (faixa mais carregada em um sentido), distribuído por tipo de eixo e carga por eixo; quando não disponível pesagem, serão consideradas por eixo a carga máxima legal vigente no território nacional; os volumes, quando não disponíveis, deverão ser caracterizados com base nos tipos de vias apresentados no Quadro 7.1;



## **IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

- A distribuição horária, em termos de frequência, dos veículos comerciais (ônibus ou caminhões), que quando não disponíveis com base em séries históricas, deverá ser elemento investigado na fase de projeto;
- Todas as vias serão dotadas de meio-fio, com a finalidade de se minimizar o processo de erosão em virtude da proteção que ele proporciona à borda do pavimento.

### **7.2 EQUAÇÕES PARA CÁLCULO DE TENSÕES NA ESTRUTURA**

#### **7.2.1 PAVIMENTOS COM BASE DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO (CCR) OU BRITA GRADUADA TRATADA COM CIMENTO (BGTC)**

Na seqüência são apresentados três modelos de cálculo de tensões máximas de tração na flexão nas placas de concreto e em bases cimentadas; o significado de cada parâmetro dos modelos está indicado no Quadro 7.5. As equações são apresentadas na forma de modelos gerais no Quadro 7.6, sendo que as constantes indicadas nos modelos por  $l$  e  $x_i$  são fornecidas nos Quadros 7.7 e 7.8. O projetista deverá especificar os materiais para placas de concreto e base cimentada, bem como empregar os valores para os parâmetros caracterizadores dos materiais de forma consistente com suas especificações.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### Quadro 7.5

#### Significado das variáveis e parâmetros dos modelos

VARIÁVEL	SÍMBOLO
Espessura de placa (m)	e1
Espessura de base (m)	e2
Carga no eixo simples – ESRD (kN)	Q
Módulo de elasticidade da base (MPa)	E2
Módulo de reação do subleito (MPa/m)	k
Diferencial térmico linear na placa (° C)	DT

### Quadro 7.6

#### Formato geral dos modelos para cálculo de tensões

TENSÃO NA	EQUAÇÃO DE CÁLCULO (MPa)
Placa de Concreto	$\sigma = I + x_1 Q + x_2 e_1^2 + x_3 e_1 + x_4 e_2^2 + x_5 e_2 + x_6 E_2^2 + x_7 E_2 + x_8 DT$
Base, DT > zero	$\sigma = I + x_1 Q^2 + x_2 Q + x_3 e_1^2 + x_4 e_1 + x_5 e_2^2 + x_6 e_2 + x_7 k + x_8 DT$
Base, DT = zero	$\sigma = I + x_1 Q^2 + x_2 Q + x_3 e_1^2 + x_4 e_1 + x_5 e_2^2 + x_6 e_2 + x_7 k$

- Observação:
- (1) Observar os períodos com DT = zero prescritos nesta norma
  - (2) Quando DT > zero a posição de carga crítica para tensão na base cimentada se altera, motivo de duas equações diferentes para o cálculo de tensões na base
  - (3) As constantes numéricas (I, x<sub>1</sub>, ..., x<sub>8</sub>) foram deduzidas numericamente e ajustadas experimentalmente com base nas relações entre medidas físicas de tensões obtidas em pista por instrumentação e tensões calculadas por técnicas de elementos finitos.



**IP – 07 DIMENSIONAMENTO  
DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

**Quadro 7.7**

**Coeficientes de regressão para placa não aderida à base cimentada, para emprego na equação de cálculo de tensão na placa de concreto (ver Quadro 7.6)**

COEFICIENTE $X_i$	ESPESSURA DA PLACA		
	$0,15 \text{ m} \leq e_1 \leq 0,19 \text{ m}$	$0,19 \text{ m} < e_1 \leq 0,25 \text{ m}$	$0,25 \text{ m} < e_1 \leq 0,35 \text{ m}$
<b>Para <math>k = 30 \text{ MPa/m}</math></b>			
I	4,10362621	3,80362684	3,85045145
x1	0,02077157	0,01655751	0,01183868
x2	7,27389717	17,09277691	15,64638342
x3	-13,87550922	-17,53452816	-16,72887780
x4	-9,97859979	-12,31086609	-4,99510587
x5	-5,57482517	-0,12427686	0,42062064
x6	4,867E-10	1,546E-10	2,675E-11
x7	-4,203E-05	-1,707E-05	-4,342E-06
x8	0,13261709	0,11824599	0,08909905
<b>Para <math>k = 80 \text{ MPa/m}</math></b>			
I	3,32392285	2,91231875	2,87354438
x1	0,01702394	0,01364354	0,00990845
x2	6,54530993	11,30316645	9,68042933
x3	-10,88306827	-12,64297727	-11,78235280
x4	-8,87459500	-11,02877833	-5,12969983
x5	-4,50133709	0,02312292	0,57095931
x6	3,972E-10	1,289E-10	2,360E-11
x7	-3,479E-05	-1,461E-05	-4,097E-06
x8	0,14026183	0,13434529	0,11441742
<b>Para <math>k = 130 \text{ MPa/m}</math></b>			
I	3,01795328	2,52896212	2,44587291
x1	0,01538057	0,01238978	0,00912744
x2	7,63316235	9,17847635	7,45401434
x3	-10,08437876	-10,63791487	-9,74106648
x4	-8,00564590	-10,06212380	-4,95133795
x5	-4,07623291	0,00909903	0,59301764
x6	3,540E-10	1,154E-10	2,166E-11
x7	-3,121E-05	-1,325E-05	-3,851E-06
x8	0,14165006	0,13910398	0,12359238



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### Quadro 7.8

**Coefficientes de regressão para placa não aderida à base cimentada, para emprego na equação de cálculo de tensão na base de CCR ou BGTC (ver Quadro 7.6)**

COEFICIENTE $X_i$	MÓDULO DE ELASTICIDADE DA BASE CIMENTADA (GPa)			
	E2 = 10 GPa	E2 = 15 GPa	E2 = 20 GPa	E2 = 25 GPa
<b><u>Para DT MAIOR QUE ZERO</u></b>				
I	0,52236279	0,55356928	0,52769292	0,47258354
x1	1,822E-05	2,540E-05	3,184E-05	3,773E-05
x2	-0,00117014	-0,00160185	-0,00198638	-0,00234108
x3	6,52470527	7,18126469	7,12112298	6,64935434
x4	-4,95771966	-5,77252497	-6,09151638	-6,10532529
x5	-7,65363544	-13,66400187	-19,84697807	-25,88454805
x6	4,11867050	6,33360793	8,40526372	10,29017821
x7	-0,00035270	-0,00048124	-0,00058975	-0,00068281
x8	0,02285844	0,03265152	0,04168056	0,05008151
<b><u>Para DT IGUAL A ZERO</u></b>				
I	1,30171225	1,64847191	1,90806300	2,11345977
x1	-6,268E-06	-8,738E-06	-1,093E-05	-1,292E-05
x2	0,00411338	0,00579956	0,00732677	0,00872901
x3	15,61519329	19,51917593	22,20666434	24,09888454
x4	-10,44463121	-13,30471424	-15,40020799	-16,98334988
x5	-6,70228010	-11,50273826	-16,13197676	-20,38905825
x6	3,36658494	5,06091464	6,55558488	7,83600559
x7	-0,00077283	-0,00109245	-0,00138377	-0,00165285

Observação: na ausência de dados experimentais para o projeto, considerar que a BGTC possui 10.000 MPa < E < 15.000 MPa e que o CCR possui 15.000 MPa < E < 25.000 MPa, conforme o caso desejado

Observe-se que as equações para cálculo de tensões apresentadas nos Quadros 7.5 a 7.8 foram desenvolvidas para eixos simples de rodas duplas (ESRD), sendo que para o cálculo de tensões devidas a eixos tandem duplos (ETD) ou a eixos tandem triplos (ETT), são calculadas com base nas equivalências de carga estabelecidas pela AASHO *Road Test*, conforme se seguem:

- O eixo tandem duplo de 135 kN e o eixo tandem triplo de 215 kN causam efeitos de tensão de tração na flexão semelhantes ao eixo padrão (ESRD) de



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

80 kN; as tensões causadas por tais eixos são denominadas por “tensões de referência”(σ ref);

- A tensão causada por um eixo qualquer (σ<sub>q</sub>) que não equivalente ao padrão (i.e., diferente de 135 kN para caso de ETD e diferente de 215 kN para caso de ETT) é calculada, conforme o tipo de eixo, mantendo-se critério de linearidade entre tensão e carga, conforme se segue:

$$\sigma_q = \sigma_{ref} \times \frac{Q_q}{Q_{ref}}$$

onde Q<sub>p</sub> é a carga qualquer sobre o eixo (diferente da carga de referência) e Q<sub>ref</sub> é a carga de referência (135 kN para caso de ETD e 215 kN para caso de ETT).

### 7.2.2 PAVIMENTOS COM BASE GRANULAR (BGS)

Para o caso de emprego de bases granulares, permitido apenas para tráfego leve e médio, a tensão de tração na flexão máxima na placa de CCP (σ<sub>tf</sub>) será calculada de acordo com o seguinte modelo:

$$\sigma_{tf} = C_1 \cdot e^{C_2} \cdot k^{C_3}$$

cujas constantes de regressão (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub>) são apresentadas no Quadro 7.9.

Observe-se que, nesse caso, tratam-se dos modelos originalmente propostos pela *Portland Cement Association*, que não consideram portanto o empenamento térmico sofrido pelas placas de CCP; o emprego de bases granulares, em especial sobre áreas mal drenadas, poderá implicar em outros fenômenos de deterioração (ex.: saturação e bombeamento de finos) que deverão ser considerados na decisão pelo projetista, uma vez que bases granulares poderão ser desvantajosas sob este aspecto em áreas mal drenadas.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### Quadro 7.9

#### Constantes de regressão para tensões em placas sobre bases granulares

TIPO DE EIXO	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
ESRD	5.984	-1,40297	-0,18299
ETD	2.274	-1,18982	-0,25884
ETT	1.915	-1,21596	-0,25005

Note-se que, como no caso do item 7.2.1, as tensões para todos os eixos do Quadro 7.9 foram originalmente geradas tendo em conta equivalência entre cargas obtidas na *AASHO Road Test*. Para determinação das tensões referentes a eixos que não aqueles eixos simples de rodas duplas, nos demais modelos apresentados nesta diretriz, as seguintes relações deverão ser empregadas:

- O eixo tandem duplo de 135 kN e o eixo tandem triplo de 215 kN causam efeitos de tensão de tração na flexão semelhantes ao eixo padrão (ESRD) de 80 kN; as tensões causadas por tais eixos são denominadas por “tensões de referência”(σ<sub>ref</sub>);
- A tensão causada por um eixo qualquer (σ<sub>q</sub>) que não equivalente ao padrão (i.e., ESRD de 80 kN ou ETD de 135 kN ou ETT de 215 kN) é calculada, conforme o tipo de eixo, mantendo-se critério de linearidade entre tensão e carga, conforme se segue:

$$\sigma_q = \sigma_{ref} \times \frac{Q_q}{Q_{ref}}$$

sendo Q<sub>q</sub> a carga qualquer e Q<sub>ref</sub> a carga de referência (80 kN para o ESRD, 135 kN para o ETD e 215 kN para o ETT).

### 7.4 MODELO DE RUPTURA POR FADIGA PARA OS MATERIAIS

O procedimento de verificação por consumo à fadiga do concreto e de bases cimentadas, será realizado tendo-se por hipótese a regra de *Palmgreen-Miner* de dano linear e cumulativo por fratura, conforme a expressão:

$$CRF = \sum_{i=1}^n \frac{N_{p,i}}{N_{f,i}} \leq 1$$



## **IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

onde  $N_{p,i}$  = número de repetições previsto para a carga  $j$  e  $N_{f,j}$  = número de repetições admissíveis para a carga  $j$ .

