

---

# Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados

---

Autores:

PÚBLIO PENNA FIRME RODRIGUES

MÁRCIO ROCHA PITTA

*Públio Penna Firme Rodrigues* é engenheiro civil, mestre em engenharia, membro do ACI, consultor técnico do IBTS e diretor da LPE Engenharia e Consultoria.

*Márcio Rocha Pitta* é engenheiro civil, coordenador do Comitê Técnico de Pavimentos de Concreto do Ibracon, diretor da Associação Brasileira de Pavimentação, membro do ACI e assessor da presidência da ABCP.



**Associação Brasileira de Cimento Portland**



**Instituto Brasileiro de Telas Soldadas**

Apoio:



**IBRACON**

# Prefácio

Vivemos em um mundo em transformação constante em que as necessidades modificam-se em função do surgimento de novas tecnologias, da busca da melhor relação custo/benefício, dos novos conceitos de durabilidade e da exigência cada vez maior da sociedade quanto à qualidade dos bens e serviços públicos que retornam dos impostos por ela pagos.

Quando se trata de pavimentos, quer em indústrias, estacionamentos, portos, grandes ou pequenos armazéns, aeroportos, postos de gasolina e outras instalações, a preocupação com custo, desempenho e durabilidade fica em primeiro plano.

A nova concepção sobre a movimentação de materiais nas áreas industriais, bem como a flexibilidade de “lay-out”, por exemplo, exigem pavimentos de alto desempenho, cuja planicidade e nivelamento crescem de importância.

A grande durabilidade e a pequena necessidade de manutenção são condições fundamentais nos projetos da nova geração de pavimentos.

Na pavimentação de rodovias, grandes avenidas - marginais, por exemplo, corredores de ônibus, anéis viários e arruamento em indústrias, a relação custo/benefício é vital. Nos tempos atuais, não se pode imaginar recapeamentos entre 4 e 5 anos ou manutenção de rotina constante. Os transtornos com interrupções de tráfego, devido à operações seguidas de conservação, não são aceitos pelos usuários, quer das rodovias públicas ou concedidas à iniciativa privada.

Diante dessa nova realidade, a cadeia produtiva da construção civil, ou seja, projetistas, construtoras, prestadoras de serviços e fornecedores de insumos e equipamentos, movimenta-se, buscando soluções tecnológicas que atendam às atuais exigências de qualidade, durabilidade e segurança.

O Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) uniram esforços, juntando em um mesmo trabalho, dois dos maiores técnicos do país no tema pavimentos, os engenheiros Públio Penna Firme Rodrigues e Márcio Rocha Pitta. O resultado não poderia ser melhor.

O manual de Dimensionamento de Pavimentos de Concreto Estruturalmente Armados traz o que há de mais atual em métodos de cálculo de pavimentos rígidos, fazendo com que cheguem ao público interessado critérios práticos de dimensionamento, baseados em conceitos consagrados internacionalmente.

As vantagens inerentes aos pavimentos de concreto estruturalmente armados, tais como redução da espessura do concreto, maior espaçamento entre juntas, menores gastos com preparação de sub-base, grande durabilidade, baixa manutenção, resistência a solventes e menor consumo de combustível, dão-lhes extraordinária competitividade quando comparados com outros tipos de pavimentos rígidos e com o pavimento flexível.

É com grande satisfação que o IBTS e a ABCP concretizam a realização desta obra - o extrato teórico foi publicado na Revista IBRACON, Órgão Oficial do Instituto Brasileiro do Concreto, na sua edição de setembro/dezembro 97, de nº 19 - certos de que apresentam ao meio técnico brasileiro um trabalho de alto gabarito, que muito contribuirá para a divulgação de soluções atualizadas, com custo atraente e grande durabilidade.

IBTS - Instituto Brasileiro de Telas Soldadas

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

# Índice

Introdução.....	pg. 7
Fundação do Pavimento.....	pg. 8
Análise das Juntas.....	pg.10
Dimensionamento.....	pg.12
Aplicação Prática em Pavimentos Rodoviários.....	pg.18
Aplicação Prática em Pisos Industriais.....	pg.25
Bibliografia.....	pg.30
Tabelas e Gráficos para Dimensionamento.....	3ª capa



# Introdução

O método de dimensionamento de pavimentos de concreto estruturalmente armados<sup>(1)</sup>, baseia-se na determinação das tensões atuantes e dos momentos fletores, de acordo com o modelo proposto por Westergaard<sup>(2)</sup>, por meio das Cartas de Influência de Pickett e Ray<sup>(3)</sup>.

Consideram-se duas condições de carregamento: a primeira, mais favorável, toma as cargas atuando no interior da placa, enquanto a outra leva em conta o carregamento na borda livre; nesta, os esforços gerados podem atingir cerca do dobro dos valores produzidos pelo primeiro caso. Entre os dois extremos, pode-se ter valores intermediários, como nas juntas protegidas, cuja magnitude dos esforços será função da sua eficiência na transmissão de carga.

O cálculo estrutural é conduzido no *Estádio III*, de acordo com as prescrições da norma NBR 6118<sup>(4)</sup>, considerando-se o emprego de telas soldadas<sup>(5)</sup> produzidas com aço CA-60. Para o concreto, considera-se que sua resistência seja superior a 25 MPa, para que tenha resistência ao desgaste compatível com grau de solicitação imposto aos pavimentos rodoviários.

As juntas de construção e de retração deverão ser protegidas por mecanismos adequados de transferência de carga, como as barras de transferência. Considera-se sempre o emprego de sub-base, dando-se preferência às tratadas com cimento. Deve-se levar em consideração o efeito de erosão da sub-base, acarretada pelo processo de expulsão de finos por bombeamento ou processo similar, por meio de redutores da capacidade de suporte final desta.

*Eng. Públio Penna Firme Rodrigues*

*Eng. Márcio Rocha Pitta*

# Fundação do Pavimento

O valor do suporte da fundação do pavimento é medido pelo coeficiente de recalque **k**, também denominado módulo de reação<sup>(2)</sup>, cujo valor é determinado por meio de prova de carga estática ou, indiretamente por ensaios mais simples, como o Índice de Suporte Califórnia **CBR**, bastante conhecido e de fácil execução, ou de ensaios mais completos, do tipo Falling Weight Deflectometer (FWD), muito usual em repavimentações.

