

JUNTAS EM PISOS INDUSTRIAIS

AUTORES

ENG. PÚBLIO PENNA FIRME RODRIGUES

LPE Engenharia e Consultoria Ltda.

É Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia, Membro do ACI,
Consultor Técnico do IBTS e Diretor da LPE Engenharia e Consultoria.

ENG. WAGNER EDSON GASPARETTO

Gerdau S.A.

É Engenheiro Civil pela Universidade Mackenzie, Chefe de Desenvolvimento
de Mercado da Gerdau Aço para Construção Civil e Representante
da Gerdau na ACPA - American Concrete Pavement Association

**São Paulo
1999**

Sumário

1 – Introdução	04
2 – Função das juntas	05
3 – Tipos de juntas	07
4 – Mecanismo de transferência de carga	10
5 – Dimensionamento das barras de transferência	12
6 – Cuidados no Projeto Geométrico	17
7 – Selantes para juntas	19
8 – Controle de qualidade executivo – recebimento da obra	21
9 – Referências Bibliográficas	22

Prefácio

O piso industrial tem nas juntas o seu elo mais fraco, sendo que é nelas que as principais manifestações patológicas de natureza estrutural se manifestam. Em função disso existe a tendência de efetuar-se projetos com quantidade cada vez menor de juntas.

Entretanto, em função de limitações executivas, equipamentos disponíveis, índices de planicidade e nivelamento necessários, as juntas acabam sendo sempre necessárias. Resta portanto ao calculista dimensioná-las de maneira segura e econômica.

Na literatura nacional e mesmo internacional há uma lacuna muito grande no que se refere a projeto de juntas e este trabalho tem como objetivo reduzir esta deficiência, procurando apresentar critérios de dimensionamento das juntas, de modo que seja possível garantir a baixa manutenção e elevada vida útil dos componentes.

Apresenta os critérios para o desenvolvimento do projeto geométrico das juntas, os principais tipos empregados para pisos industriais e pavimentos estruturalmente armados, bem como, o dimensionamento dos dispositivos de transferência de cargas. Finaliza com a fixação de critérios que devem ser seguidos para o controle da qualidade de execução e recebimento das juntas.

1 - Introdução

Ao longo dos tempos, o aumento dos carregamentos e conseqüente aumento das tensões nos pisos industriais, vem preocupando os profissionais da área. Várias soluções de dimensionamento tem sido estudadas, porém, todas as alternativas elevam a responsabilidade das juntas, pelo fato de que o aumento das cargas, levam ao aumento de tensões nas juntas e das deformações dos pisos industriais.

Várias alternativas para elevar a eficiência na transferência de cargas entre placas de concreto, foram experimentadas, tais como: espessamento das bordas das placas, juntas com encaixes do tipo macho e fêmea com ou sem barras de ligação, aumento da capacidade de suporte da sub-base, juntas com utilização de barras de transferência ou barras de ligação e outras.

2 – Função das Juntas

Todo piso industrial em concreto, está sujeito a tensões, devido a diversas causas, como as de retração plástica do concreto, retrações e dilatações causadas por variações térmicas ou higrométricas, empenamento das placas, carregamento, seja ele estático (cargas distribuídas ou pontuais - do tipo de prateleiras) ou móvel (empilhadeiras de rodas pneumáticas ou rígidas).

Parte destas tensões, fazem com que haja uma sensível redução da vida útil do pavimento, caso não sejam devidamente tratadas (ERES Consultants, 1996). O projeto deve prever dispositivos, detalhes construtivos, reforços estruturais e especificações de materiais adequadas à cada tipo de solicitação.

Dentre estes dispositivos ou detalhes construtivos estão as JUNTAS, que podem ser definidas como:

Detalhe construtivo, que deve permitir as movimentações de retração e dilatação do concreto e a adequada transferência de carga entre placas contíguas, mantendo a planicidade, assegurando a qualidade do piso e conforto do rolamento.

É importante ressaltar que as juntas devem permitir a “adequada transferência de carga entre placas contíguas”. Pode-se avaliar pela figura 2.1 as condições de trabalho das juntas.

0% de Transferência de Carga

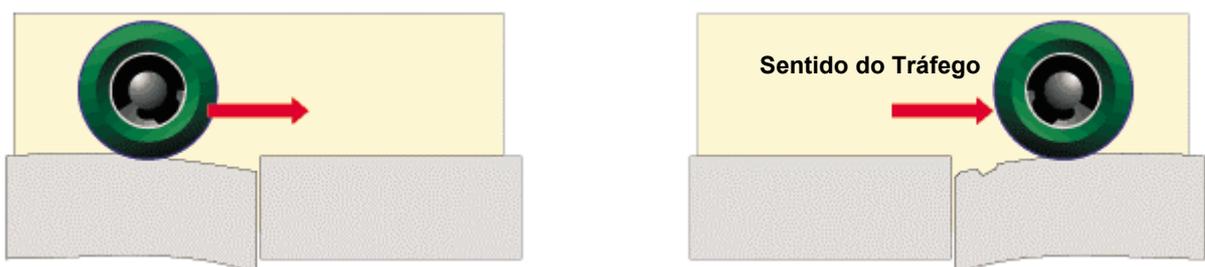


Figura 2.1 – Junta desprotegida

Quando tem-se uma carga na proximidade da borda, existe uma deformação natural da placa de concreto do piso, proporcional à magnitude da carga, espessura da placa, módulo de elasticidade dos materiais envolvidos e condições de suporte da placa, gerando uma descontinuidade da superfície do piso, alterando as condições de rolamento, conforto e segurança.