Os modelos de fadiga a serem adotados para os cálculos a princípio serão aqueles indicados na Quadro 7.10, cabendo ressaltar especialmente para o modelo de fadiga do concreto que, dada sua concepção ter ocorrido em meados da década de 1960, com base em experimentos com concretos cujas condições práticas de similaridade de emprego no Brasil não seja algo categoricamente provado, é facultado ao projetista a utilização de modelos de fadiga para o concreto de cimento Portland convencional para pavimentação ou para concretos de alto desempenho, desenvolvidos no país, desde que justificado e aprovado pela fiscalização. É também facultado ao projetista o emprego de fator de correção laboratório-campo para ajuste no número de repetições de cargas permissíveis pelo modelo de fadiga empregado em cada camada do pavimento, desde que disponível com base em pesquisas genuinamente nacionais e plenamente justificado e aprovado pela fiscalização.





## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

**Quadro 7.10**

**Modelos experimentais de fadiga a serem adotados no dimensionamento**

<b>MATERIAL</b>	<b>MODELOS</b>
<p>Concreto de cimento Portland (convencional)</p>	<p>para <math>RT &gt; 0,55</math>, sendo <math>RT = \frac{\sigma}{f_{ct,f}}</math> empregar <math>\log_{10} N_f = \frac{0,9718 - RT}{0,0828}</math></p> <p>para <math>0,45 &lt; RT &lt; 0,55</math>, sendo <math>RT = \frac{\sigma}{f_{ct,f}}</math> empregar <math>N_f = \left(\frac{4,2577}{RT - 0,4325}\right)^{3,268}</math></p> <p>quando <math>RT \leq 0,45</math>, sendo <math>RT = \frac{\sigma}{f_{ct,f}}</math> empregar <math>N_f \rightarrow \infty</math></p> <p>(este modelo foi desenvolvido pela <i>Portland Cement Association</i> e trata-se do único modelo onde se considera limite para o qual não ocorreria fadiga no material)</p>
<p>Concreto compactado com rolo</p>	<p>Para consumo de cimento de <math>120 \text{ kg/m}^3</math>:</p> <p style="text-align: center;"><math>N_f = 10^{(14,911 - 15,074 \times RT)}</math></p> <p>Para consumo de cimento de <math>200 \text{ kg/m}^3</math>:</p> <p style="text-align: center;"><math>N_f = 10^{(14,310 - 13,518 \times RT)}</math></p> <p>(modelo genuinamente nacional)</p>
<p>Brita Graduada Tratada com Cimento</p>	<p style="text-align: center;"><math>N_f = 10^{(17,137 - 19,608 \times RT)}</math></p> <p>(modelo genuinamente nacional)</p>



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### 7.5 DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA PLACA DO PAVIMENTO

O dimensionamento será feito através do cálculo das tensões de tração na flexão em uma placa de concreto, sujeita às cargas previstas e também aos diferenciais térmicos indicados, levando-se em consideração inclusive a deterioração por fadiga da base em CCR ou BGTC. Observe-se que os métodos de cálculo apresentados, por serem mecanicistas, permitem a previsão da vida de fadiga de bases tratadas com cimento, o que deverá ser considerado pelo projetista no dimensionamento.

Assim, verifica-se à fadiga inicialmente a placa de concreto, sendo admitida a espessura mínima de base possível conforme o Quadro 7.3; posteriormente, definida a espessura de placa de concreto, deve-se verificar se a espessura de base cimentada deverá ser acrescida ou mantida. As espessuras de camada mínimas especificadas em projeto deverão respeitar os valores indicados nesta diretriz de projeto.

A seqüência de dimensionamento da estrutura de pavimento de concreto, empregando-se o Quadro 7.11, será realizada individualmente para cada estação climática do ano (primavera, verão, outono e inverno), seguindo-se os seguintes passos:

1. Definir os tipos de eixo e indicá-los na coluna 1;
2. Definir as cargas por tipos de eixos, que solicitarão o pavimento, e indicá-las na coluna 2;
3. Definir os horários típicos para uma distribuição dos veículos comerciais na via, indicando-os na coluna 3;
4. Indicar o número de veículos em cada horário, em termos absolutos do total de veículos diários (coluna 4);
5. Indicar o valor do diferencial térmico em cada horário estabelecido anteriormente (coluna 5);
6. Na coluna 6 indicar a quantidade de veículos esperada no horizonte de projeto para a estação climática em referência;
7. A tensão é então calculada, para cada eixo e carga, conforme as diretrizes apresentadas, considerando-se o diferencial térmico atuante, e indicada na coluna 7;



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

8. A relação entre tensões RT, indicada na coluna 8, é resultante da divisão entre a tensão calculada na coluna 7 e a resistência à tração na flexão do concreto ou do material da base, conforme o cálculo, indicada pelo projetista;
9. O número de repetições admissíveis para cada tipo de eixo, carga e condição de empenamento é calculado com base no modelo de deterioração por fadiga para o concreto ou para a base em CCR ou em BGTC, adotado pelo projetista e explicitado nesta diretriz, conforme o caso em questão, a partir do valor de RT (coluna 8), devendo ser indicado na coluna 9;
10. O valor do consumo de resistência à fadiga individual (CRFi) de cada eixo, carga e condição de empenamento é a relação percentual entre o número de repetições previstas em projeto (coluna 6) e o número de repetições permissíveis (coluna 9), conforme a hipótese de *Palmgreen-Miner*, devendo ser indicado na coluna 10
11. O valor do consumo de resistência à fadiga total (CRFt) será o somatório acumulado dos CRFi (coluna 10), sendo indicado na coluna 11;
12. A espessura da placa de concreto será considerada adequada quando o valor final do CRFt (coluna 11) for igual ou inferior a 100%, considerados os somatórios obtidos para cada estação climática;
13. A espessura da placa de concreto deverá observar as restrições de espessura mínima indicada na presente diretriz;
14. Definida a espessura da placa de concreto, respeitados os passos de 1 a 13, deverá ser verificada de maneira análoga a espessura de base inicialmente escolhida pelo projetista, quando a mesma tratar-se de base em BGTC ou em CCR. Para tanto, a planilha a ser empregada é similar àquela do Quadro 7.11. Para os cálculos, empregar-se-á a espessura definida de placa de concreto até o passo 13 anteriormente descrito;
15. A espessura de base em BGTC ou em CCR a ser empregada será aquela que resultar em consumo de resistência à fadiga não superior a 100%.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Para o caso de pavimentos de concreto simples sobre base granular, o Quadro 7.11 poderá ser empregado de modo análogo, sendo, no entanto, eliminadas as colunas 3, 4 e 5, e o cálculo da tensão sendo realizado apenas em função do eixo e da carga.

**Quadro 7.11**

**Planilha de cálculo básica (exemplo)**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<i>Tipo de Eixo</i>	<i>Carga sobre eixo (kN)</i>	<i>Horário do Dia em 24 h</i>	<i>Número de veículos esperado</i>	<i>DT (°C)</i>	<i>Qtde Período</i>	<i>Tensão de cálculo</i>	<i>RT</i>	<i>N admissível</i>	<i>CRF i (%)</i>	<i>CRF t (%)</i>	
ESRD	80										
	100										
ETD	150										
	180										
	200										



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### 8. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PARA TRÁFEGO LEVE

O procedimento simplificado para dimensionamento da estrutura do pavimento de concreto deverá ser empregado quando não se dispõe de informações precisas sobre a distribuição das cargas por eixo, o que impede o cálculo dos danos por fadiga. Esse método simplificado permite estabelecer a espessura da placa de concreto a partir de características da base. No caso de disponibilidade de dados completos, deverá ser adotado o método apresentado no item 7 dessa norma, em seus sub-itens de 7.1 a 7.5.

Este método poderá ser adotado para dimensionamento de pavimentos de concreto para vias de tráfego leve, com valor típico de  $N \leq 5 \times 10^5$ . Esta solução possui particular campo de aplicação para o caso de vias com declividades acentuadas (entre 18 e 24%).

Este procedimento simplificado refere-se unicamente aos pavimentos de concreto simples, divididos em placas limitadas por juntas que garantam a transferência de carga, dotadas de barras de transferência e barras de ligação.

#### 8.1 DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DA PLACA DO PAVIMENTO

Deverá ser prevista sobre o subleito devidamente compactado uma base de 10 cm de espessura, granular ou cimentada, executada de acordo com as respectivas Instruções de Execução da SIURB/PMSP.

O concreto empregado na placa deverá apresentar resistência à tração na flexão aos 28 dias de 4,5 MPa (característica). A espessura da placa de concreto será determinada em função do tipo de tráfego e da base, de acordo com o quadro 7.12.

#### Quadro 7.12

##### Espessuras de Placas de Concreto a serem adotadas

TRÁFEGO	BASE CIMENTADA (mm)	BASE GRANULAR (mm)
LEVE	160	180



## **IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

### **9. PRESSUPOSTOS DO DIMENSIONAMENTO**

#### **9.1 DRENAGEM**

O dimensionamento parte do pressuposto que haverá sempre uma drenagem superficial adequada e que o lençol freático será rebaixado, pelo menos, a 1,50m em relação ao greide da fundação do pavimento. Caso essa condição não seja atendida, o projetista deverá apresentar solução alternativa para submeter à aprovação da SIURB/PMSP.

#### **9.2 CONDIÇÕES DAS CAMADAS DO PAVIMENTO**

O dimensionamento pressupõe, também, que sejam inteiramente satisfeitos os requisitos de controle e recebimento das camadas subjacentes ao pavimento de concreto:

- Melhoria do subleito (reforço), sub-base e base deverão ser executadas de acordo com as Instruções de Execução e Especificações de Serviço da SIURB/PMSP;
- A camada de concreto deverá ser executada de acordo com as respectivas Instruções de Execução e Especificações de Material da SIURB/PMSP;
- As juntas longitudinais e transversais, as barras de ligação e de transferência de carga e as dimensões das placas deverão estar de acordo com o projeto do pavimento.

O dimensionamento das barras de transferência deverá atender ao preconizado no Quadro 7.13. As barras de transferência de cargas serão de aço CA-25 e deverão ter metade mais dois centímetros de seu comprimento engraxado, evitando-se, portanto, aderência ao concreto nesta zona.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### Quadro 7.13

#### Barras de Transferência

<b>ESPESSURA DA PLACA (mm)</b>	<b>DIÂMETRO DA BARRA (mm)</b>	<b>COMPRIMENTO (mm)</b>	<b>ESPAÇAMENTO (mm)</b>
< 200	20	400	300
200-250	25	460	300
>=250	32	460	300

O espaçamento das barras de ligação deve ser de 300 mm; o diâmetro será de 12,5 mm e o comprimento não poderá ser inferior a 600mm, sendo cabível, em cada caso, a análise do comprimento de ancoragem mínimo, devendo ser empregado preferencialmente aço CA-50.

### 10. ESTRUTURAS TÍPICAS DE PAVIMENTO CONCRETO

Na Figura 7.1 são apresentadas as seções transversais típicas de pavimentos de concreto.

### 11. ELEMENTOS DE PROJETO

#### 11.1 DIMENSÕES DA PLACA

O espaçamento entre as juntas transversais de retração (comprimento da placa) é função dos materiais constituintes do concreto e da ambiência. A experiência brasileira mostra que uma distância máxima de 5,5 metros entre as juntas transversais é perfeitamente adequada a nossas condições climáticas.

A observação de pavimentos de concreto mostrou também que ocorria o aparecimento de uma ou mais fissuras longitudinais toda vez que a largura da placa atingia um valor igual ou superior a 4 metros, o que leva à recomendação de uma distância de juntas longitudinais de 3,75 m, no máximo. Uma sugestão para módulo de placa é 5 m x 3,5 m, sendo que a largura da mesma poderá ser menor em função da largura da faixa de rolamento.

#### 11.2 TIPOS USUAIS DE JUNTAS

Nas Figuras 7.2 a 7.9 são apresentados os tipos usuais de juntas para pavimentos de concreto.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### 11.3 SEÇÃO TÍPICA DE PAVIMENTO DE CONCRETO URBANO

A Figura 7.10 ilustra a seção transversal típica de pavimento de concreto para faixa exclusiva de tráfego de ônibus urbano.