A correlação entre **k** e **CBR** (figura 1) apresenta precisão suficiente para fins de dimensionamento, pois pequenas variações no coeficiente de recalque trazem consequências insignificantes na determinação das espessuras<sup>(6)</sup>;

Os pavimentos rígidos têm bom desempenho mesmo em terrenos com baixo valor de suporte; entretanto, a adoção das sub-bases confere benefícios que tornam imprescindível o seu emprego:

Impedem a ocorrência do bombeamento, caracterizado pela expulsão de finos plásticos através das juntas quando da passagem de cargas pesadas e na presença de água;

Uniformizam o suporte da fundação;

Promovem incremento do coeficiente de recalque da fundação, notadamente quando são empregadas sub-bases tratadas com cimento;

Reduzem os efeitos prejudiciais de solo expansivos à estrutura do pavimento;

As sub-bases que podem ser empregadas com o pavimento de concreto estruturalmente armado são as mesmas tradicionalmente utilizadas com o pavimento de concreto simples. O incremento do coeficiente de recalque está ligado ao tipo da sub-base e à sua espessura. As tabelas 1 a 4 apresentam esses valores para fins de dimensionamento.



As considerações relativas à erosão da sub-base, à perda de material do topo da camada acarretada pela combinação de cargas pesadas e água e às movimentações verticais diferenciais do solo, devem ser feitas considerando uma determinada perda de suporte, isto é, uma redução do valor do coeficiente de recalque  $k$ , função do tipo de sub-base que está sendo empregada, de acordo com a tabela 5. O valor reduzido  $k_r$  é determinado com auxílio da figura 2.



# Análise das Juntas

As juntas dos pavimentos de concreto revestem-se de especial interesse em função de ser potencialmente seu ponto vulnerável, estando sujeitas à ocorrência de defeitos, tanto no desempenho como na execução.

Nos pavimentos armados, o problema pode ser minimizado pela introdução de armaduras de reforço nas juntas, caso uma análise teórica indicar essa necessidade. Essa análise pode ser feita com base na Teoria da Elasticidade, em função do diâmetro da barra de transferência, espessura da placa, resistência do concreto e coeficiente de recalque  $k$ , conforme demonstram Yoder e Witczak<sup>(10)</sup>.

Alternativamente, pode-se arbitrar uma determinada capacidade de transferência de carga na junta, menor do que a ideal, e então promover um reforço em uma faixa de pelo menos 50 *cm* de largura. Esse procedimento é recomendável principalmente nas juntas longitudinais do pavimento.

Por exemplo, no caso de uma junta longitudinal dotada de mecanismos de transferência de carga: se estes fossem 100% eficientes, quando a carga tangencia a junta, 50% dos esforços seriam transferidos para a placa contígua e, neste caso, os esforços atuantes seriam iguais aos que ocorrem no interior da placa.

Nem sempre essa situação acontece, havendo casos em que a transferência não é plenamente eficiente. Isto ocorrendo, deve-se arbitrar uma taxa de eficiência da junta, armando-se a placa para absorver o restante dos esforços. Esses esforços podem ser tomados como sendo;

***Para juntas longitudinais:***

$$M_{j\ell} = M_b \left( 1 - \frac{\partial}{200} \right)$$

**Para juntas transversais:**

$$M_{jt} = 0,7 M_b \left(1 - \frac{\hat{\delta}}{350}\right)$$

**onde:**

$M_b$  é o momento da borda livre da placa;

$\hat{\delta}$  é a eficiência da junta (%).

Portanto, quando a eficiência da junta for 100%, o momento atuante iguala-se ao momento interior da placa. Na ausência de dados mais específicos, é recomendável considerar a eficiência da junta em 45%; neste caso, o momento atuante na junta longitudinal será igual a  $0,775 M_b$  e, para a junta transversal,  $0,610 M_b$ .

O emprego de mecanismos de transferência de carga, tanto nas juntas longitudinais como nas transversais, deve ser prioritário para garantir a durabilidade do pavimento. No caso de barras de transferência, deve-se empregar diâmetro igual ou superior a 16 mm, conforme tabela.

#### Diâmetro das Barras de Transferência

Espessura do Pavimento (cm)	Diâmetro das Barras (mm)
$h \leq 12,5$	16
$12,5 < h \leq 15,0$	20
$15,0 < h \leq 20,0$	25
$h > 20,0$	32

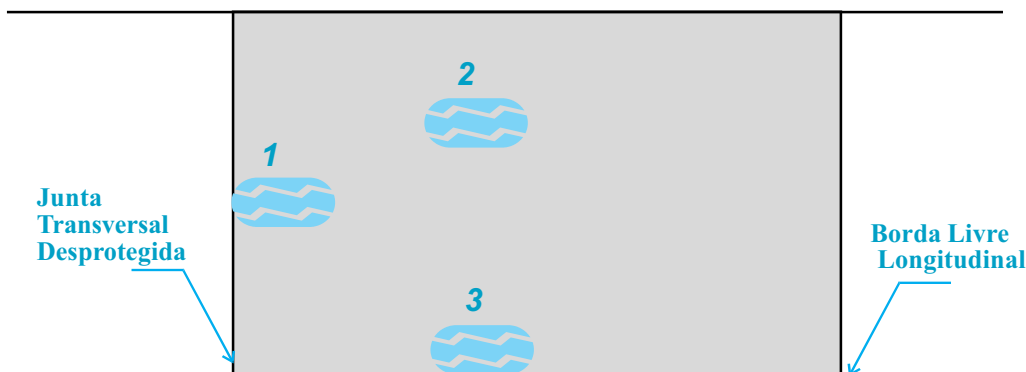
# Dimensionamento

O dimensionamento do *pavimento estruturalmente armado - PEA* é efetuado com base na determinação dos momentos fletores de acordo com a *Portland Cement Association*, através do emprego das *cartas de influência*<sup>(3)</sup>, notadamente as de *número 2*, para os momentos no interior da placa, e de *número 6*, para os momentos na borda livre; ambas assumem que a fundação é um líquido denso.

Uma vez conhecidos os momentos atuantes, a determinação das armaduras necessárias para resisti-los, posicionadas na parte inferior da placa, passa a ser relativamente simples, seguindo os critérios usuais do cálculo do concreto armado. Os momentos negativos, isto é, que tracionam a zona superior da placa, são pequenos o suficiente para serem resistidos pelo próprio concreto<sup>(1)</sup>.

Em uma placa de concreto isolada, (*figura abaixo*), ocorrem três situações distintas para o carregamento, em que os momentos atuantes podem variar significativamente.

