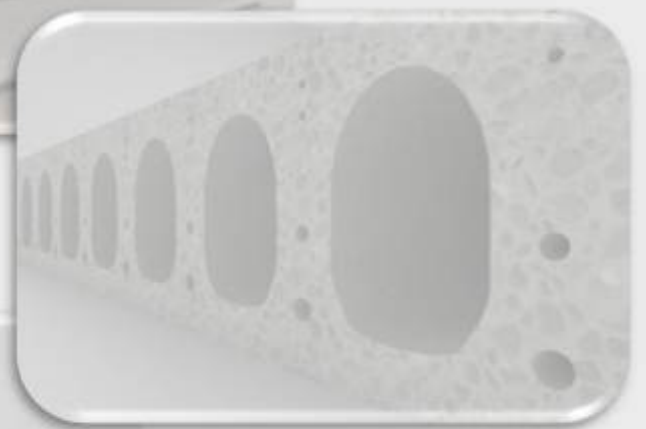


LAJE ALVEOLAR



MANUAL DE INFORMAÇÃO LAJE ALVEOLAR PROTENDIDA

1ª edição

02/2015



Elaboração: Equipe Técnica BPM Pré-moldados

SUMÁRIO

1	BPM PRÉ-MOLDADOS	4
2	LAJES ALVEOLARES.....	4
2.1	Descrição do produto	4
2.2	Projeto.....	5
2.3	Fabricação	5
2.4	Materiais	6
2.5	Eficiência.....	6
3	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS.....	8
3.1	Seções padrão	8
3.2	Características	10
3.3	Curvas de desempenho	10
3.4	Contra-flecha.....	11
3.5	Distribuição transversal de cargas	12
3.6	Aberturas	15
3.7	Comprimento de apoio.....	18
3.8	Manuseio e estocagem	19
3.9	Preenchimento de alvéolos.....	20
3.10	Equalização	20
3.11	Capeamento de concreto.....	21
4	EXCELÊNCIA.....	22
5	REFERÊNCIAS	24

1 BPM PRÉ-MOLDADOS

A BPM Pré-moldados buscou, com sua excelência no fornecimento de sistemas estruturais pré-moldados, a maior inovação do parque tecnológico brasileiro, pois é a única empresa do país a importar um sistema modernizado de fabricação totalmente computadorizado com alto grau de precisão. A máquina de lajes alveolares fabricada pela Prensoland caracteriza-se como uma modeladora. Esta máquina permite que a BPM produza lajes com o melhor nível de acabamento do país e com uma produtividade superior à das máquinas similares.

A BPM possui uma área física exclusivamente ligada à fabricação de lajes alveolares, a Unidade II. Com isso, procura-se atender a demanda de empresas que buscam resultados rápidos e com acabamento de alto padrão. Juntamente com o objetivo de fornecimento, busca-se aprimorar os produtos e estar cada vez mais capacitados a atender o mercado e suas necessidades, usando métodos seguros, eficientes e de altíssima tecnologia.

2 LAJES ALVEOLARES

2.1 Descrição do produto

As lajes alveolares são um tipo especial de laje, que atendem grandes vãos para diversos tipos de utilização. São formadas por concreto com vazios longitudinais para redução do seu peso próprio e melhor desempenho estrutural. A estes vazios dá-se o nome de alvéolos. Os alvéolos são limitados por paredes de concreto chamadas de alma ou nervuras. As lajes são produzidas com concreto de elevada resistência à compressão ($f_{ck} \geq 45\text{MPa}$) e com aços especiais para protensão.

A armadura protendida é a única armadura que reforça a laje. Este tipo de peça não possui armadura de cisalhamento, sendo o concreto o único responsável pela resistência ao esforço cortante. Por este motivo, entre outros, a qualidade do concreto deve ser constante e rigidamente controlada.

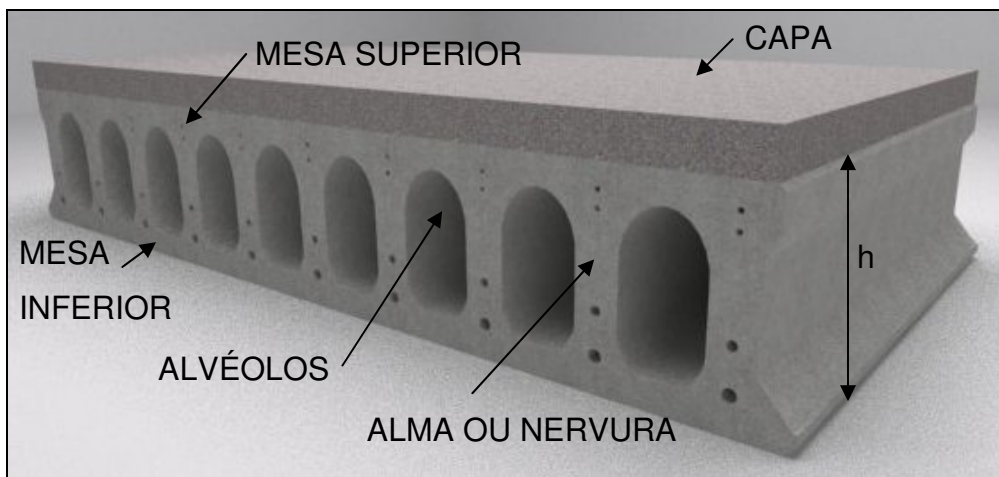


Figura 1- Acabamento final das lajes.