### 11.4 PLACAS COM DIMENSÕES IRREGULARES

As placas irregulares (não retangulares) deverão ser providas de armadura longitudinal e transversal de retração, de acordo com o critério apresentado a seguir. A área de aço por comprimento da seção considerada é definida pela expressão:

$$A_s = \frac{f \times L \times e \times \gamma_c}{200 \times S}$$

onde  $A_s$  é a área de aço por comprimento de seção transversal requerida (em  $\text{cm}^2/\text{m}$ ),  $f$  é o coeficiente de atrito entre a placa de concreto e a base do pavimento assumido como 1,5,  $L$  é a distância entre as juntas transversais (ou longitudinais) em metro,  $e$  é a espessura da placa de concreto (m),  $\gamma_c$  é a massa específica do concreto (adotada  $24 \text{ kN/m}^3$ ) e  $S$  é o valor de  $2/3$  da resistência do aço.

O cobrimento da armadura deverá ser de, no mínimo, 50 mm a partir da superfície da placa de concreto, e a distância a partir da junta será de 50 mm.

### 11.5 TRANSIÇÃO ENTRE PLACAS DE CONCRETO E PAVIMENTO FLEXÍVEL

Em todos os locais que o projeto definir existência de transição entre o pavimento de concreto e pavimento asfáltico, o projetista deverá estudar, justificar e detalhar a solução quanto à laje de transição, tendo em vista, especialmente, evitar a ocorrência de pontos de concentração de tensões nas estruturas de pavimento que venham a possibilitar o surgimento de fissuras. Um exemplo desta transição está ilustrado na figura 7.5.





## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### 12. EXEMPLO DE PROJETO GEOMÉTRICO

Um exemplo de projeto geométrico é apresentado na Figura 7.11.

Devem ser evitadas placas com vértices agudos; permite-se ângulo agudo mínimo de 90°. Ângulos inferiores a esse valor poderão provocar quebras nos cantos das placas. O comprimento de bordo mínimo a ser adotado deverá ser de 500 mm.

### 13. EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO DE CONCRETO

Uma faixa exclusiva de ônibus, com 650 ônibus por sentido (média diária anual), para um período de projeto de 20 anos. Os eixos traseiros são 100% ESRD, sendo distribuídos com os seguintes carregamentos médios: 30% com 70 kN e 70% com 100 kN. A distribuição diurna dos ônibus na faixa de tráfego, ao longo de diferentes horários do dia, se faz da seguinte forma:

<b>HORÁRIOS</b>	<b>FREQÜÊNCIA DO TRÁFEGO DIÁRIO (%)</b>
<b>0h - 1h</b>	1,75
<b>1h - 2h</b>	1,75
<b>2h - 3h</b>	1,75
<b>3h - 4h</b>	1,75
<b>4h - 5h</b>	1,75
<b>5h - 6h</b>	1,75
<b>6h - 7h</b>	6,00
<b>7h - 8h</b>	12,00
<b>8h - 9h</b>	12,00
<b>9h - 10h</b>	6,00
<b>10h - 11h</b>	1,75
<b>11h - 12h</b>	1,75
<b>12h - 13h</b>	1,75
<b>13h - 14h</b>	1,75
<b>14h - 15h</b>	1,75
<b>15h - 16h</b>	1,75
<b>16h - 17h</b>	6,00
<b>17h - 18h</b>	12,00
<b>18h - 19h</b>	12,00
<b>19h - 20h</b>	6,00
<b>20h - 21h</b>	1,75
<b>21h - 22h</b>	1,75
<b>22h - 23h</b>	1,75
<b>23h - 24h</b>	1,75

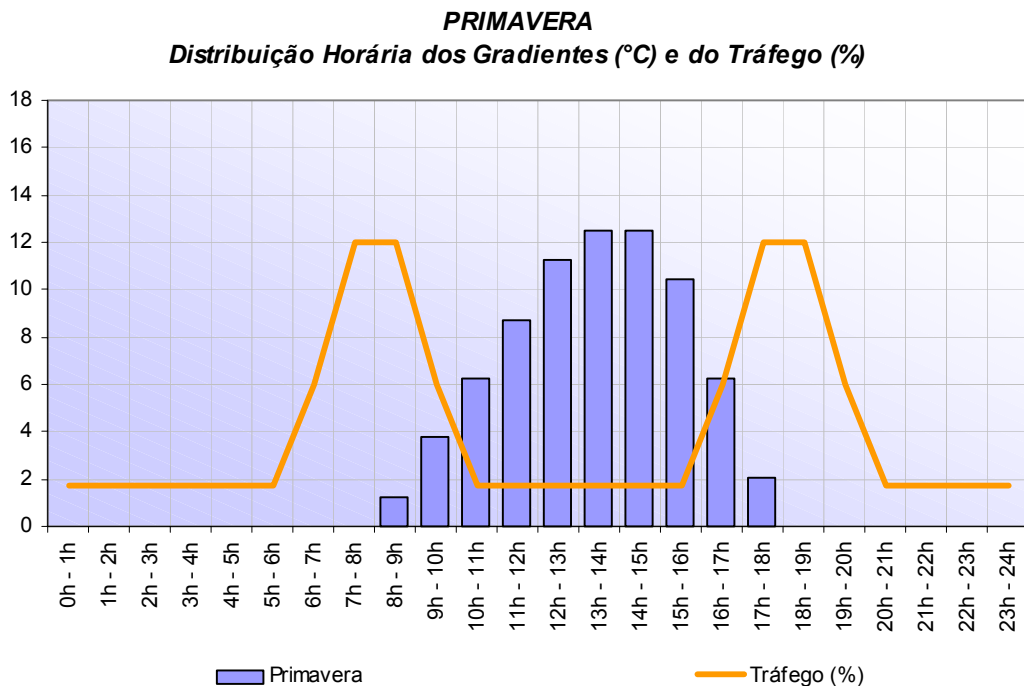


## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

A resistência característica do CCP deverá ser de 5,2 MPa, sendo o módulo de reação do subleito de 80 MPa/m, o módulo de elasticidade do CCP de 28.000 MPa e o módulo de elasticidade de base de CCR com 24.000 MPa. Os modelos de fadiga a serem empregados para o CCP e o CCR são aqueles indicados no Quadro 7.10. Dimensione o pavimento de concreto, verificando à fadiga ambas as camadas de CCP e de CCR, considerando a hipótese de *Palmgreen-Miner* sobre dano linear.

### Solução

Nas figuras apresentadas na seqüência foram lançados os dados, hora a hora, de diferenciais térmicos e de freqüência horária dos ônibus, para cada estação do ano, quando se torna possível verificar graficamente as variações sazonais ao longo das quatro estações climáticas em São Paulo. Tais gráficos e respectivos valores foram encontrados empregando-se o Quadro 7.4 cheio, isto é, inclusive os diferenciais máximos sugeridos.

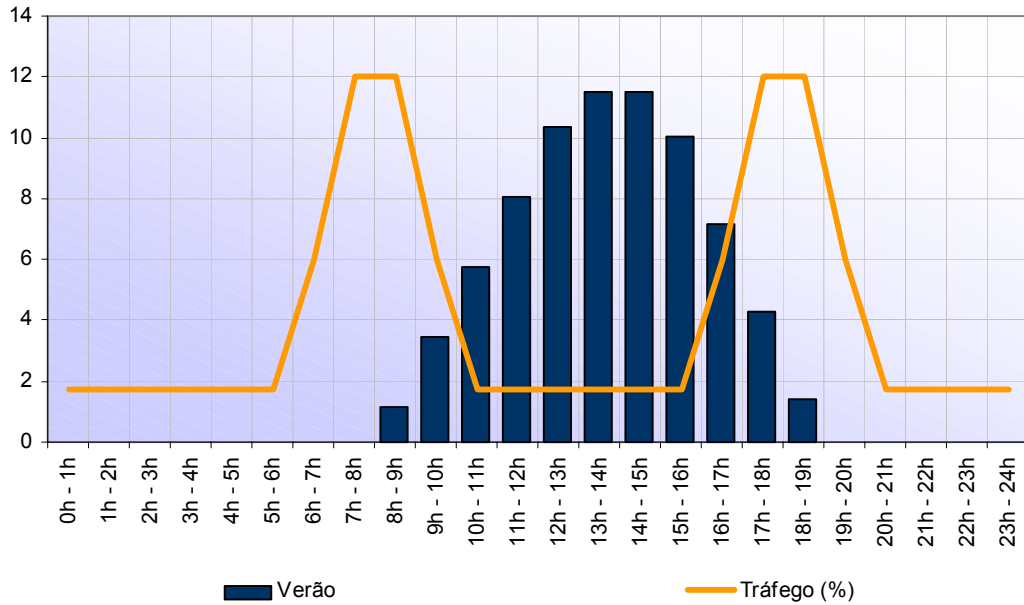




## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

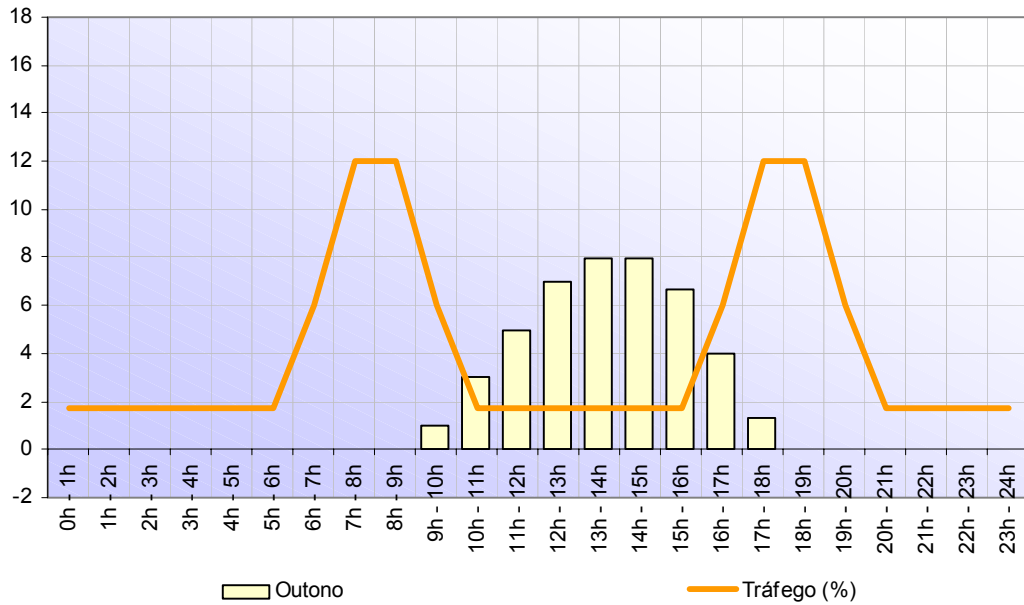
### VERÃO

Distribuição Horária dos Gradientes (°C) e do Tráfego (%)



### OUTONO

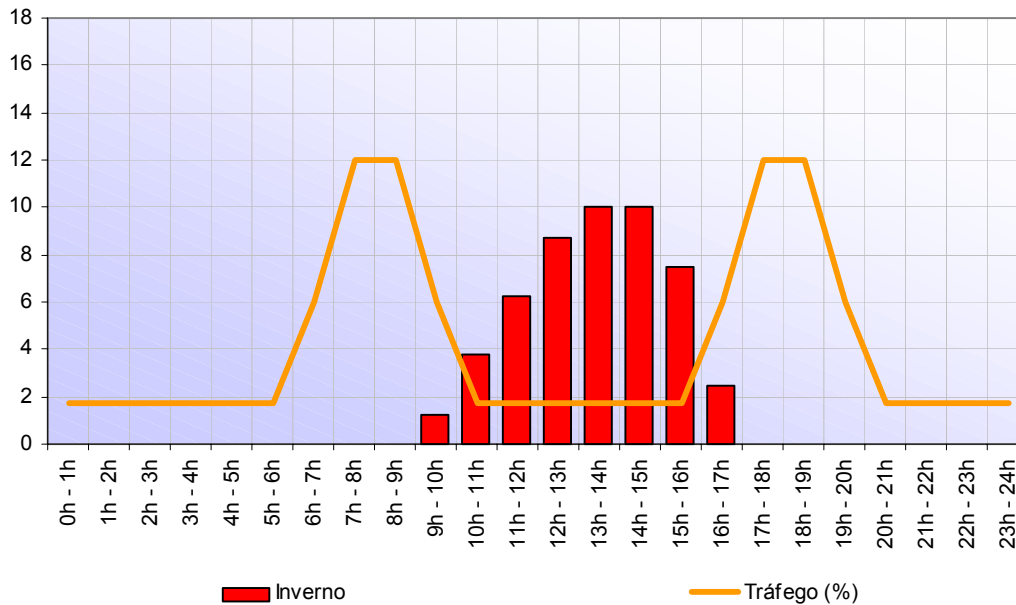
Distribuição Horária dos Gradientes (°C) e do Tráfego (%)





## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

**INVERNO**  
**Distribuição Horária dos Gradientes (°C) e do Tráfego (%)**



Empregando-se a seqüência de cálculo indicada no item 7.5 (Quadro 7.11), chega-se aos seguintes resultados, conforme se extrai das tabelas de dimensionamento preenchidas na seqüência:

1. *Tabela Resumo CCP*: Neste caso, foram verificadas as tensões e o consumo de resistência à fadiga na placa de concreto de cimento Portland, chegando-se a tal solução (CRF acumulado foi de 95%) para espessura de CCP de 240 mm e espessura de base em CCR de 170 mm.
2. *Tabela Resumo CCR*: Após verificado à fadiga o CCP da placa, a espessura da base em CCR é verificada, a partir dos 170 mm encontrados na verificação da placa como espessura mínima de CCR. A verificação de tal espessura resulta em CRF = 0, solução final possível para o dimensionamento.

Com base em tais resultados, as espessuras finais do pavimento serão conforme resultados da Tabela A: CCP = 240 mm e CCR = 170 mm.



## **IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO**

Nas duas tabelas abaixo são apresentados os resumos de cálculo de consumo da resistência à fadiga, cujos valores acumulados foram extraídos pelo somatório dos CRF individuais constantes de cada uma das tabelas completas (apresentadas adiante), para cada estação climática em São Paulo.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA PLACA - RESUMO

Eixo	Carga	Primavera			Verão			Outono			Inverno		
		Qtde Período	CRF acum	1%	Qtde Período	CRF acum	0%	Qtde Período	CRF acum	0%	Qtde Período	CRF acum	0%
ESRD	70	355.875	1%		355.875	0%	355.875	0%	355.875	0%	355.875	0%	
	100	830.375	59%		830.375	29%	830.375	0%	830.375	0%	830.375	6%	
Total		1.186.250	60%		1.186.250	29%	1.186.250	0%	1.186.250	0%	1.186.250	6%	

<b>Tráfego Total no Período</b>	4.745.000
<b>Consumo Total à Fadiga</b>	95%

### VERIFICAÇÃO DA BASE - RESUMO

Eixo	Carga	Primavera			Verão			Outono			Inverno		
		Qtde Período	CRF acum	0%	Qtde Período	CRF acum	0%	Qtde Período	CRF acum	0%	Qtde Período	CRF acum	0%
ESRD	70	355.875	0%		355.875	0%	355.875	0%	355.875	0%	355.875	0%	
	100	830.375	0%		830.375	0%	830.375	0%	830.375	0%	830.375	0%	
Total		1.186.250	0%		1.186.250	0%	1.186.250	0%	1.186.250	0%	1.186.250	0%	

<b>Tráfego Total no Período</b>	4.745.000
<b>Consumo Total à Fadiga</b>	0%



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA PLACA - PRIMAVERA

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	DT (°C)	Qtde Período	$\sigma$ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		8h - 9h	23	1,25	42.705	1,0608	0,2040	1,00E+100	0%
		9h - 10h	12	3,75	21.353	1,3966	0,2686	1,00E+100	0%
		10h - 11h	3	6,25	6.228	1,7325	0,3332	1,00E+100	0%
		11h - 12h	3	8,75	6.228	2,0684	0,3978	1,00E+100	0%
		12h - 13h	3	11,25	6.228	2,4042	0,4624	1,10E+07	0%
		13h - 14h	3	12,50	6.228	2,5722	0,4946	9,98E+05	1%
		14h - 15h	3	12,50	6.228	2,5722	0,4946	9,98E+05	1%
		15h - 16h	3	10,42	6.228	2,2923	0,4408	1,00E+100	0%
		16h - 17h	12	6,25	21.353	1,7325	0,3332	1,00E+100	0%
		17h - 18h	23	2,08	42.705	1,1727	0,2255	1,00E+100	0%
		18h - 19h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		8h - 9h	55	1,25	99.645	1,4701	0,2827	1,00E+100	0%
		9h - 10h	27	3,75	49.823	1,8059	0,3473	1,00E+100	0%
		10h - 11h	8	6,25	14.532	2,1418	0,4119	1,00E+100	0%
		11h - 12h	8	8,75	14.532	2,4777	0,4765	3,09E+06	0%
		12h - 13h	8	11,25	14.532	2,8135	0,5411	1,61E+05	9%
		13h - 14h	8	12,50	14.532	2,9815	0,5734	6,49E+04	22%
		14h - 15h	8	12,50	14.532	2,9815	0,5734	6,49E+04	22%
		15h - 16h	8	10,42	14.532	2,7016	0,5195	3,32E+05	4%
		16h - 17h	27	6,25	49.823	2,1418	0,4119	1,00E+100	0%
		17h - 18h	55	2,08	99.645	1,5820	0,3042	1,00E+100	0%
		18h - 19h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA PLACA - VERÃO

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	ΔT (°C)	Qtde Período	σ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		8h - 9h	23	1,15	42.705	1,0473	0,2014	1,00E+100	0%
		9h - 10h	12	3,45	21.353	1,3563	0,2608	1,00E+100	0%
		10h - 11h	3	5,75	6.228	1,6653	0,3203	1,00E+100	0%
		11h - 12h	3	8,05	6.228	1,9743	0,3797	1,00E+100	0%
		12h - 13h	3	10,35	6.228	2,2833	0,4391	1,00E+100	0%
		13h - 14h	3	11,50	6.228	2,4378	0,4688	5,78E+06	0%
		14h - 15h	3	11,50	6.228	2,4378	0,4688	5,78E+06	0%
		15h - 16h	3	10,06	6.228	2,2447	0,4317	1,00E+100	0%
		16h - 17h	12	7,19	21.353	1,8584	0,3574	1,00E+100	0%
		17h - 18h	23	4,31	42.705	1,4722	0,2831	1,00E+100	0%
		18h - 19h	23	1,44	42.705	1,0860	0,2088	1,00E+100	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		8h - 9h	55	1,15	99.645	1,4566	0,2801	1,00E+100	0%
		9h - 10h	27	3,45	49.823	1,7656	0,3395	1,00E+100	0%
		10h - 11h	8	5,75	14.532	2,0746	0,3990	1,00E+100	0%
		11h - 12h	8	8,05	14.532	2,3836	0,4584	1,75E+07	0%
		12h - 13h	8	10,35	14.532	2,6926	0,5178	3,54E+05	4%
		13h - 14h	8	11,50	14.532	2,8471	0,5475	1,34E+05	11%
		14h - 15h	8	11,50	14.532	2,8471	0,5475	1,34E+05	11%
		15h - 16h	8	10,06	14.532	2,6540	0,5104	4,77E+05	3%
		16h - 17h	27	7,19	49.823	2,2678	0,4361	1,00E+100	0%
		17h - 18h	55	4,31	99.645	1,8815	0,3618	1,00E+100	0%
		18h - 19h	55	1,44	99.645	1,4953	0,2876	1,00E+100	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				





## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA PLACA - OUTONO

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	DT (°C)	Qtde Período	$\sigma$ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		8h - 9h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		9h - 10h	12	1,00	21.353	1,0272	0,1975	1,00E+100	0%
		10h - 11h	3	3,00	6.228	1,2959	0,2492	1,00E+100	0%
		11h - 12h	3	5,00	6.228	1,5646	0,3009	1,00E+100	0%
		12h - 13h	3	7,00	6.228	1,8333	0,3525	1,00E+100	0%
		13h - 14h	3	8,00	6.228	1,9676	0,3784	1,00E+100	0%
		14h - 15h	3	8,00	6.228	1,9676	0,3784	1,00E+100	0%
		15h - 16h	3	6,67	6.228	1,7885	0,3439	1,00E+100	0%
		16h - 17h	12	4,00	21.353	1,4302	0,2750	1,00E+100	0%
		17h - 18h	23	1,33	42.705	1,0719	0,2061	1,00E+100	0%
		18h - 19h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		8h - 9h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		9h - 10h	27	1,00	49.823	1,4365	0,2762	1,00E+100	0%
		10h - 11h	8	3,00	14.532	1,7052	0,3279	1,00E+100	0%
		11h - 12h	8	5,00	14.532	1,9739	0,3796	1,00E+100	0%
		12h - 13h	8	7,00	14.532	2,2426	0,4313	1,00E+100	0%
		13h - 14h	8	8,00	14.532	2,3769	0,4571	2,06E+07	0%
		14h - 15h	8	8,00	14.532	2,3769	0,4571	2,06E+07	0%
		15h - 16h	8	6,67	14.532	2,1978	0,4226	1,00E+100	0%
		16h - 17h	27	4,00	49.823	1,8395	0,3537	1,00E+100	0%
		17h - 18h	55	1,33	99.645	1,4812	0,2848	1,00E+100	0%
		18h - 19h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA PLACA - INVERNO

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	DT (°C)	Qtde Período	$\sigma$ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		8h - 9h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		9h - 10h	12	1,25	21.353	1,0608	0,2040	1,00E+100	0%
		10h - 11h	3	3,75	6.228	1,3966	0,2686	1,00E+100	0%
		11h - 12h	3	6,25	6.228	1,7325	0,3332	1,00E+100	0%
		12h - 13h	3	8,75	6.228	2,0684	0,3978	1,00E+100	0%
		13h - 14h	3	10,00	6.228	2,2363	0,4301	1,00E+100	0%
		14h - 15h	3	10,00	6.228	2,2363	0,4301	1,00E+100	0%
		15h - 16h	3	7,50	6.228	1,9004	0,3655	1,00E+100	0%
		16h - 17h	12	2,50	21.353	1,2287	0,2363	1,00E+100	0%
		17h - 18h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		18h - 19h	23	0,00	42.705	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,8928	0,1717	1,00E+100	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		8h - 9h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		9h - 10h	27	1,25	49.823	1,4701	0,2827	1,00E+100	0%
		10h - 11h	8	3,75	14.532	1,8059	0,3473	1,00E+100	0%
		11h - 12h	8	6,25	14.532	2,1418	0,4119	1,00E+100	0%
		12h - 13h	8	8,75	14.532	2,4777	0,4765	3,09E+06	0%
		13h - 14h	8	10,00	14.532	2,6456	0,5088	5,11E+05	3%
		14h - 15h	8	10,00	14.532	2,6456	0,5088	5,11E+05	3%
		15h - 16h	8	7,50	14.532	2,3097	0,4442	1,00E+100	0%
		16h - 17h	27	2,50	49.823	1,6380	0,3150	1,00E+100	0%
		17h - 18h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		18h - 19h	55	0,00	99.645	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	1,3021	0,2504	1,00E+100	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA BASE - PRIMAVERA