## Posição do carregamento em relação às bordas



Considera-se que a tensão máxima na borda livre longitudinal ocorre quando a roda do veículo está tangenciando (posição 3), sendo que, a partir do momento em que ela se dirige para o interior, a tensão gerada diminui abruptamente e, a apenas 10 *cm* da borda, ela já equivale a 50% do valor inicial; neste ponto, pode-se considerar que a tensão já se aproxima de valores similares aos do interior<sup>(3)</sup>.

O carregamento na posição 3 irá produzir um momento que será cerca do dobro do verificado na posição 2. Para a carga na borda transversal, o momento é aproximadamente 40% maior do que no centro da placa. O dimensionamento é feito em 2 etapas, considerando inicialmente o carregamento no interior da placa e, posteriormente, na borda longitudinal livre do pavimento.

A determinação dos momentos atuantes pode ser feita, com bom grau de precisão, com os ábacos da figura 3, carga no interior da placa e da figura 4, carga na borda longitudinal livre<sup>(10)</sup>. A marcha de cálculo é a seguinte:

## 1º Caso: Carga no interior da placa

### *Determinação do momento atuante $M_i$*

Determina-se inicialmente a área de contato **A** do pneu e as suas dimensões básicas **L** (comprimento) e **W** (largura):

$$A = \frac{P_R}{q} \quad , \text{em } m^2$$

*sendo:*

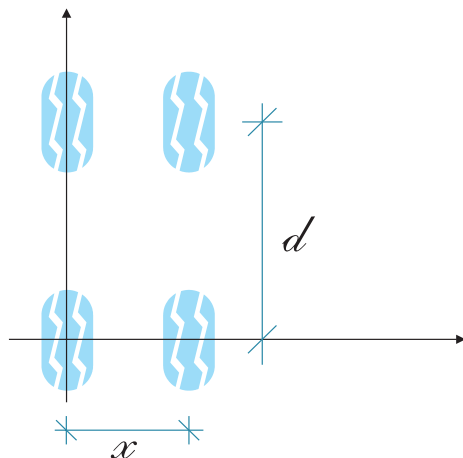
**P<sub>R</sub>** a carga atuante em um pneu, (em *N*) isto é, a carga total do eixo dividida pelo número de rodas;

**q** é a pressão de enchimento dos pneus, (em *Pa*).

$$L = \sqrt{\frac{A}{0,523}} \quad , \text{em } m$$

$$W = 0,6 \times L \quad , \text{em } m$$

Determina-se o número **N** de blocos da carta de influência Nº 2, com auxílio da figura 3, em função do raio de rigidez da placa de concreto,  $\ell$ , da distância entre as duas rodas do semi-eixo de rodagem dupla,  $x$ , das distâncias entre os conjuntos de rodas dos semi-eixos tandem duplo ou triplo,  $d$ .



$$\ell = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times k}} \text{ , em } m$$

**sendo:**

**E** é o módulo de elasticidade do concreto (em *MPa*);

**h** é a espessura da placa de concreto (em *m*);

**ν** é o coeficiente de *Poisson* do concreto, tomado como 0,15;

**k** é o coeficiente de recalque da fundação (em *MPa/m*).

O momento pode ser determinado pela expressão

$$M_k = \frac{N \times q \times \ell^2}{10.000} \text{ , em } N \times m/m$$

**sendo:**

**N** é o número de blocos determinados pela carta de influência Nº 2, figura 3;

**q** é a pressão de enchimento do pneu (em *Pa*);

$\ell$  é o raio de rigidez relativo da placa (em *m*).

A determinação da armadura é imediata, com o emprego dos coeficientes adimensionais  $k_6$  e  $k_3$ <sup>(12)</sup>.

$$k_6 = \frac{b \times d^2}{M_k}$$

$$A_s = k_3 \times \frac{M_k}{d}, \text{ em } cm^2/m$$

*sendo:*

$M_k$  é o momento atuante (em  $tf \times cm/m$ );

$b$  é a largura considerada, geralmente 100  $cm$ ;

$d$  é a espessura da placa de concreto  $h$ , menos 3,0  $cm$  (cobrimento)

$A_s$  é a área da armadura, geralmente em  $cm^2/m$ ;

$k_3$  é o coeficiente adimensional, fornecido na tabela 6<sup>(12)</sup>.

Os valores de  $k_3$ , em função de  $k_6$  e da resistência característica do concreto,  $f_{ck}$ , são fornecidos na Tabela 6<sup>(12)</sup>. Nestes, já estão embutidos os coeficientes de segurança, de minoração para materiais e de majoração para as ações, previstos na norma NBR 6118 (*Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado*).

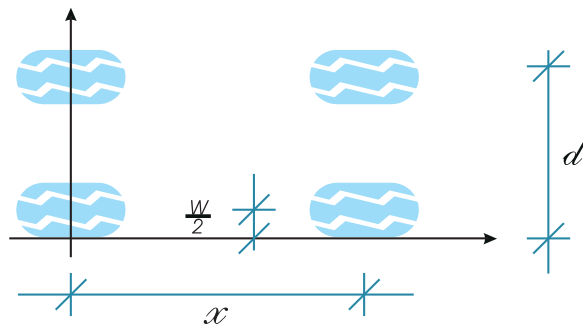
## 2º Caso: Carga na borda da placa

O momento na borda pode ser determinado com a carta de influência N° 6. Simplificadamente, pode-se considerar que, para as pressões de contato normalmente presentes, o momento de borda é o dobro do momento no interior da placa.

Portanto,

$$M_b = 2,0 \times M_i$$

No caso do emprego da carta de influência, o valor de **N** pode ser determinado com o auxílio da figura 5, seguindo a seguinte rotina de cálculo, similar à empregada para a carga no interior da placa. Deve-se considerar a distância  $d$  entre as rodas nos semi-eixos de rodagem dupla e  $x$  entre os conjuntos dos semi-eixos tandem simples e duplo.



A armadura assim determinada é denominada *armadura de borda*, devendo ser empregada sempre que houver a possibilidade do carregamento em uma borda livre da placa; entende-se como borda livre a borda desprotegida, isto é, não há placa adjacente com dispositivos de transferência de carga, nem acostamento de concreto.

Tal condição é observada em rodovias sem acostamento de concreto, em pavimentos urbanos junto ao meio-fio e nas vizinhanças das juntas de expansão. A armadura de borda deve ter cerca de 80 *cm* de largura.

### ***Efeitos das Variações Térmicas das Placas.***

As armaduras determinadas levam em consideração apenas os esforços produzidos pelas cargas externas, não tendo sido consideradas as tensões que se originam pela movimentação da placa em função das variações térmicas, ou mesmo pela retração hidráulica.