Na figura 2.1, pode-se notar a existência de uma patologia na placa da direita, devido à passagem da roda do veículo. Este fato, conhecido como esborcinamento das bordas, sendo comum em pisos que não possuem a adequada transferência de carga, como demonstrado na figura 2.2.

100% de Transferência de Carga

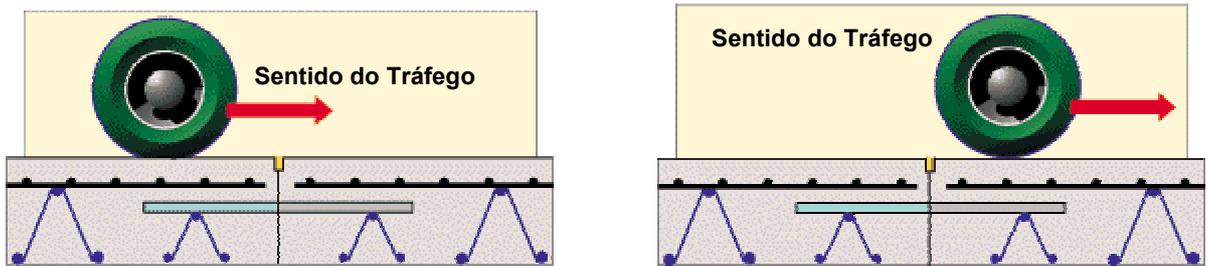


Figura 2.2 – Junta protegida

Pode-se notar pela figura 2.2, que quando há adequada transferência de carga através de um dispositivo devidamente dimensionado (ver item 5 – Dimensionamento dos mecanismos de transferência de carga), preparado e posicionado, tem-se assegurada a vida útil do piso de concreto.

Devido a necessidade de manutenção periódica e para que se tenha uma vida útil maior possível do piso, é importante que se utilize todos os recursos possíveis para a diminuição do número de juntas em uma obra, já que elas são, normalmente, a principal causa do início do processo de falência dos pisos e pavimentos.

A recomendação para placas de concreto simples, é de que a relação entre largura e comprimento seja de 1 : 1,5.

Existem organismos que sugerem placas ainda menores como por exemplo a relação de 1 : 1,25, ou seja, para placas de uma rodovia com largura de 3,6 m, tem-se comprimentos de 4,5 m.

Para os pavimentos armados, esta relação fica por conta das questões executivas, sendo que para os pavimentos continuamente armado, existem apenas as juntas de encontro com pontes ou outras estruturas, obtendo-se placas com quilômetros de extensão.

3 – Tipos de Juntas

Para os pisos industriais, poucos são os tipos de juntas necessárias para que se tenha sucesso na realização da obra. Podem ser classificadas em:

- Junta Longitudinal de Construção - JC;
- Junta Serrada - JS;
- Junta de Expansão - JE.

3.1 Junta Longitudinal de Construção

São as juntas construtivas de um pavimento, sendo que o seu espaçamento está limitado pelo tipo de equipamento utilizado, geometria da área e aos índices de planicidade a serem obtidos.

As juntas de construção podem possuir encaixes do tipo macho e fêmea ou utilizarem barras de transferência (figura 3.1). As do tipo macho e fêmea tem tido o seu emprego reduzido por terem baixa capacidade de transferência de carga, por dificuldades executivas e principalmente pela grande ocorrência de fissuras próximo das bordas (Rodrigues & Cassaro, 1998). Este tipo de dispositivo de transferência de carga (ACI, 1996), não deve ser utilizado para pisos com espessura menor do que 15 cm.

A figura 3.1, apresenta uma seção típica de uma junta de construção com uso de barras de transferência. É importante destacar o posicionamento das barras de transferência e da tela soldada.