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	DT (°C)	Qtde Período	$\sigma$ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		8h - 9h	23	1,25	42.705	0,3531	0,1605	1,4E+12	0%
		9h - 10h	12	3,75	21.353	0,4573	0,2079	3,2E+11	0%
		10h - 11h	3	6,25	6.228	0,5615	0,2552	7,2E+10	0%
		11h - 12h	3	8,75	6.228	0,6657	0,3026	1,7E+10	0%
		12h - 13h	3	11,25	6.228	0,7699	0,3500	3,8E+09	0%
		13h - 14h	3	12,50	6.228	0,8220	0,3736	1,8E+09	0%
		14h - 15h	3	12,50	6.228	0,8220	0,3736	1,8E+09	0%
		15h - 16h	3	10,42	6.228	0,7352	0,3342	6,2E+09	0%
		16h - 17h	12	6,25	21.353	0,5615	0,2552	7,2E+10	0%
		17h - 18h	23	2,08	42.705	0,3878	0,1763	8,5E+11	0%
		18h - 19h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		8h - 9h	55	1,25	99.645	0,4559	0,2072	3,2E+11	0%
		9h - 10h	27	3,75	49.823	0,5601	0,2546	7,4E+10	0%
		10h - 11h	8	6,25	14.532	0,6643	0,3019	1,7E+10	0%
		11h - 12h	8	8,75	14.532	0,7685	0,3493	3,9E+09	0%
		12h - 13h	8	11,25	14.532	0,8727	0,3967	8,9E+08	0%
		13h - 14h	8	12,50	14.532	0,9248	0,4203	4,2E+08	0%
		14h - 15h	8	12,50	14.532	0,9248	0,4203	4,2E+08	0%
		15h - 16h	8	10,42	14.532	0,8379	0,3809	1,4E+09	0%
		16h - 17h	27	6,25	49.823	0,6643	0,3019	1,7E+10	0%
		17h - 18h	55	2,08	99.645	0,4906	0,2230	2,0E+11	0%
		18h - 19h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA BASE - VERÃO

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	DT (°C)	Qtde Período	$\sigma$ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		8h - 9h	23	1,15	42.705	0,3489	0,1586	1,5E+12	0%
		9h - 10h	12	3,45	21.353	0,4448	0,2022	3,8E+11	0%
		10h - 11h	3	5,75	6.228	0,5407	0,2458	9,7E+10	0%
		11h - 12h	3	8,05	6.228	0,6365	0,2893	2,5E+10	0%
		12h - 13h	3	10,35	6.228	0,7324	0,3329	6,5E+09	0%
		13h - 14h	3	11,50	6.228	0,7803	0,3547	3,3E+09	0%
		14h - 15h	3	11,50	6.228	0,7803	0,3547	3,3E+09	0%
		15h - 16h	3	10,06	6.228	0,7204	0,3275	7,6E+09	0%
		16h - 17h	12	7,19	21.353	0,6006	0,2730	4,2E+10	0%
		17h - 18h	23	4,31	42.705	0,4807	0,2185	2,3E+11	0%
		18h - 19h	23	1,44	42.705	0,3609	0,1640	1,2E+12	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		8h - 9h	55	1,15	99.645	0,4517	0,2053	3,4E+11	0%
		9h - 10h	27	3,45	49.823	0,5476	0,2489	8,8E+10	0%
		10h - 11h	8	5,75	14.532	0,6434	0,2925	2,3E+10	0%
		11h - 12h	8	8,05	14.532	0,7393	0,3360	5,9E+09	0%
		12h - 13h	8	10,35	14.532	0,8352	0,3796	1,5E+09	0%
		13h - 14h	8	11,50	14.532	0,8831	0,4014	7,7E+08	0%
		14h - 15h	8	11,50	14.532	0,8831	0,4014	7,7E+08	0%
		15h - 16h	8	10,06	14.532	0,8232	0,3742	1,8E+09	0%
		16h - 17h	27	7,19	49.823	0,7033	0,3197	9,7E+09	0%
		17h - 18h	55	4,31	99.645	0,5835	0,2652	5,3E+10	0%
		18h - 19h	55	1,44	99.645	0,4637	0,2108	2,9E+11	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA BASE - OUTONO

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	DT (°C)	Qtde Período	$\sigma$ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		8h - 9h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		9h - 10h	12	1,00	21.353	0,3427	0,1558	1,6E+12	0%
		10h - 11h	3	3,00	6.228	0,4260	0,1937	4,9E+11	0%
		11h - 12h	3	5,00	6.228	0,5094	0,2315	1,5E+11	0%
		12h - 13h	3	7,00	6.228	0,5928	0,2694	4,7E+10	0%
		13h - 14h	3	8,00	6.228	0,6344	0,2884	2,6E+10	0%
		14h - 15h	3	8,00	6.228	0,6344	0,2884	2,6E+10	0%
		15h - 16h	3	6,67	6.228	0,5789	0,2631	5,7E+10	0%
		16h - 17h	12	4,00	21.353	0,4677	0,2126	2,7E+11	0%
		17h - 18h	23	1,33	42.705	0,3565	0,1621	1,3E+12	0%
		18h - 19h	23	0,00	42.705	0,3010	0,1368	2,9E+12	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		8h - 9h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		9h - 10h	27	1,00	49.823	0,4454	0,2025	3,7E+11	0%
		10h - 11h	8	3,00	14.532	0,5288	0,2404	1,2E+11	0%
		11h - 12h	8	5,00	14.532	0,6122	0,2783	3,5E+10	0%
		12h - 13h	8	7,00	14.532	0,6955	0,3161	1,1E+10	0%
		13h - 14h	8	8,00	14.532	0,7372	0,3351	6,0E+09	0%
		14h - 15h	8	8,00	14.532	0,7372	0,3351	6,0E+09	0%
		15h - 16h	8	6,67	14.532	0,6816	0,3098	1,3E+10	0%
		16h - 17h	27	4,00	49.823	0,5705	0,2593	6,4E+10	0%
		17h - 18h	55	1,33	99.645	0,4593	0,2088	3,1E+11	0%
		18h - 19h	55	0,00	99.645	0,4037	0,1835	6,7E+11	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				



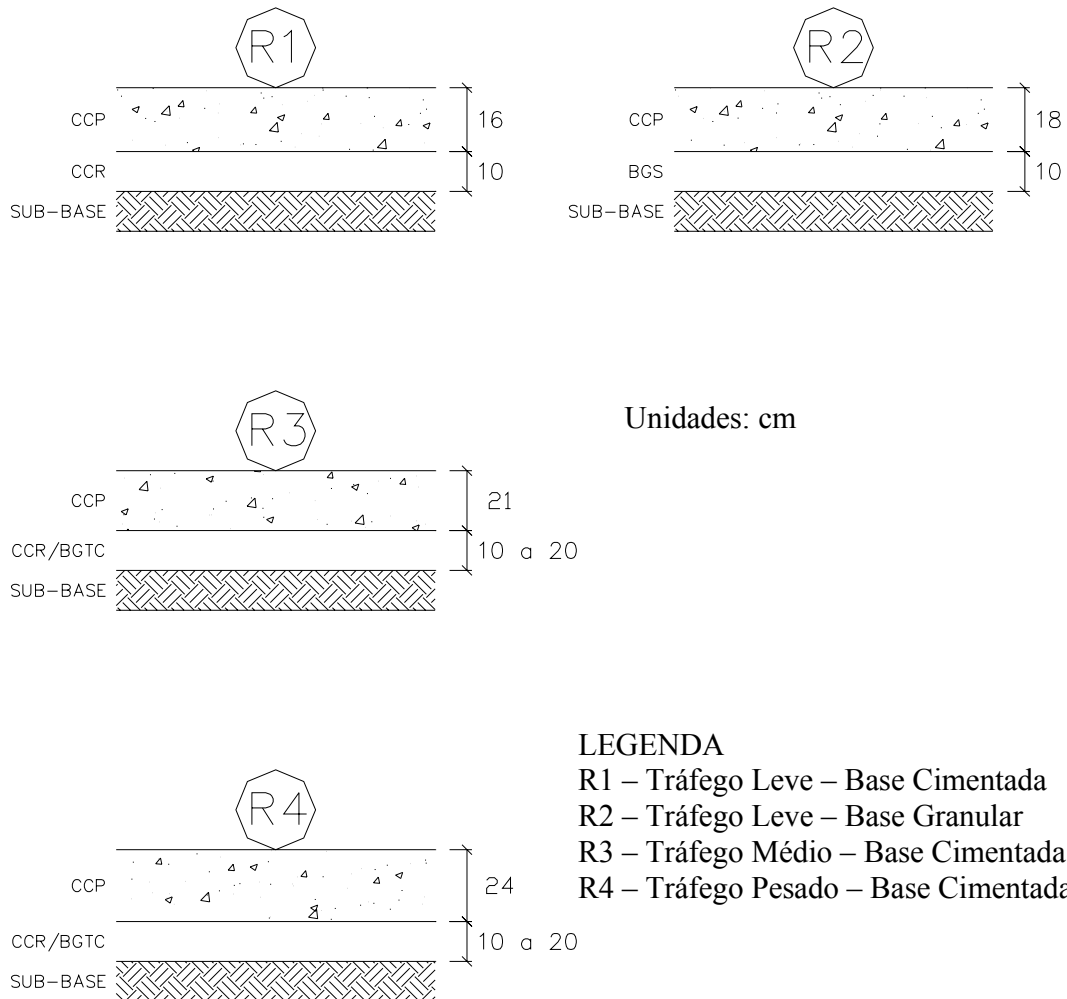
## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### VERIFICAÇÃO DA BASE - INVERNO

EIXO	CARGA	Horário	Véículos	DT (°C)	Qtde Período	$\sigma$ (MPa)	RT	Nadm	CRF
<b>ESRD</b>	<b>70</b>	0h - 1h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		1h - 2h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		2h - 3h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		3h - 4h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		4h - 5h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		5h - 6h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		6h - 7h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		7h - 8h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		8h - 9h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		9h - 10h	12	1,25	21.353	0,3531	0,1605	1,4E+12	0%
		10h - 11h	3	3,75	6.228	0,4573	0,2079	3,2E+11	0%
		11h - 12h	3	6,25	6.228	0,5615	0,2552	7,2E+10	0%
		12h - 13h	3	8,75	6.228	0,6657	0,3026	1,7E+10	0%
		13h - 14h	3	10,00	6.228	0,7178	0,3263	7,9E+09	0%
		14h - 15h	3	10,00	6.228	0,7178	0,3263	7,9E+09	0%
		15h - 16h	3	7,50	6.228	0,6136	0,2789	3,5E+10	0%
		16h - 17h	12	2,50	21.353	0,4052	0,1842	6,6E+11	0%
		17h - 18h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		18h - 19h	23	0,00	42.705	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		19h - 20h	12	0,00	21.353	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		20h - 21h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		21h - 22h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		22h - 23h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
		23h - 24h	3	0,00	6.228	0,4879	0,2218	2,1E+11	0%
			<b>195</b>		<b>355.875</b>				
<b>ESRD</b>	<b>100</b>	0h - 1h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		1h - 2h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		2h - 3h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		3h - 4h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		4h - 5h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		5h - 6h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		6h - 7h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		7h - 8h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		8h - 9h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		9h - 10h	27	1,25	49.823	0,4559	0,2072	3,2E+11	0%
		10h - 11h	8	3,75	14.532	0,5601	0,2546	7,4E+10	0%
		11h - 12h	8	6,25	14.532	0,6643	0,3019	1,7E+10	0%
		12h - 13h	8	8,75	14.532	0,7685	0,3493	3,9E+09	0%
		13h - 14h	8	10,00	14.532	0,8206	0,3730	1,9E+09	0%
		14h - 15h	8	10,00	14.532	0,8206	0,3730	1,9E+09	0%
		15h - 16h	8	7,50	14.532	0,7164	0,3256	8,1E+09	0%
		16h - 17h	27	2,50	49.823	0,5080	0,2309	1,5E+11	0%
		17h - 18h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		18h - 19h	55	0,00	99.645	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		19h - 20h	27	0,00	49.823	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		20h - 21h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		21h - 22h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		22h - 23h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
		23h - 24h	8	0,00	14.532	0,6520	0,2964	2,0E+10	0%
			<b>455</b>		<b>830.375</b>				