Caso se deseje empregar placas de comprimento superior ao normalmente empregado nas placas de concreto simples, que variam em torno de 5 *m* de comprimento, deve-se adotar armação complementar, posicionada na face superior da placa.



A determinação dessa armadura em aço CA-60, é feita empregando-se, por exemplo, a *drag equation*<sup>(13)</sup>, que pode ser escrita já considerando o concreto com massa específica de  $24 \text{ kN/m}^3$ , como:

$$A_s = \frac{f \times L \times h}{333}, \text{ em } \text{cm}^2/\text{m}$$

*onde:*

**L** é o comprimento da placa (em *m*);

**h** é a espessura da placa de concreto (em *cm*);

**f** é o coeficiente de atrito adimensional entre a placa e a sub-base, geralmente tomado entre 1,5 e 2,0.

As telas soldadas usuais em pavimentos estruturalmente armados, são as apresentadas na tabela 7.



# Aplicações Práticas

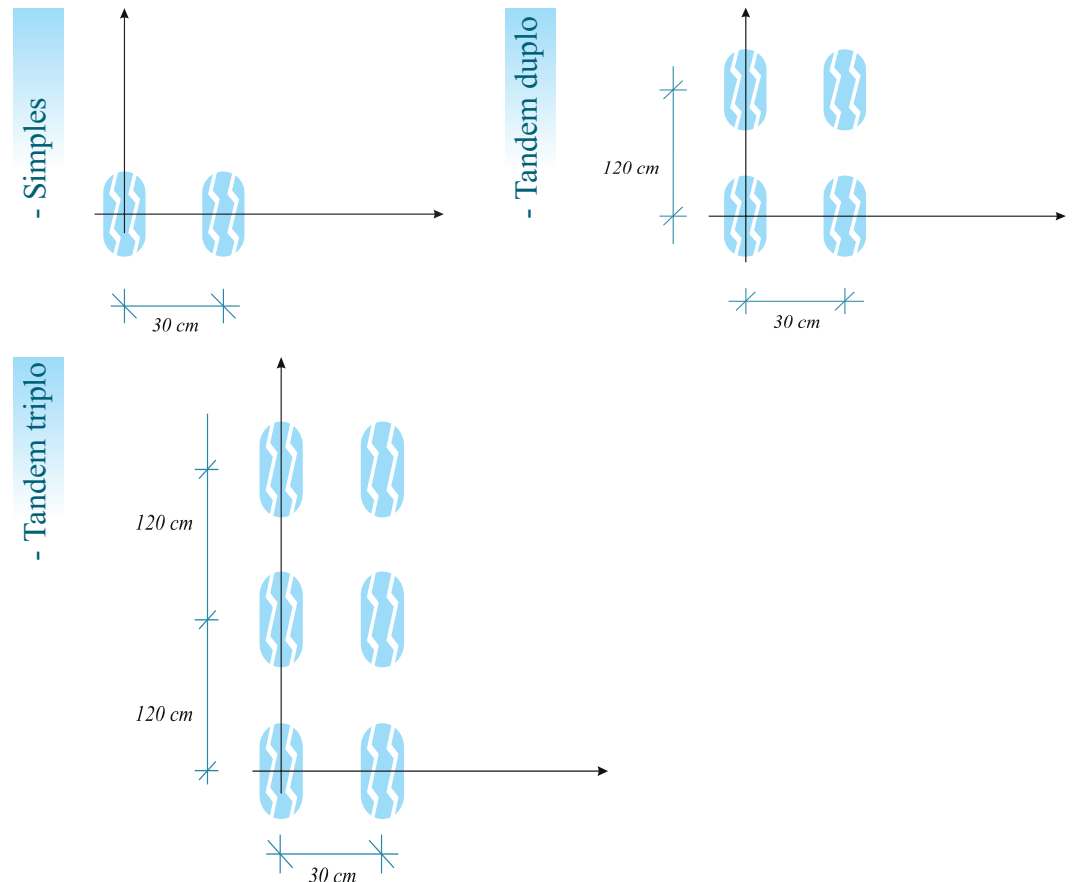
## 1. Pavimentos Rodoviários

Dimensionar um pavimento rodoviário estruturalmente armado,

com as seguintes características:

- **CBR (%)** do subleito = 4%  
Sub-base de 10 cm de solo melhorado com cimento }  $\xrightarrow{\text{tabela 3}}$  **k topo do sistema = 60 MPa/m**
- Concreto armado com aço CA-60,  $f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}$  e módulo de elasticidade de 30 GPa (30.000 MPa)
- Carga máxima em eixo simples: 170 kN = 170.000 N
- Carga máxima em eixo tandem duplo: 290 kN = 290.000 N
- Carga máxima em eixo tandem triplo: 360 kN = 360.000 N
- Pressão de enchimento dos pneus, **q**, de 0,7 MPa =  $0,7 \times 10^6 \text{ Pa}$

Configurações adotadas para os semi-eixos



### **Seqüência de Dimensionamento**

Similarmente às estruturas de concreto, deve-se arbitrar a espessura do pavimento; em função das cargas bastante elevadas, recomenda-se a espessura de 16 cm. Neste caso, o raio de rigidez relativo é:

$$\ell = \sqrt[4]{\frac{30.000 \times (0,16)^3}{12 \times (1 - 0,15^2) \times 60}} = 0,65 \text{ m}$$

### *Eixo simples*

Determina-se inicialmente a área de contato e suas dimensões básicas:

$$A = \frac{170.000/4}{0,7 \times 10^6} = 0,0607 \text{ m}^2$$

$$W = 0,6 \times 0,341 = 0,204 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{\frac{0,0607}{0,523}} = 0,341 \text{ m}$$