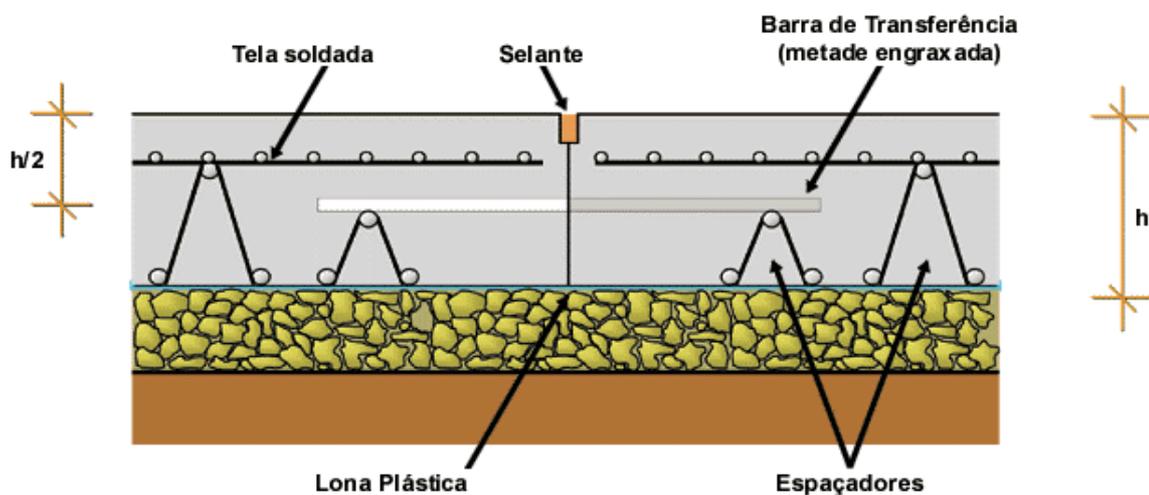


Figura 3.1 – Junta longitudinal de construção

3.2 Juntas Serradas – JS

O processo construtivo utilizado atualmente, prevê a concretagem em faixas e limitadas em sua largura pelas juntas longitudinais de construção. Logo após o processo de acabamento do concreto, deve-se iniciar o corte das juntas transversais de retração, também conhecidas como juntas serradas (figura 3.2). Uma grande angústia das empresas que executam este tipo de obra é a determinação do melhor momento de início deste processo.

Em geral, este tempo é cerca de 10 horas após o lançamento do concreto, porém, existe uma grande variação de acordo com o tipo de cimento, temperatura ambiente, relação água/cimento, tipos e dosagem de aditivos, ventos e outros fatores externos.

O corte deve ter (Rodrigues & Cassaro, 1998) pelo menos 40 mm, ser maior do que 1/6 da espessura da placa e menor do que 1/4 da espessura da mesma. Segue a figura 3.2, que apresenta seção transversal típica.

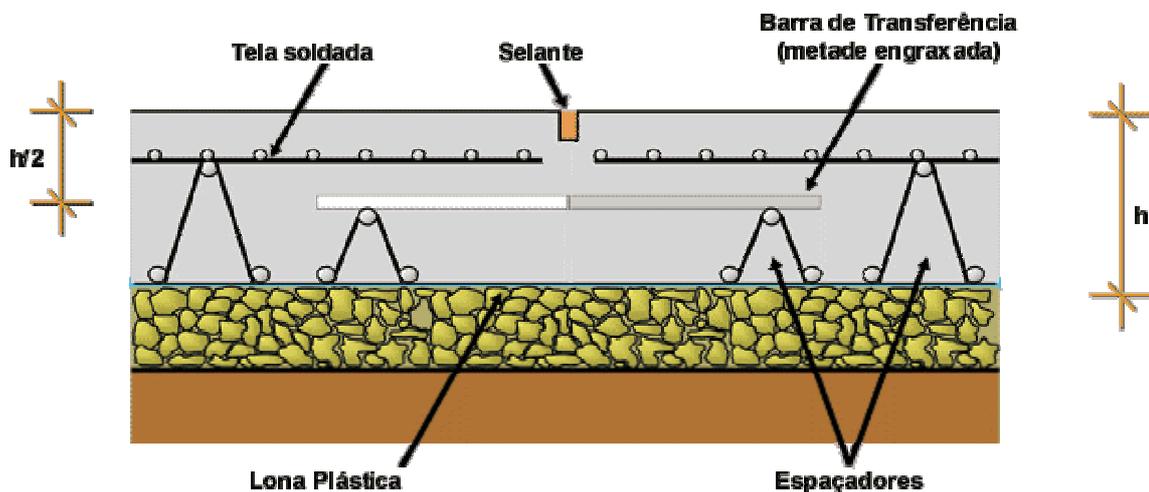


Figura 3.2 – Junta serrada

3.3 Juntas de expansão - JE

As juntas de expansão são fundamentais para isolar o piso das outras estruturas como vigas baldrames, blocos de concreto, bases de máquinas ou outras (figura 3.3). Esta é uma premissa que faz com que o piso trabalhe independente das outras estruturas existentes. Nos casos de pilares e pequenas aberturas nos pisos, normalmente utiliza-se a solução apresentada na figura 3.4, também conhecida como junta tipo diamante.

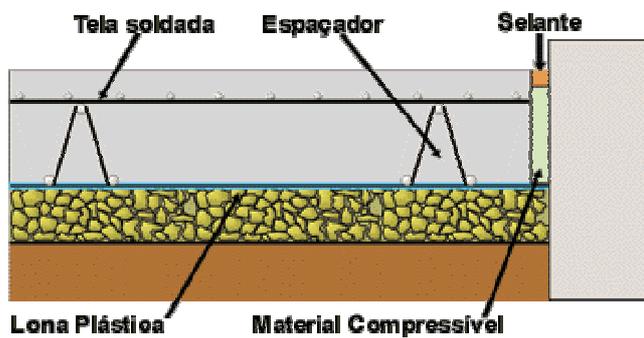


Figura 3.3 – Junta de expansão

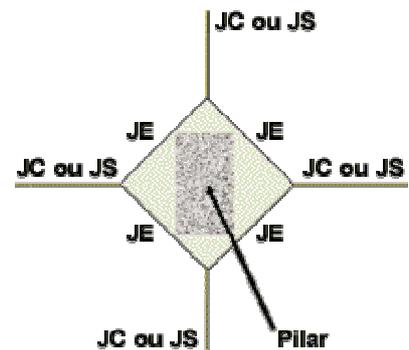


Figura 3.4 – Junta de expansão tipo diamante

Já a utilização da junta de expansão entre placas, também conhecida como Junta de Dilatação - JD, não é usual para os pisos industriais, sendo utilizada apenas em casos especiais, principalmente nos casos de mudança de direção de tráfego, fato comum em docas de recebimento de materiais. Este detalhe construtivo é muito semelhante ao da junta de construção, sendo necessário prever um capuz no final da barra de transferência com folga aproximada de 20 mm (figura 3.5).