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



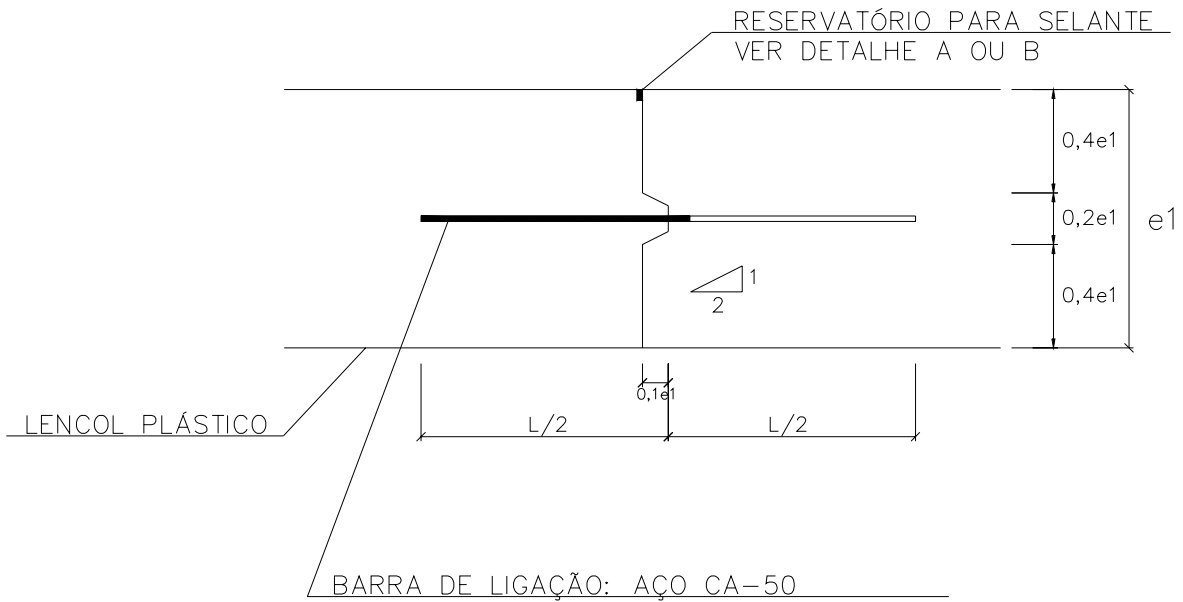
Nota:

1 – Cada caso real deve ser estudado particularmente.

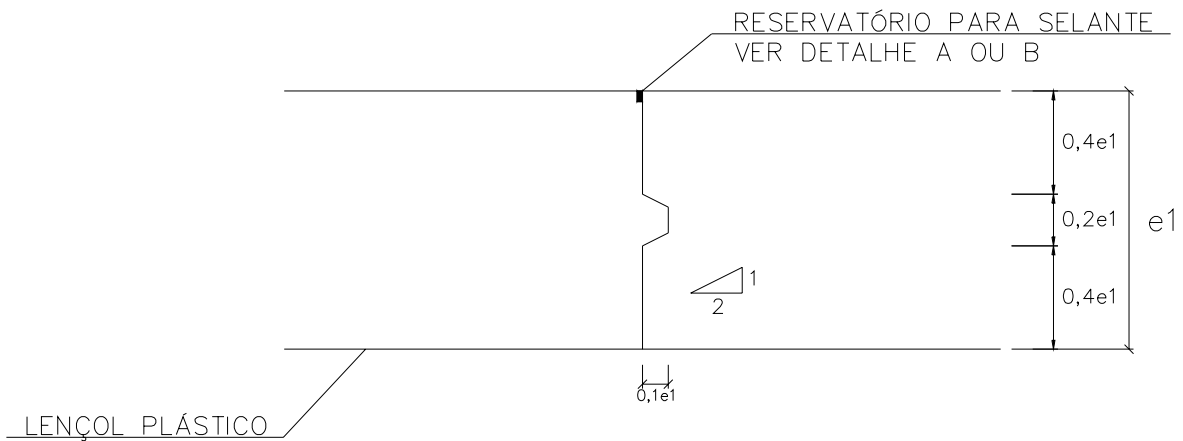
Figura 7.1  
Seções transversais típicas de pavimentos rígidos.



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



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



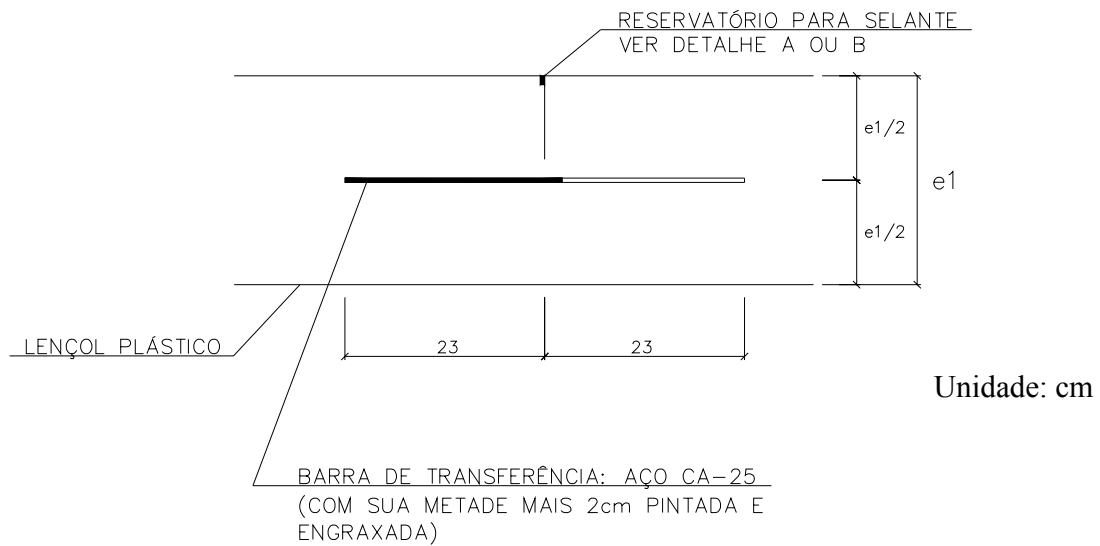
JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUÇÃO, DE ENCAIXE, TIPO MACHO-E-FÊMEA.

Figura 7.2  
Tipo usual de juntas para pavimentos de concreto simples

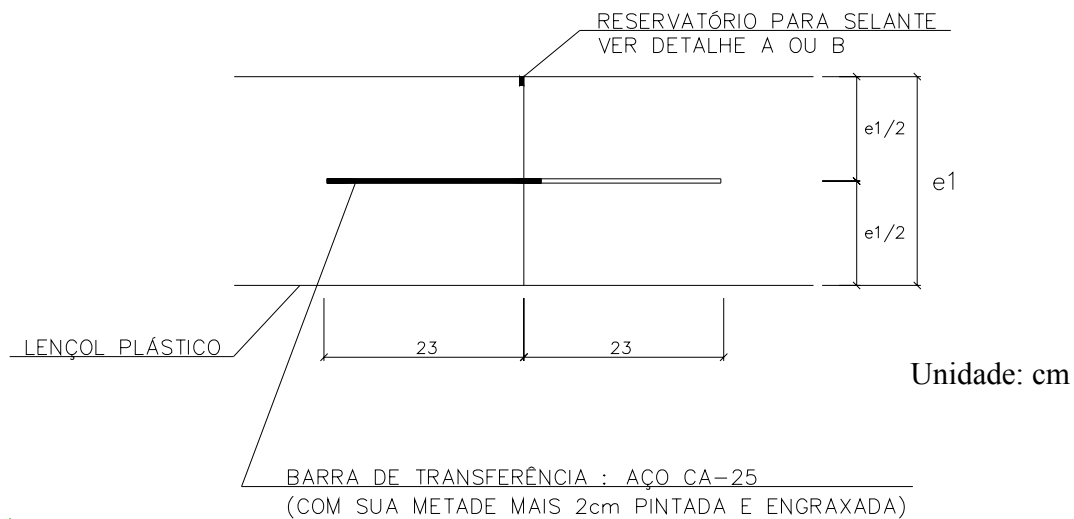




## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



JUNTA TRANSVERSAL DE RETRAÇÃO, SERRADA, COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA.

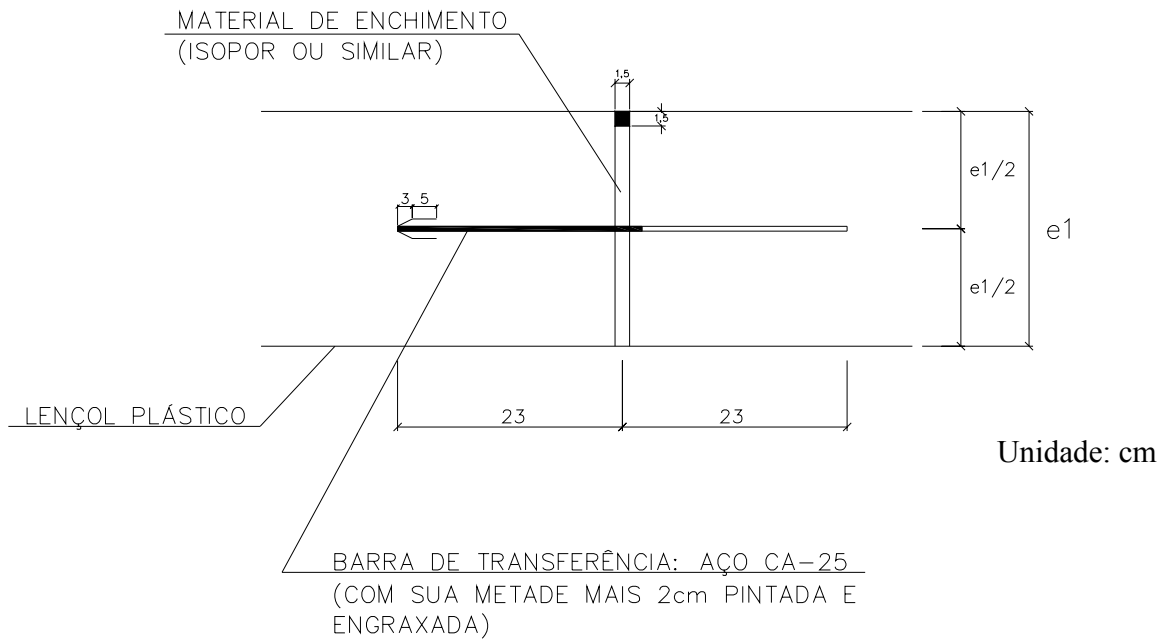


JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUÇÃO PLANEJADA OU FIM DE JORNADA.

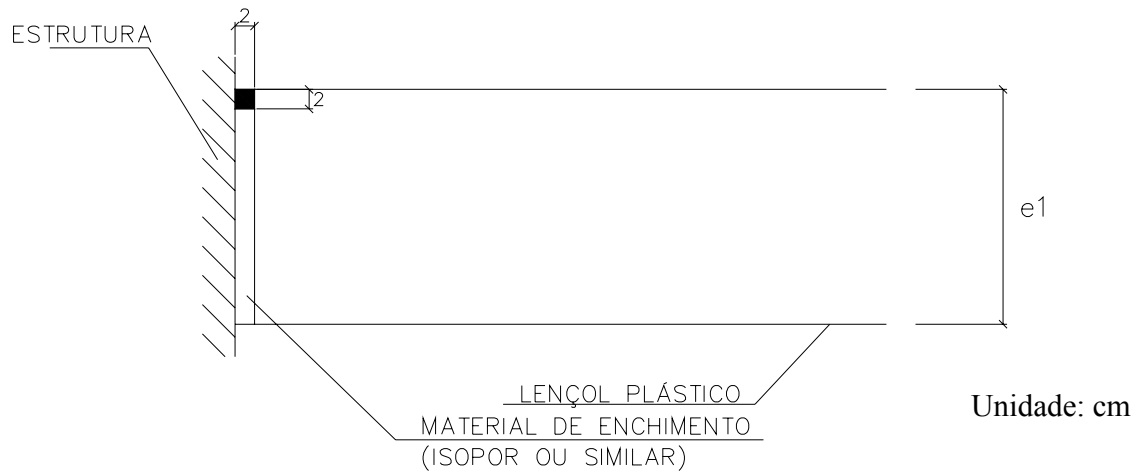
Figura 7.3  
Tipo usual de juntas para pavimentos de concreto simples



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



JUNTA TRANSVERSAL DE EXPANSÃO, COM BARRAS DE TRANSFERÊNCIA E CAPUZ.