Determina-se **N** (figura 3) para carga no interior da placa:

$$L/\ell = \frac{0,341}{0,650} = 0,52$$

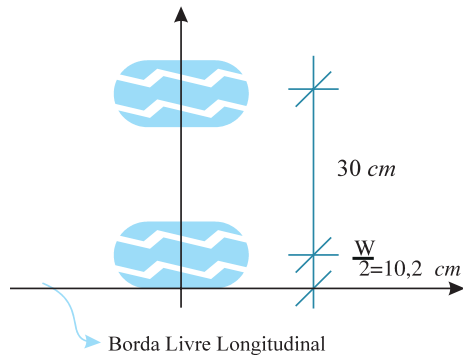
$$\text{roda 1: } x/\ell = 0 \quad N_1 = 275$$

$$\text{roda 2: } x/\ell = \frac{0,30}{0,65} = 0,46 \quad N_2 = 100$$

$$\text{portanto, } N_T = 375$$

Determina-se **N** (figura 4) para a carga na borda da placa:

$$L/\ell = \frac{0,341}{0,65} = 0,52$$



$$\text{roda 1: } d/\ell = \frac{0,102}{0,65} = 0,16 \quad N_1 = 500$$

$$\text{roda 2: } d/\ell = \frac{0,402}{0,65} = 0,62 \quad N_2 = 250$$

$$\text{portanto, } N_T = 750$$

Calcula-se o momento no interior **M<sub>i</sub>** e na borda, **M<sub>b</sub>**, da placa:

$$M_i = \frac{375 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,65^2}{10.000} = 11.090 \text{ N} \times \text{m/m} \cong 111,0 \text{ tf} \times \text{cm/m}$$

$$M_b = \frac{750 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,65^2}{10.000} = 22.181 \text{ N} \times \text{m/m} \cong 222,0 \text{ tf} \times \text{cm/m}$$

Cálculo da armadura no interior da placa:

$$k_6 = \frac{100 \times 13^2}{111} = 152,3$$

portanto (tabela 6):  $k_3 = 0,280$

$$A_s = 0,280 \times \frac{111}{13} = 2,39 \text{ cm}^2/\text{m} \xrightarrow{\text{tabela 7}} \text{tela Q 246}$$

Para o cálculo da armadura da placa pelo emprego da tabela 6, as unidades deverão estar em **tf e cm**

Cálculo da armadura na borda da placa:

$$k_6 = \frac{100 \times 13^2}{222} = 76,2$$

portanto (tabela 6):  $k_3 = 0,289$

$$A_s = 0,289 \times \frac{222}{13} = 4,9 \text{ cm}^2/\text{m} \xrightarrow{\text{tabela 7}} \mathbf{2 \times \text{tela Q 246}}$$

Ver Corte B-B  
no Detalhamento  
do Pavimento

### Eixo tandem duplo

Determina-se inicialmente a área de contato e suas dimensões básicas:

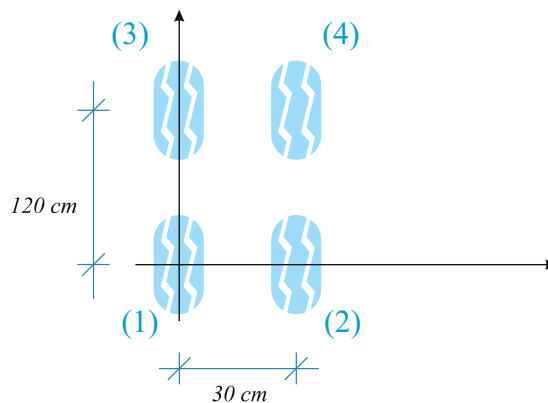
$$A = \frac{290.000 / 8}{0,7 \times 10^6} = 0,0518 \text{ m}^2$$

$$W = 0,6 \times 0,315 = 0,189 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{\frac{0,0518}{0,523}} = 0,315 \text{ m}$$

Determina-se **N** (figura 3) para a carga no interior da placa:

$$L/\ell = \frac{0,315}{0,65} = 0,48$$



roda 1:  $x/\ell = 0$

$$d/\ell = 0 \quad N_1 = 250$$

roda 2:  $x/\ell = \frac{0,30}{0,65} = 0,46$

$$d/\ell = 0 \quad N_2 = 70$$

roda 3:  $x/\ell = 0$

$$d/\ell = \frac{1,20}{0,65} = 1,84 \quad N_3 = 0$$

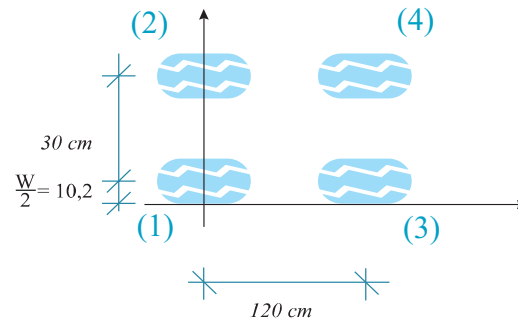
roda 4:  $x/\ell = \frac{0,30}{0,65} = 0,46$

$$d/\ell = \frac{1,20}{0,65} = 1,84 \quad N_4 = 0$$

portanto,  $N_T = 320$

Determina-se **N** (figura 4) para a carga na borda da placa:

$$L/\ell = \frac{0,315}{0,65} = 0,48$$



roda 1:  $x/\ell = 0$

$$d/\ell = \frac{0,10}{0,65} = 0,15 \quad N_1 = 480$$

roda 3:  $x/\ell = \frac{1,20}{0,65} = 1,84$

$$d/\ell = \frac{0,10}{0,65} = 0,15 \quad N_3 = -65$$

roda 2:  $x/\ell = 0$

$$d/\ell = \frac{0,40}{0,65} = 0,62 \quad N_2 = 200$$

roda 4:  $x/\ell = \frac{1,20}{0,65} = 1,84$

$$d/\ell = \frac{0,40}{0,65} = 0,62 \quad N_4 = -25$$

portanto,  $N_T = 680$

Calcula-se o momento no interior  $M_i$  e na borda  $M_b$  da placa:

$$M_i = \frac{320 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,65^2}{10.000} = 9.464 \text{ N} \times \text{m/m} \cong 94,6 \text{ tf} \times \text{cm/m}$$

$$M_b = \frac{590 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,65^2}{10.000} = 17.449 \text{ N} \times \text{m/m} \cong 175,0 \text{ tf} \times \text{cm/m}$$

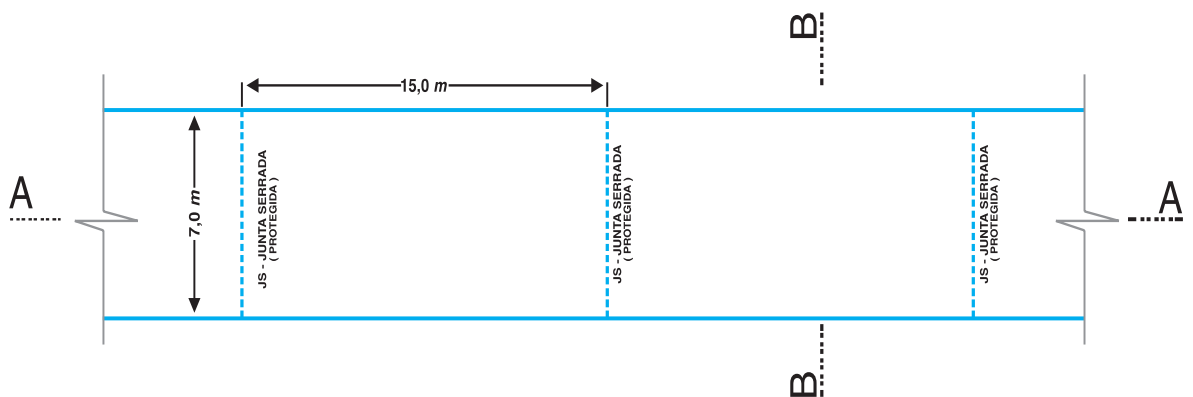
Como os momentos obtidos são inferiores dos referentes aos correspondentes à ação do eixo simples, estes predominam, devendo ser adotada a armadura referente a ele; o mesmo caso observa-se para o eixo tandem triplo.