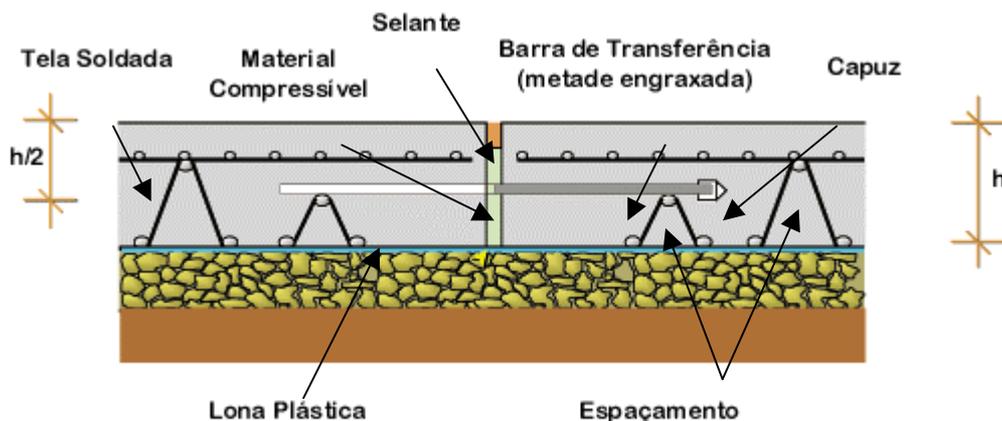


Figura 3.5 – Junta de dilatação

4 – Mecanismos de Transferência de Carga

A compreensão da necessidade dos mecanismos de transferência de carga fica evidente ao analisar-se as tensões que ocorrem em função da posição da carga em relação às juntas, conforme apresentado na figura 4.1.

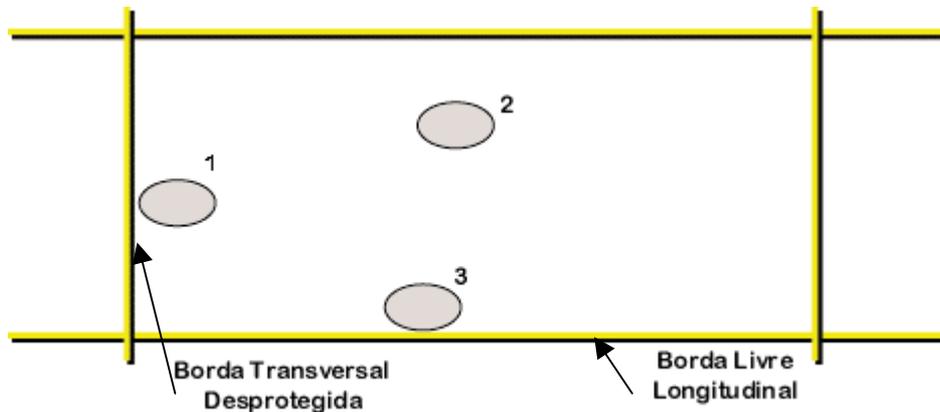


Figura 4.1 – Posição relativa das cargas

A carga no interior da placa, posição 2, é a que apresenta a menor sollicitação, enquanto a localizada na borda longitudinal livre, posição 3, é a que apresenta a maior sollicitação.

Para efeitos comparativos, pode-se dizer que se o momento gerado pela carga na posição 1 for igual a 1,0, essa mesma carga produzirá na posição 2 um momento igual a 0,7 e na posição 3, um momento igual a 1,4.

Portanto, caso não sejam previstos mecanismos de transferência de carga nas juntas, de forma a garantir a continuidade do pavimento, o dimensionamento deveria ser efetuado pela posição de carga mais desfavorável.

Esse procedimento acabaria por gerar pisos de espessuras elevadas e antieconômicas, além de não garantirem a imobilidade vertical necessária.

Modernamente, os pisos são dimensionados de modo a garantir a continuidade do piso nas juntas, isto é, dotando-as de mecanismos eficientes, permitindo que o dimensionamento seja feito considerando a carga atuando longe das bordas livres.

Os mecanismos mais comuns são as barras de transferência, empregadas tanto nas juntas longitudinais de construção ou serradas, como nas juntas

transversais serradas; outro tipo são as juntas tipo macho e fêmea, empregadas nas juntas longitudinais de construção e que foram apresentadas no item 3.

Observa-se hoje em dia que o tipo mais comum é constituído pelas barras de transferência, em função da praticidade e da eficácia que ele permite. O sistema macho e fêmea deve ser evitado devido à sua baixa eficiência em aplicações industriais (ACI, 1996).