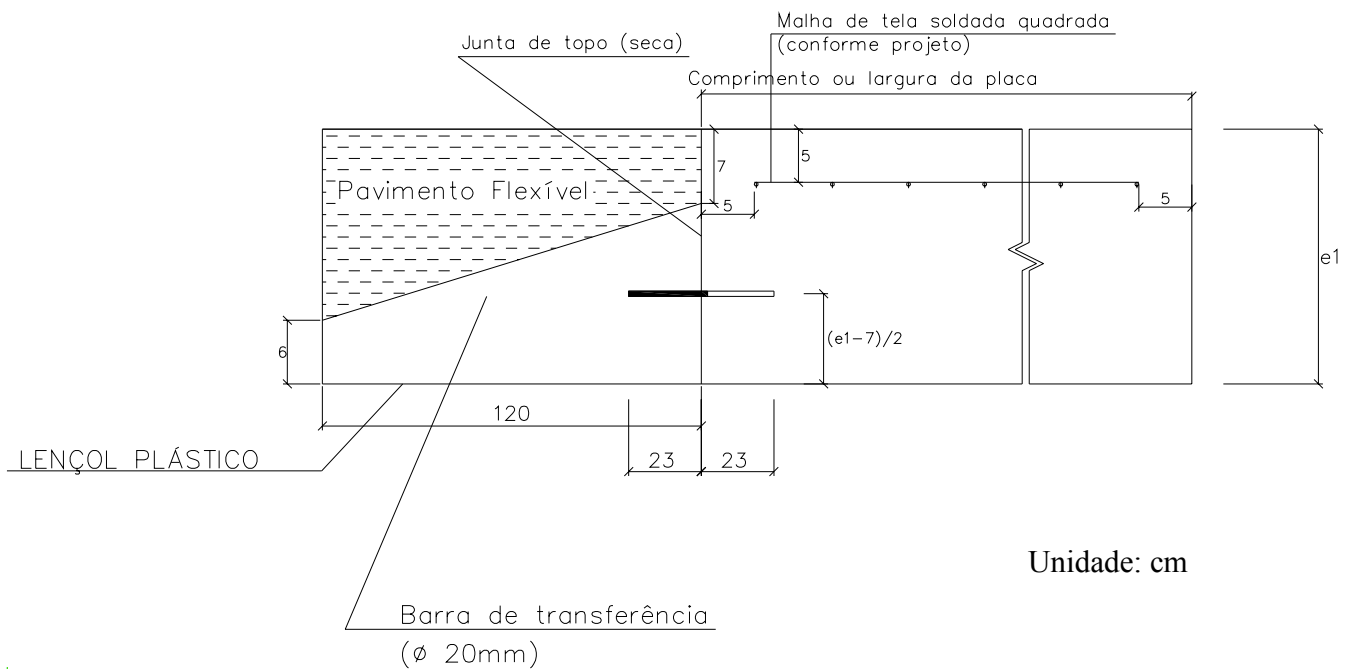


JUNTA DE EXPANSÃO NOS ENCONTROS DO PAVIMENTO COM OUTRO TIPO DE ESTRUTURA (BOCA-DE-LOBO, PV, ETC)

Figura 7.4  
Tipo usual de juntas para pavimentos de concreto simples



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



Junta transversal de construção – transição entre os pavimentos rígido e flexível.

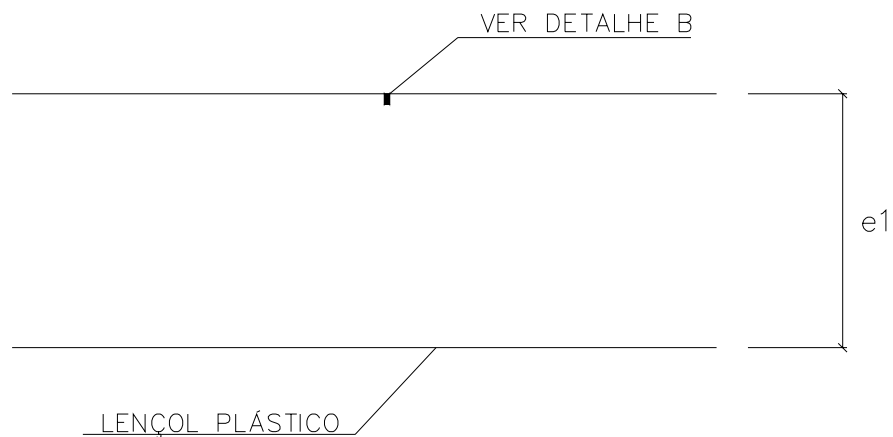
Obs:

- 1 – A camada de sub-base de concreto rolado deverá se estender sob o “dente” de transição.
- 2 – O “dente” deverá ser executado posteriormente à execução do pavimento da pista

Figura 7.5  
Tipo usual de juntas para pavimentos de concreto simples



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



JUNTA TRANSVERSAL DE RETRAÇÃO, MOLDADA, PARA PAVIMENTO TIPO "CALÇADÃO"

Obs: A moldagem das junta é feita pela inserção de perfil metálico ou plástico rígido no concreto fresco recém-acabado; o perfil deverá ser retirado logo que o concreto tiver consistência tal que as bordas das juntas não sejam alçadas, devendo ser arredondadas com desempenadeira de aba curva, logo após a retirada do perfil.

Figura 7.6

Tipo usual de junta para pavimento de concreto simples, tipo "calçadão".



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

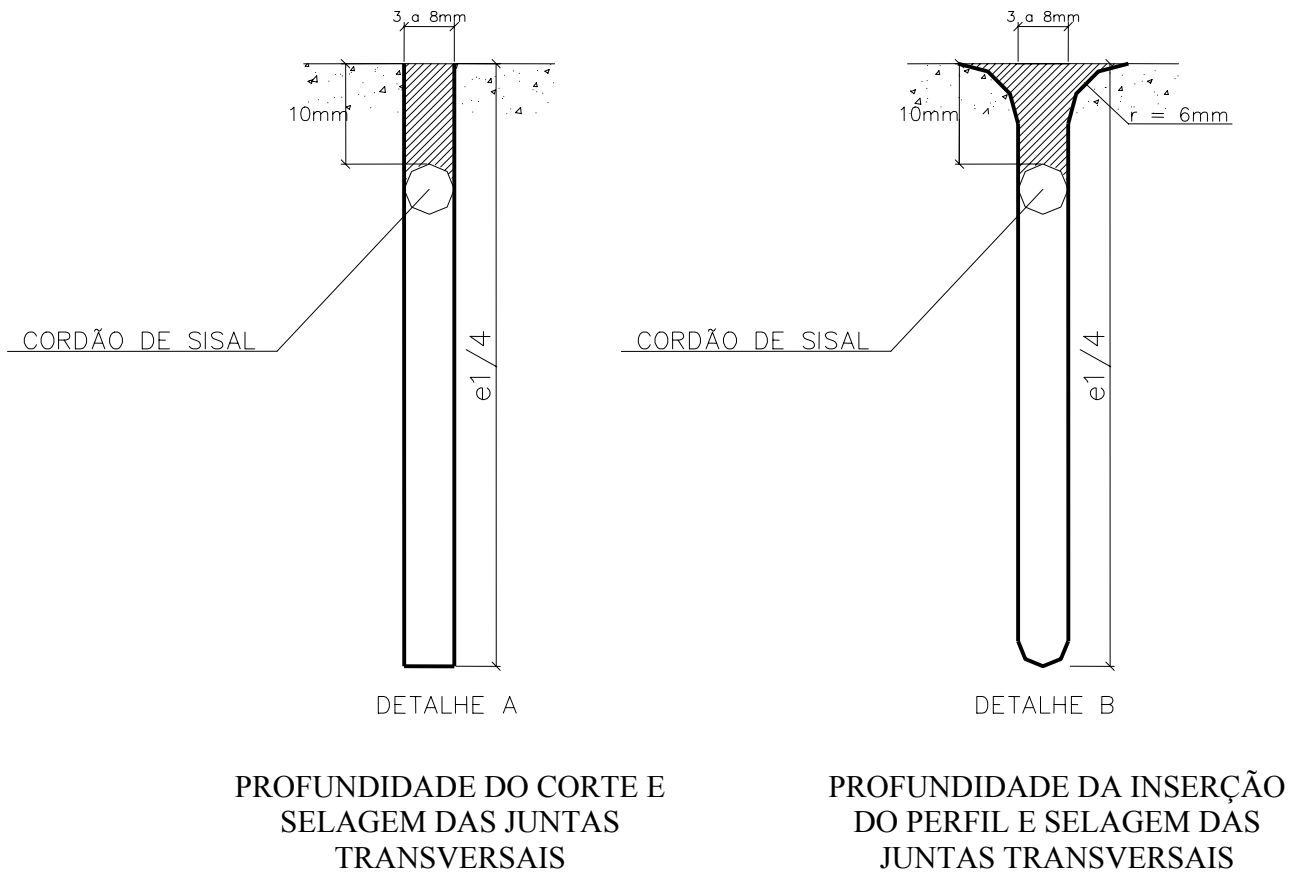
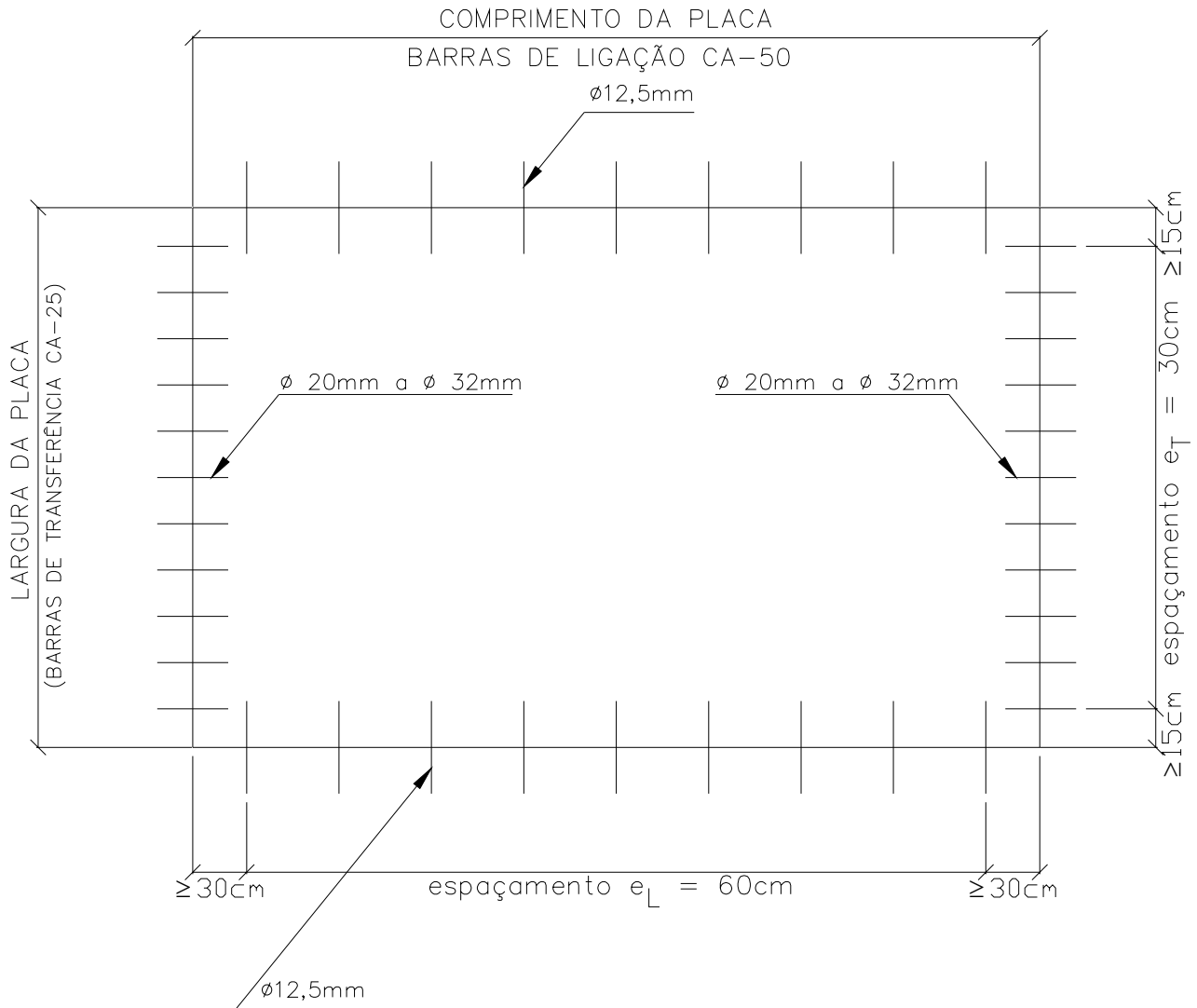