### Cálculo da Armadura de Retração

A armadura de retração, posicionada no terço superior da placa e a não mais de 5cm da superfície, é função do comprimento, da espessura da placa e do coeficiente de atrito. Supondo a placa com 15 m de comprimento e coeficiente de atrito de 1,7 tem-se:

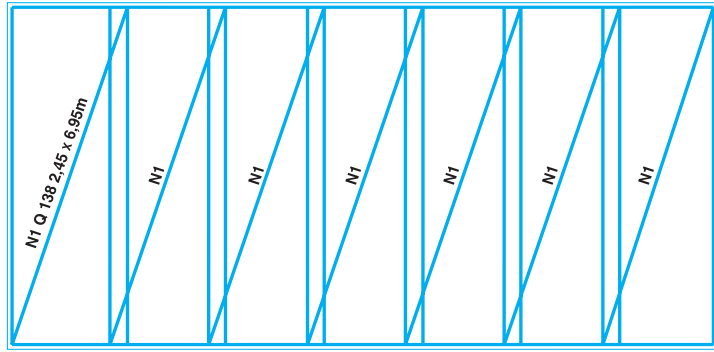
$$A_s = \frac{f \times L \times h}{333} = \frac{1,7 \times 15 \times 16}{333} = 1,23 \text{ cm}^2/\text{m} \xrightarrow{\text{tabela 7}} \text{tela Q 138}$$

### Detalhamento do Pavimento

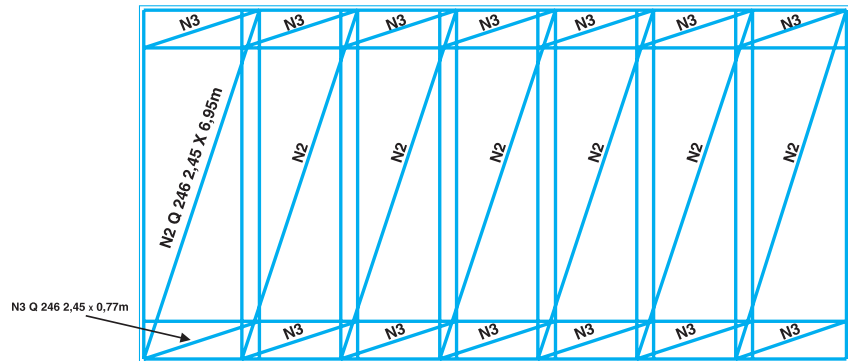


## Detalhe das Armaduras

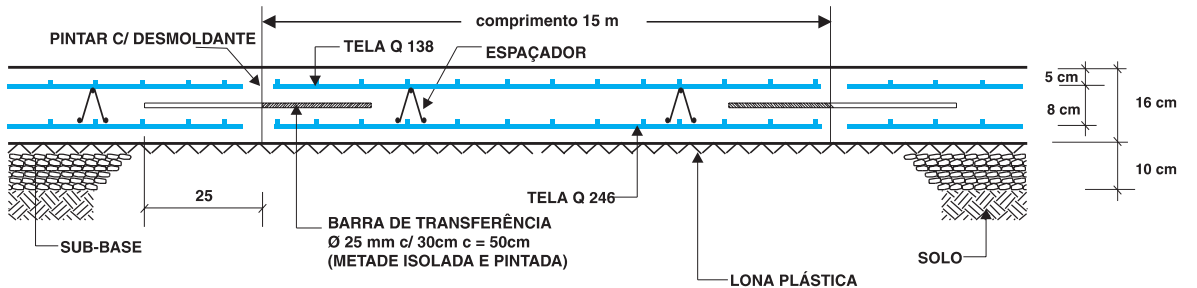
ARMADURA SUPERIOR



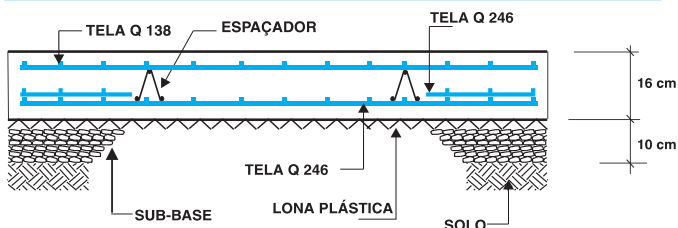
ARMADURA INFERIOR



CORTE A - A



CORTE B - B





## 2. Pisos Industriais

Dimensionar um piso industrial estruturalmente armado, que deverá receber o tráfego de empilhadeira com as seguintes características:

- Peso do eixo mais carregado: 75.000 N
- Largura do eixo dianteiro: 1,2 m
- Rodagem simples
- Pressão de enchimento dos pneus: 0,7 MPa =  $0,7 \times 10^6$  Pa

Considerar que o subleito possui **CBR** igual a 5,5% e a sub-base adotada é de 10 cm de brita graduada.

### **Seqüência de Dimensionamento:**

Inicialmente, interpolando na tabela 1, tem-se o coeficiente de recalque no topo do sistema igual a 40 MPa/m. O concreto terá  $f_{ck}$  de 25 MPa e será empregada Tela Soldada.