Neste sistema, a transferência de carga depende da união entre as duas faces da junta que, nos pavimentos rodoviários, essa união, é garantida por barras de ligação. Nos pisos industriais não é possível o emprego desse recurso, pois restringiria os movimentos de retração da placa, com conseqüente descolamento das faces, tornando o sistema ineficiente (figura 4.2).

Existem outros mecanismos de transferência que podem ser considerados, como pelo entrosamento dos agregados, mas que para serem eficientes a abertura máxima da junta deve ser inferior a 1mm (ACI, 1996), limitando o comprimento da placa em poucos metros.

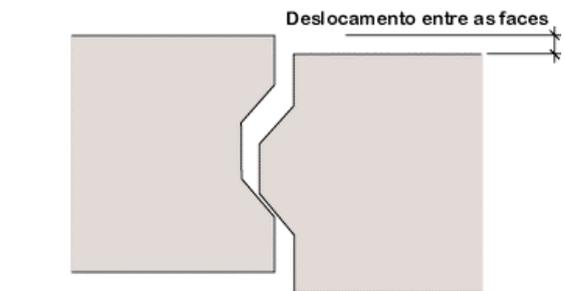


Figura 4.2 – Encaixe tipo macho e fêmea

Outro sistema, composto por chapas planas em formato triangular (Walker&Roland, 1998), pode ser empregado em juntas de construção, estando em estágio experimental de utilização. Apresenta como vantagem principal permitir o movimento horizontal da placa em duas direções, ortogonal e paralela ao seu eixo principal.

Embora as barras de transferência sejam as preferidas nos pisos industriais, é importante salientar que a sua eficiência é inversamente proporcional à folga com o concreto; práticas como envelopar com mangueira, plástico ou papel, ou mesmo retirar as barras para facilitar a remoção das fôrmas, são práticas condenáveis por facilitarem em demasia a perda da qualidade da junta.

5 – Dimensionamento das Barras de Transferência

As barras de transferência têm o seu desempenho ditado por dois parâmetros principais: o espaçamento e o diâmetro das barras; secundariamente, é função também da abertura da junta (Yoder & Witczak, 1975). É prática comum o emprego do espaçamento fixo, geralmente 30 cm e diâmetro conforme espessura do piso (Rodrigues & Cassaro, 1998).

Espessura da placa (mm)	Diâmetro da barra (mm)	Comprimento da barra (cm)	Espaçamento (mm)
125	16	40	30
150	20	40	30
200	25	46	30
> 250	32	46	30

Quadro 5.1

Essa tabela permite que o diâmetro da barra seja adotado com relativa facilidade. Entretanto, deve-se lembrar que o seu estabelecimento foi feito com base em pisos e pavimentos de concreto simples, isto é, aqueles em que os esforços atuantes são resistidos apenas pela resistência à tração na flexão do concreto.

Modernamente, com o aprimoramento dos processos de cálculo e o advento de novas tecnologias, tem-se observado expressiva redução nas espessuras dos pisos industriais, com o emprego, por exemplo, de espessuras de 15 cm onde antes eram necessários 24 cm.

As tensões atuantes nas barras de transferência estão intimamente ligadas à espessura da placa, através do raio de rigidez relativo l :

$$l = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times k}}$$

Onde:

- E é o módulo de elasticidade do concreto (kgf/cm^2)
- h é a espessura da placa de concreto (cm^2)
- ν é o coeficiente de Poisson do concreto, tomado como 0,15
- k é o coeficiente de recalque da fundação ($kgf/cm^2/cm$)

Para avaliar a influência do raio de rigidez relativo na força aplicada nas barras de transferência, pode-se comparar, por exemplo, uma carga P aplicada em uma junta, exatamente no alinhamento de uma barra de transferência.

A tendência natural é que essa força distribua-se com maior intensidade na barra em seu alinhamento, enquanto que as barras adjacentes recebam um esforço menor, proporcional à distância que se encontram do centro de aplicação de cargas.

A influência da carga se fará sentir até uma distância igual a 1,8 vezes o raio de rigidez relativo. Portanto, quanto maior ele for, mais barras estarão repartindo o esforço aplicado.