Figura 7.7  
Tipo usual de juntas para pavimentos de concreto simples



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

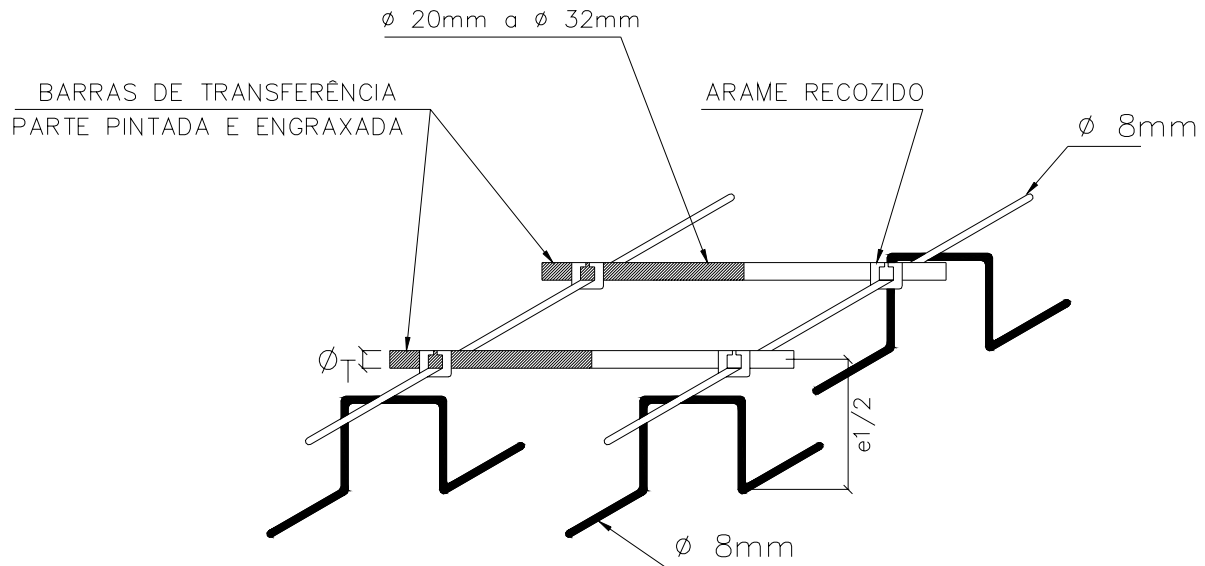


### ESQUEMA DE DISTRIBUIÇÃO DAS BARRAS DE TRANSFERÊNCIA/LIGAÇÃO

Figura 7.8  
Tipo usual de distribuição das armaduras para pavimentos de concreto simples

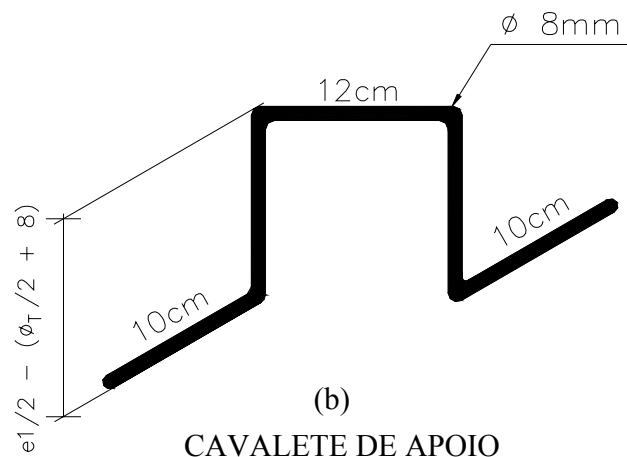


## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO



(a)

DETALHE DE FIXAÇÃO DAS  
BARRAS DE TRANSFERÊNCIA



(b)

CAVALETE DE APOIO

Figura 7.9

Armação de dispositivos de transferência de cargas



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

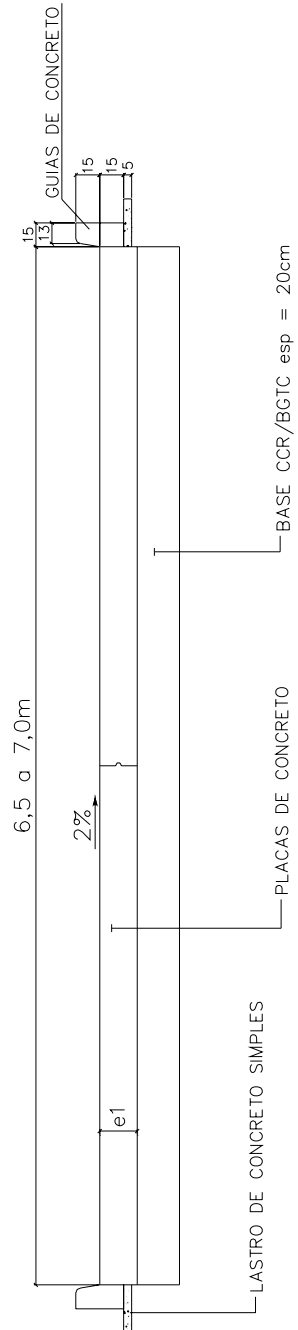


Figura 7.10  
Seção transversal típica de pavimento de concreto em faixa exclusiva de ônibus urbano





## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

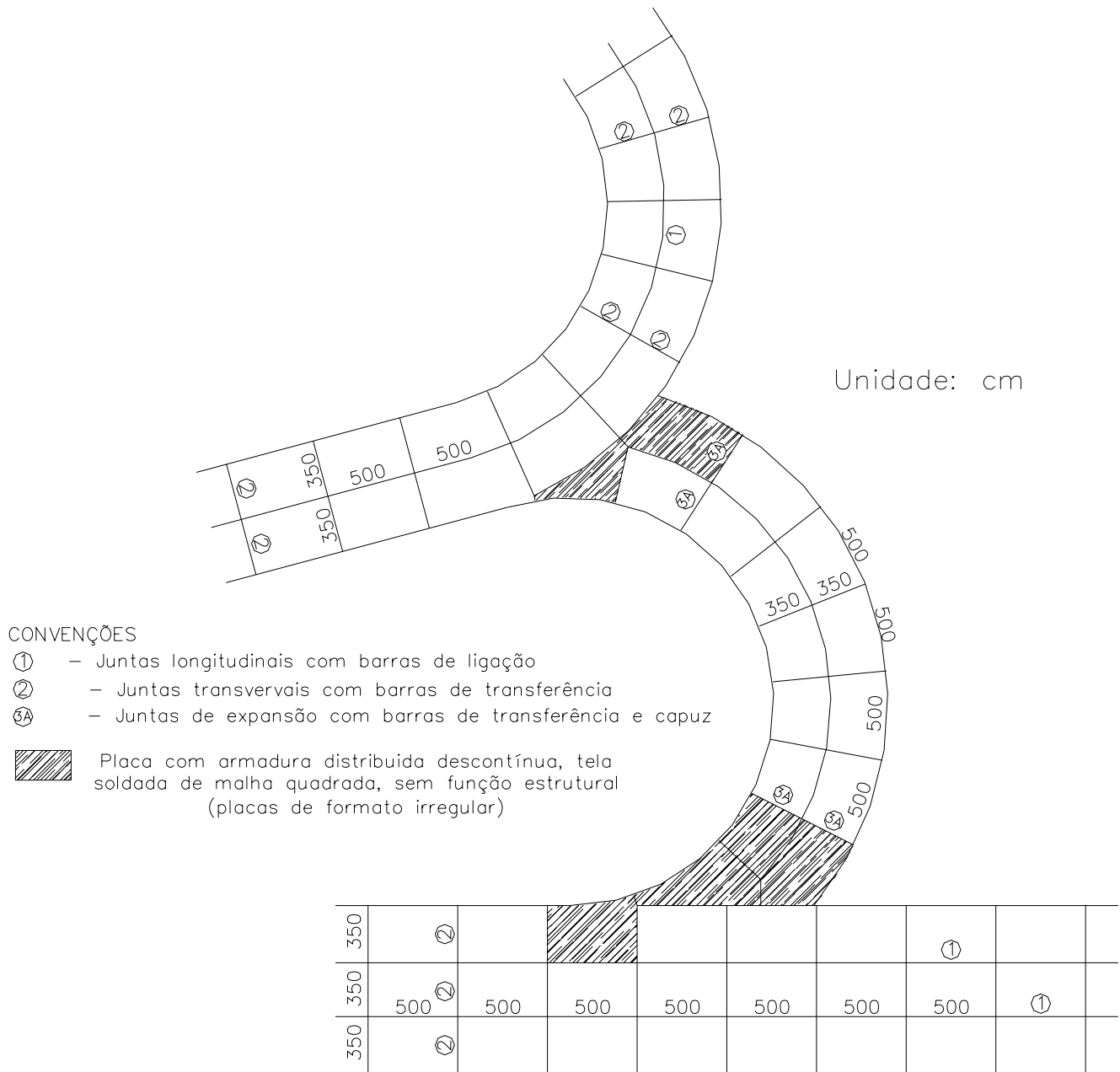


Figura 7.11  
Exemplo de Projeto Geométrico para placas de concreto



## IP – 07 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balbo, José Tadeu (1996) *Critério de verificação à fadiga para pavimentos semi-rígidos*. Anais do X Encontro Nacional da ANPET, vol. 2, pp.771-779, Brasília.

Balbo, José Tadeu (1997) *High quality cement treated crushed stones for concrete pavement bases*. Proceedings of the Sixth International Purdue Conference on Concrete Pavement November 18-21, vol.1, pp.195-207, Indianapolis.

Balbo, José Tadeu; Severi, Andréa Arantes (2002) *Thermal gradients in concrete pavements in tropical (hot-wet) environment: an experimental appraisal*. Journal of the Transportation Research Board, n. 1809, pp. 12-22, Transportation Research Board, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D.C.

Portland Cement Association (1984) *Thickness Design of for Concrete Highways and Streets Pavements*. EB209.01P, Ottawa.

Rodolfo, Marcos Paulo.; Balbo, José Tadeu (2000) *Modelagem de tensões de pavimentos de concreto submetidos a gradientes térmicos e cargas rodoviárias*. In: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2000. Editores: J.R.A. Setti & H.B.B. Cybis, ANPET, pp.551-63, Rio de Janeiro.

Severi, Andréa Arantes; Balbo, José Tadeu (2001) *Gradientes térmicos em pavimentos de concreto nas condições de clima tropical*. In: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2001, Volume 1, XV, Editores: Setti, J.R.A.; Lima Junior, O.F., pp.299-307, Campinas.

Trichês, Glicério (1994). *Comportamento na Fadiga de Misturas de Concreto Compactado a Rolo para Pavimentação*. 28<sup>o</sup> RAPv. Associação Brasileira de pavimentação - ABPv. Belo Horizonte.