Deve-se arbitrar a espessura do pavimento; recomenda-se aqui a espessura de 12 cm. Neste caso, o raio de rigidez relativo é:

$$l = \sqrt[4]{\frac{30.000 \times 0,12^3}{12 \times (1 - 0,15^2) \times 40}} = 0,58 \text{ m}$$

Determina-se inicialmente a área de contato e suas dimensões básicas:

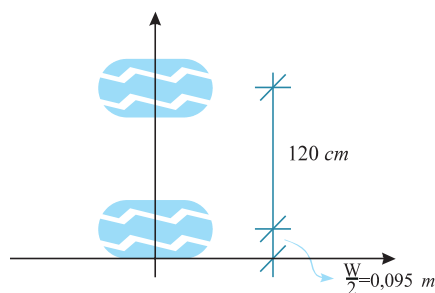
$$A = \frac{75.000}{0,7 \times 10^6} = 0,0536 \text{ m}^2$$

$$W = 0,6 \times 0,32 = 0,19 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{\frac{0,0536}{0,523}} = 0,32 \text{ m}$$

Na determinação dos momentos, deve-se atentar que a bitola do eixo mais carregado é superior ao dobro do raio de rigidez, indicando que não há sobreposição de carregamento dos dois conjuntos de rodas. Para maior facilidade, pode-se determinar apenas o momento na borda da placa (figura 4); o momento no interior é igual ao valor deste dividido por dois.

$$L/\ell = \frac{0,32}{0,58} = 0,55$$



$$\text{roda 1: } d/\ell = \frac{0,095}{0,58} = 0,16 \quad N_1 = 600$$

$$\text{roda 2: } d/\ell = \frac{1,295}{0,58} = 2,2 \quad N_2 = 0$$

portanto,  $N_T = 600$

*nota:*

O valor de  $N_2$  comprova que não há sobreposição dos carregamentos.

Calcula-se o momento no interior  $M_i$  e na borda,  $M_b$ , da placa:

$$M_b = \frac{600 \times 0,7 \times 10^6 \times 0,58^2}{10.000} = 14.129 \text{ N} \times \text{m/m} \cong 142,0 \text{ tf} \times \text{cm/m}$$

$$M_i = \frac{M_b}{2} = 71,0 \text{ tf} \times \text{cm/m}$$

Cálculo da armadura no interior da placa:

$$k_6 = \frac{100 \times 9^2}{71} = 114,1$$

portanto (tabela 6):  $k_3 = 0,284$

$$A_s = 0,284 \times \frac{71}{9} = 2,24 \text{ cm}^2/\text{m} \xrightarrow{\text{tabela 7}} \text{tela Q 246}$$

Para o cálculo da armadura da placa pelo emprego da tabela 7, as unidades deverão estar em **tf** e **cm**

Cálculo da armadura na borda da placa:

$$k_6 = \frac{100 \times 9^2}{142} = 57,0$$

portanto (tabela 6):  $k_3 = 0,296$

$$A_s = 0,296 \times \frac{142}{9} = 4,67 \text{ cm}^2/\text{m} \xrightarrow{\text{tabela 7}} \mathbf{2 \times \text{tela Q 246}}$$

Cálculo do reforço das juntas

Como trata-se de um piso industrial, as bordas livres irão ocorrer somente na periferia do piso. Portanto, seria anti-econômico a adoção da armadura de borda, composta por duas telas Q 246. Neste caso, deve-se armar a região próxima das juntas, cerca de 80 cm, prevendo determinada eficiência do sistema de transferência; se este for formado por barras lisas com diâmetro de 16 mm, comprimento de 50 cm (metade pintada e engraxada), espaçadas a cada 30 cm, pode-se estimar a eficiência em 65%. Tem-se:

$$M_j = M_b \left(1 - \frac{\hat{\sigma}}{200}\right) = 142 \left(1 - \frac{65}{200}\right) = 95,8 \text{ tf} \times \text{cm}/\text{m}$$

$$k_6 = \frac{100 \times 9^2}{95,8} = 84,5$$

portanto (tabela 6):  $k_3 = 0,288$

$$A_s = 0,288 \times \frac{95,8}{9} = 3,07 \text{ cm}^2/\text{m}$$

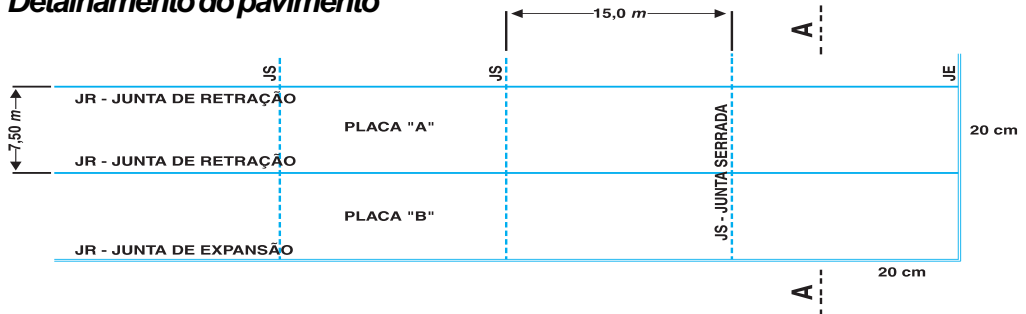
Essa condição pode ser satisfeita com o emprego da tela Q 246 acrescida de uma faixa de tela Q 61.

Cálculo da Armadura de Retração:

Supondo comprimento da placa igual a 15 m e adotando-se coeficiente de atrito 1,7, tem-se:

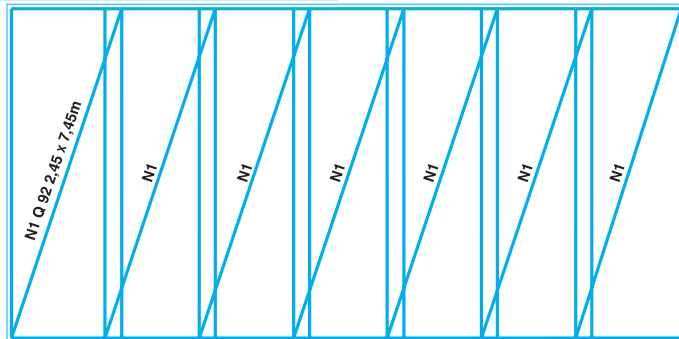
$$A_s = \frac{f \times L \times h}{333} = \frac{1,7 \times 15 \times 12}{333} = 0,92 \text{ cm}^2/\text{m} \xrightarrow{\text{tabela 7}} \mathbf{\text{tela Q 92}}$$