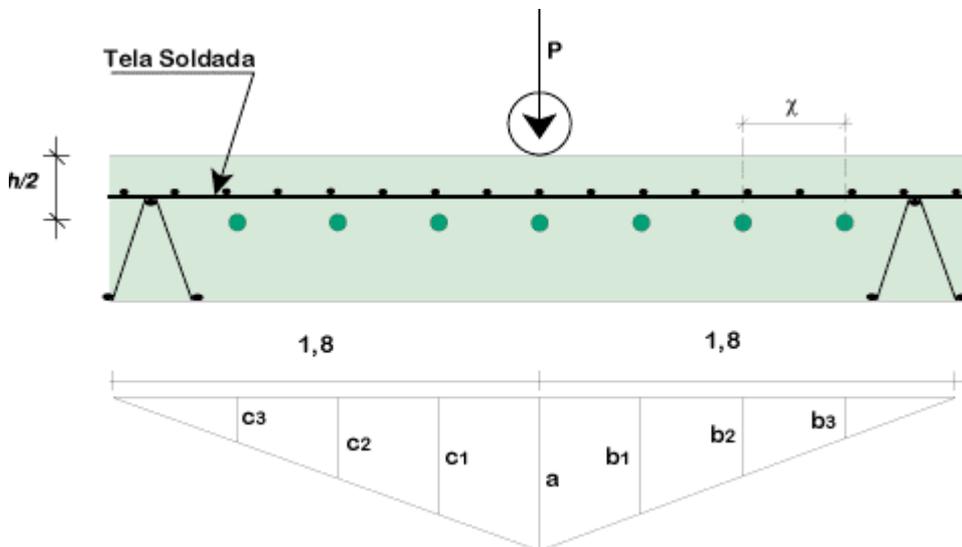


Figura 5.1 – Distribuição de esforços nas barras de transferência

Com base na figura 5.1, pode-se ter os seguintes esforços aplicados, quando a carga estiver posicionada no interior da placa:

$$\begin{aligned}
 a &= 1 \\
 b_1 &= c_1, b_2 = c_2 \dots b_n = c_n \\
 b_n &= 1 - \frac{n \times x}{\ell}
 \end{aligned}$$

O esforço atuante na barra mais solicitada, situada imediatamente abaixo dela, considerando a junta com 100% de eficiência será:

$$P_a = \frac{0,5 P}{1 + 2 \times (b_1 + b_2 + \dots + b_n)} \quad (\text{kgf})$$

Quando a carga situa-se próxima a uma borda livre, o esforço atuante na barra mais solicitada será:

$$P_a = \frac{0,5 P}{1 + (b_1 + b_2 + \dots + b_n)} \quad (\text{kgf})$$

A análise das duas expressões permite de imediato perceber que a barra mais solicitada estará sempre próxima a uma borda livre. Quando houver mais de uma força atuando na junta, o efeito nas barras deve ser superposto.

Esse modelo, proposto por Friberg (Yoder & Witczak, 1975), admite que a placa de concreto é absolutamente rígida, e portanto o subleito acaba não recebendo esforços, o que na realidade não ocorre; logo, as cargas nas barras assim avaliadas acabam sendo maiores do que calculado.

Por exemplo, supondo uma junta com barras espaçadas a cada 30 cm, com eficiência de 100%, isto é, que distribui igualmente os esforços nos dois lados da junta, e carga P aplicada coincidentemente no eixo de uma barra. Se l=80cm, a barra mais solicitada estará recebendo um esforço equivalente a 0,05P; se l = 50 cm, o esforço será 0,08P, ou seja, 60% maior do que na placa mais rígida.

Quando uma carga P_a atua em uma barra imersa no concreto, conforme mostra a figura 5.2 (Huang, 1993), apresenta a seguinte rigidez:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Kd}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{5,1K}{b^3 E}}$$

Onde k é o suporte da barra de transferência (podendo ser considerado igual a $0,41 \cdot 10^6$ MPa/m). E é o módulo de elasticidade do aço (210 GPa), b e l são o diâmetro e o momento de inércia da barra de transferência.

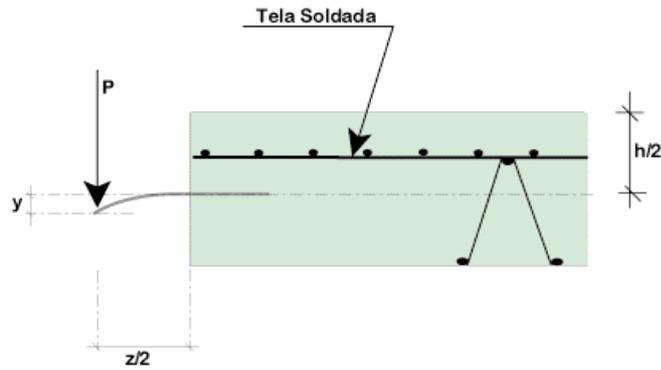


Figura 5.2 – Deformação da barra de transferência

A deformação y da barra é dada por:

$$y = P_a \times \alpha \text{ (m)}$$

Onde

$$\alpha = \frac{(2+z\beta)}{4 \beta^3 EI} \quad \text{(ver quadro 5.2)}$$

e z é a abertura da junta.

Diâmetro	Abertura da Junta (mm)							
	2	3	4	6	8	10	15	20
12,5	1,94E -07	2,03E -07	2,12E -07	2,12E -07	2,20E -07	2,29E -07	2,51E -07	2,73E -07
16,0	1,25E -07	1,30E -07	1,30E -07	1,34E -07	1,39E -07	1,44E -07	1,56E -07	1,68E -07
20,0	8,41E -08	8,68E -08	8,68E -08	8,95E -08	9,22E -08	9,49E -08	1,02E -08	1,09E -08
25,0	5,66E -08	5,74E -08	5,82E -08	5,97E -08	6,13E -08	6,28E -08	6,67E -08	7,06E -08
32,0	3,66E -08	3,70E -08	3,74E -08	3,83E -08	3,91E -08	3,99E -08	4,20E -08	4,41E -08

Quadro 5.2 – Valores de α

A tensão de apoio no concreto é imediata: $\sigma = K \times y \text{ (MPa)}$

A análise das expressões indica que a deformação e a tensão, fixadas as propriedades geométricas e mecânicas da barra, irão variar com a abertura da junta. Por exemplo, a tensão de apoio (barra de 20 mm) em uma junta de dilatação pode ser de 10% (abertura de 10 mm) a 25% (abertura de 20 mm) maior do que numa junta de retração (abertura de 4 mm).

Nas juntas serradas, a abertura é função da retração hidráulica do concreto, dimensões das placas e do tipo de piso empregado; por exemplo, os pisos estruturalmente armados apresentam menor abertura de junta em função da restrição imposta pelas armaduras.

A tensão de apoio admissível é determinada pela expressão (adaptada de Huang, 1993):

$$\sigma_{adm} = \left(\frac{10 - b}{7,5} \right) f_{ck} \quad (\text{MPa})$$

No caso dessa tensão ser ultrapassada, ocorrerá o esmagamento do concreto em contato com a barra, com o conseqüente aumento de deformação. Uma vez ultrapassado o valor da deformação que ocorre para a carga situada no interior da placa, a borda passa a ser mais solicitada, devido à perda de eficiência da junta.

O processo de degradação passa a ser contínuo, pois a sub-base é mais solicitada, perdendo capacidade de suporte e aumentando a deformação na junta até que ocorra o colapso estrutural.

6. Cuidados no Projeto Geométrico

Tão importante quanto o dimensionamento da seção transversal, o projeto geométrico deve ter alguns cuidados, que permitam a execução da obra, garantam a durabilidade do piso, reduzam o custo de manutenção, ainda assegurem a perfeita utilização de acordo com o tipo de equipamento a ser utilizado.

Segue abaixo, alguns dos cuidados básicos a serem seguidos:

6.1 - A largura da faixa de concretagem deve ser consistente com os índices de planicidade exigidos para o uso do piso;

6.2 - No caso de haver cargas de prateleiras ou estantes, recomenda-se que as juntas longitudinais de construção sejam paralelas com a estanteria e distantes cerca de 15 cm dos montantes;

6.3 - As juntas devem ser alinhadas aos cantos internos do piso (figura 6.1);

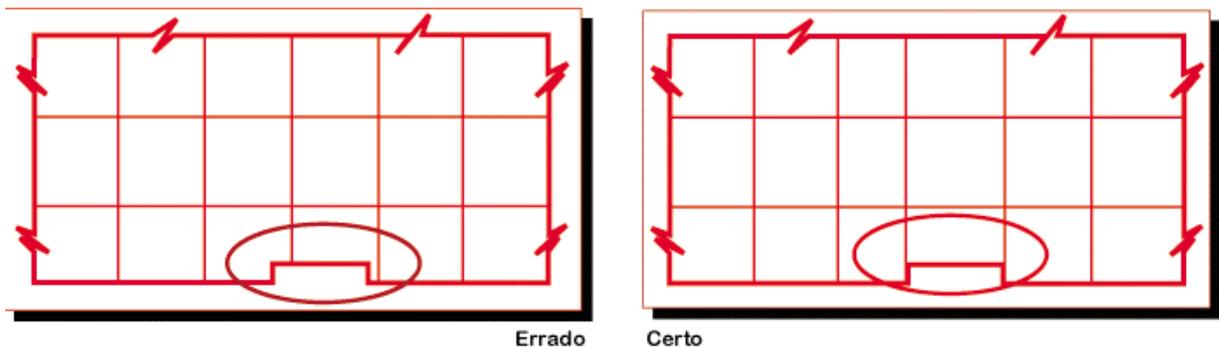


Figura 6.1 - Alinhamento de juntas

6.4 - O comprimento de uma junta de construção ou serrada, deve ser no mínimo igual a 50 cm de comprimento (figura 6.2);

6.5 - Prever Ângulos de encontro entre juntas sempre maiores do que 90° (figura 6.2);

6.6 - Uma junta de construção ou serrada, deve sempre encontrar uma curva em Ângulo igual a 90° (figura 6.2 e 6.4);

6.7 - Uma junta de construção ou serrada não pode terminar em outra junta de construção ou serrada, sempre deverá terminar em uma junta de expansão (figura 6.3);

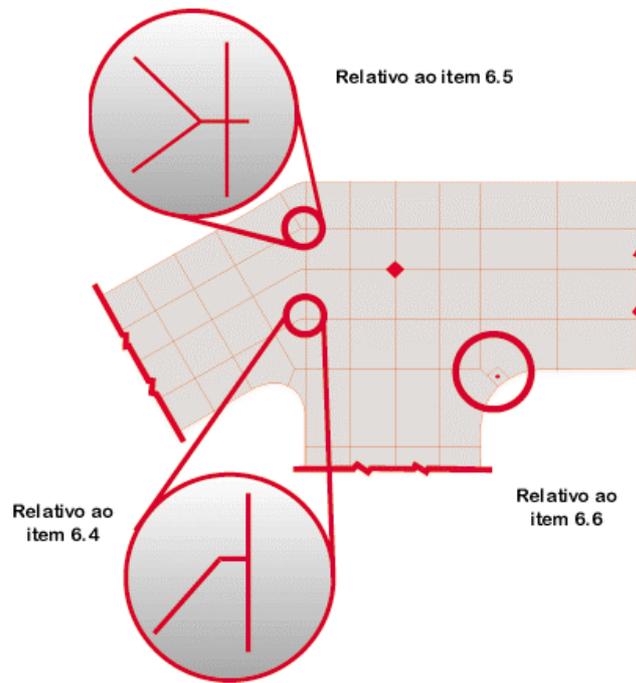


Figura 6.2 - Detalhe geométrico



Figura 6.3 - Fissura

Junta de construção terminando em junta serrada gerando uma trinca alinhada com a junta de construção.