## Detalhamento do pavimento



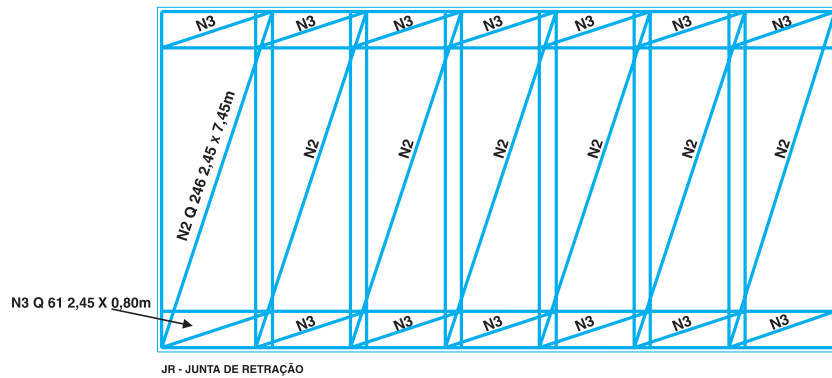
## Detalhe das Armaduras

### ARMADURA SUPERIOR (PLACA "A" OU "B")



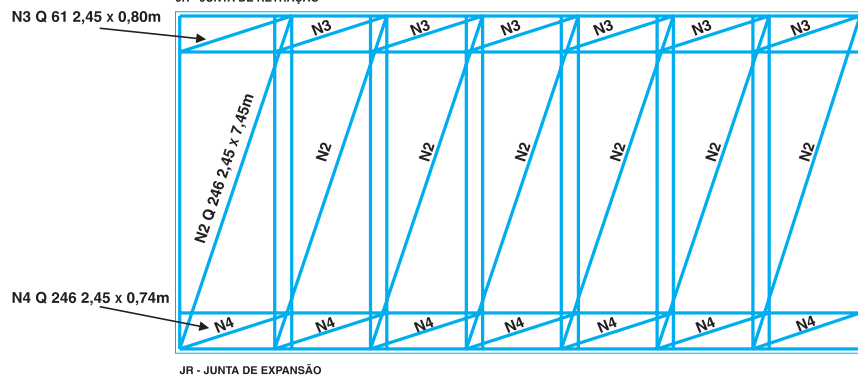
### ARMADURA INFERIOR (PLACA "A")

JR - JUNTA DE RETRAÇÃO



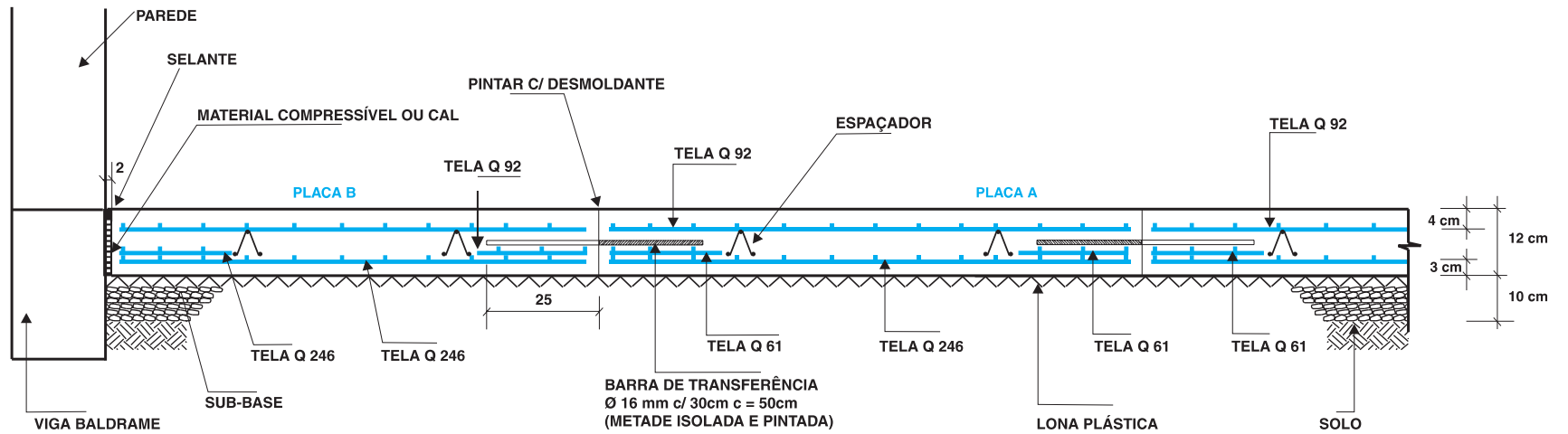
### ARMADURA INFERIOR (PLACA "B")

JR - JUNTA DE RETRAÇÃO



## Corte Transversal com Detalhe das Armaduras

### CORTE A -A



# Bibliografia

1. Rodrigues, Púlio Penna Firme e Pitta, Márcio Rocha.  
Instituto Brasileiro do Concreto. **Revista do IBRACON** Nº19, 1997
2. Westergaard, H. M. **Theory of Concrete Pavement Design**.  
In Proceedings Highway Research Board, EUA, 1927.
3. Pickett, Gerard e Ray, Gordon K. **Influence Charts for Concrete Pavements**.  
In ASCE Proceedings, Abril, páginas 1 a 25, 1950.
- 4 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 - Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**, Rio de Janeiro, ABNT, 1980.
- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7481 - Tela de Aço Soldada - Armadura para Concreto - Especificação**, Rio de Janeiro, ABNT, 1990.
- 6 Pitta, Márcio Rocha. **Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método da PCA/84**. 2ª edição, São Paulo, ABCP, 1996.
7. PCA : **Thickness Design for Concrete Highway and Streets Pavements**.  
Portland Cement Association, Ottawa, Canadian Edition, 1984.
8. Pitta, Márcio Rocha. **Projeto de Sub-bases para Pavimentos de Concretos**.  
5ª edição atualizada, São Paulo, ABCP, 1990.
9. AASHTO: **Guide for Design of Pavement Structures**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC, 1993.
10. Yoder, E. J., Witczak, M. W. **Principles of Pavement Design**. 2ª ed., John Wiley & Sons, Inc, New York.
11. Portland Cement Association. **Load Stress at Pavement Edge**, a Supplement to Thickness Design for Concrete Pavements, PCA, 1969.
12. Santos, Lauro M. dos. **Cálculo de Concreto Armado Segundo a Nova NB-1 e o CEB**, LMS, vol. 1, 2ª ed., 1983.
13. Wire Reinforcement Institute: **Innovative Ways to Reinforce Slabs-On-Ground**. In Tech Facts, WRI, 1996.
14. IBTS. **Manual Técnico de Telas Soldadas - Especificações**, 1997.

Apoio:

**Instituto Brasileiro do Concreto**



**IBRACON**



**Associação Brasileira de Cimento Portland**



**Instituto Brasileiro de Telas Soldadas**