Solução: a junta de construção deveria continuar além da junta serrada.



Figura 6.4- Fissura

Junta serrada terminando em junta de encontro, gerando fissura a 90° em relação à curva.

Solução: Prever encontro da junta serrada ou de construção com uma curva sempre em ângulo de 90°.

7. Selantes para Juntas

O mercado oferece uma vasta gama de materiais para preenchimento de juntas, que podem ser divididos em duas famílias: os pré-moldados e os moldados in loco.

Os pré-moldados, geralmente de neoprene, devem ser usados em situações particulares, pois caso haja emprego de empilhadeiras de rodas rígidas, exigem a confecção de lábios poliméricos. Por esse motivo, acabam tendo pouca utilização em áreas industriais.

A preferência acaba sendo pelos moldados in loco, geralmente constituídos por poliuretano ou asfalto modificado, mono ou bi-componentes, havendo também a família dos silicones.

Entretanto, quando estão previstos tráfego de veículos de rodas rígidas, notadamente as de pequeno diâmetro, os únicos selantes capazes de apresentarem adequado suporte as tensões geradas nas bordas da junta são os polisulfetos, uretanos e epoxy bi-componente.

O epoxy é o material preferido em função da sua maior facilidade de manuseio e cura independente das condições ambientais de obra. A dureza desses materiais deve ser de no mínimo 80 (Shore A) e devem ter teor de sólidos de 100% (ACI, 1996). Quando a junta é de construção, recomenda-se a adoção de lábios poliméricos.

Recentemente têm surgido selantes de poliuretano com dureza mais elevada (50 Shore A), que podem vir a substituir o epoxy semi-rígido. O bom desempenho do selante não está vinculado apenas a qualidade do material, mas também da sua geometria após curado. Sabe-se que a relação entre a largura e a profundidade do reservatório, chamada relação fator de forma, é um fator preponderante para um trabalho eficaz das juntas.

O fator de forma (profundidade dividido pela espessura do selante) é variável de acordo com o tipo de material selante. De uma maneira em geral, deve-se seguir a orientação dos fabricantes, no que se refere ao fator de forma, que varia geralmente de 1 a 2.

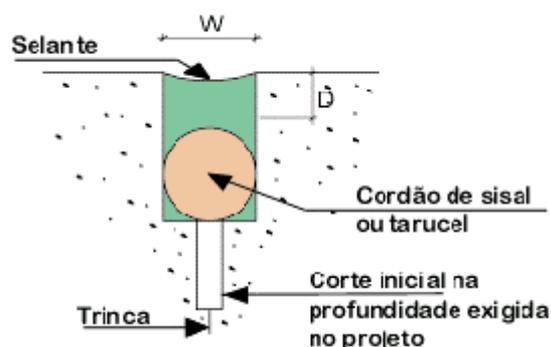


Figura 7.1

Outro ponto importante refere-se ao tempo transcorrido entre a execução do piso e a selagem da junta. Se esta for executada muito cedo, o concreto ainda estará retraindo e corre-se o risco de deslocamento ou ruptura do selante, notadamente quando se trabalha com epoxy. Na realidade, o concreto continua retraindo por muito tempo, sendo que a maior parte ocorre no primeiro ano, função basicamente das condições climáticas, notadamente a umidade relativa do ar.

Portanto, é recomendável que a selagem seja retardada o máximo possível, para evitar que ocorram problemas com o selante.

8. Controle de Qualidade - Recebimento

As juntas do piso deverão obedecer a pelo menos os seguintes requisitos:

- As barras de transferência devem ser posicionadas de modo que o desvio máximo com relação ao espaçamento de projeto seja inferior a 25 mm;
- Alinhamento das juntas construtivas não deve variar mais do que 10 mm ao longo de 3 m;
- Nas juntas serradas a profundidade do corte não deve variar mais do que 5 mm com relação à profundidade de projeto.

9. Referências Bibliográficas

- ACI 302.1R-96: *Guide for Concrete Floor and Slab Construction*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1996.

- Eres Consultants: *Load Transfer Design and Benefits for Portland Cement Concrete Pavements*. Report Number 96-128-E1, American Concrete Pavement Association, 1996.

- Huang, Y. H.: *Pavement Analysis and Design*. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 1993.

- Rodrigues, Públio P. F. & Cassaro, Caio F.: *Pisos Industriais de Concreto Armado*. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, IBTS, 1998.

- Walker, Wayne W. & Holland, Jery: *Plate Dowels for Slab on Ground*, Concrete International, Vol. 20 No. 7, July, 1998 pg. 32-39.

- Yoder, E. J. & Witczak, M. W.: *Principles of Pavement Design*. Ed. John Wiley and Sons, N.Y., 1975