É importante ressaltar que praticamente todas as normas do mundo dedicam pelo menos um parágrafo às lajes alveolares e as isenta da obrigação de armadura de cisalhamento. Alguns fabricantes recomendam o limite de 50 cm de altura como o aceitável para lajes sem estribos para resistir ao cisalhamento.

2.2 Projeto

O projeto das lajes alveolares atende rigorosamente as normas NBR 6118:2014 e NBR 14861:2011, além de outras especificações internacionais como o Manual ASSAP (2002).

Estes projetos são desenvolvidos pela equipe de engenharia da BPM Pré-Moldados a partir do projeto arquitetônico fornecido pelo cliente. Conforme as necessidades de projeto serão adotadas soluções dentro das especificações de lajes disponíveis (lajes padrão) visando acelerar o processo de produção, entrega e montagem das lajes alveolares.

2.3 Fabricação

As lajes alveolares são produzidas por equipamentos de avançada tecnologia, com pouca incidência de mão de obra, em fundos metálicos, o que confere melhor acabamento na face inferior das lajes.

A inspeção das peças é realizada durante todo o processo produtivo, garantindo um produto final de alta qualidade e pouca ou nenhuma variabilidade.

A dosagem do concreto é realizada com o mais rigoroso processo (todos os materiais dosados em massa e correção contínua da umidade dos agregados), produzindo um concreto com baixa relação água/cimento que, além da alta resistência, protege as armaduras com maior eficiência, graças a sua baixa permeabilidade.

2.4 Materiais

O concreto da BPM é produzido com agregados selecionados. Ensaio periódico de controle de qualidade de todas as matérias primas são realizados e controlados pela equipe de projeto da BPM. Desta forma, a produção das lajes alveolares é acompanhada de um contínuo e rigoroso controle de qualidade, atestado pelo certificado de excelência da ABCIC.

O alto grau de adensamento do concreto conferido pelas máquinas da BPM também garante um módulo de elasticidade 1,3 a 1,5 vez maior que o do concreto moldado *in loco*. Além de reduzir a vibração no piso, este alto módulo permite que se vençam vãos maiores sem deformações visíveis a olho nu durante a utilização da obra.

As cordoalhas protendidas possuem resistência e características de relaxação certificadas além de controle constante do cobrimento de concreto que as mantêm protegidas dos agentes agressivos provenientes do meio ambiente.

2.5 Eficiência

As lajes alveolares são projetadas e padronizadas de forma a agilizar o processo produtivo. Já a redução no prazo de execução, se dá devido à utilização de máquinas de grande porte contribuindo para que a montagem seja executada de forma mais rápida, proporcionando uma redução considerável de mão de obra.

Além desses fatores, o uso das lajes alveolares traz os seguintes benefícios:

- dispensa andaimes e escoramentos, economizando material e eliminando os resíduos provenientes destas atividades do canteiro;
- as formas metálicas deixam a superfície do concreto mais lisa e com um aspecto melhor, podendo ainda ser aplicada pintura ou outro tipo de acabamento;
- podem ser utilizadas como bi-apoiadas, de forma contínua ou com engastes para vencer grandes vãos, de até 15 metros, e também com pequenos vãos em balanço. Vãos maiores podem ser vencidos, porém, dependem de um estudo específico a ser realizado pela equipe de projetos da BPM;
- excelente isolamento termo acústico;
- podem ser aplicadas a qualquer sistema construtivo como estruturas metálicas e convencionais, possibilitando a passagem de dutos para cabeados e aberturas quando necessário.

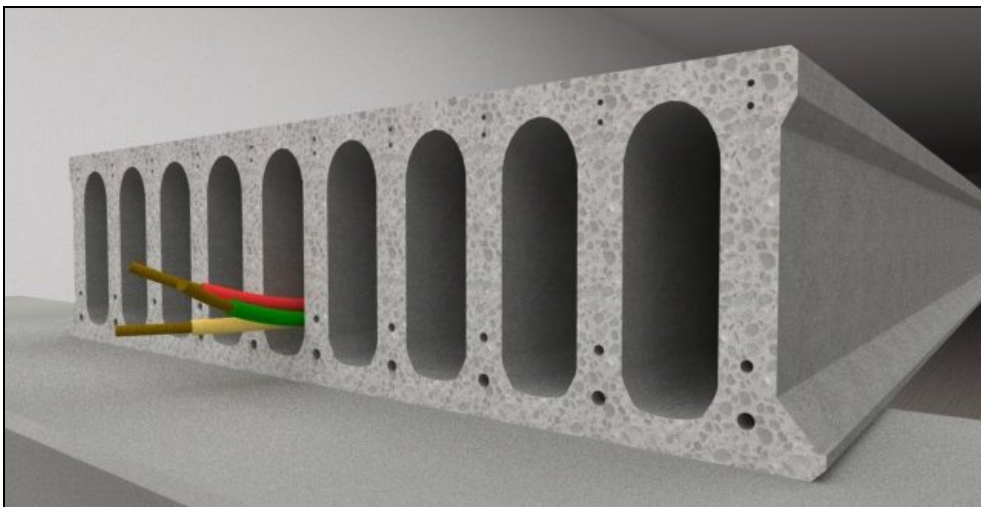


Figura 2- Passagem de cabeamento elétrico.

A distribuição transversal das cargas é obtida com o preenchimento com graute, ou concreto convencional das chavetas entre as lajes, como mostra a Figura 3.

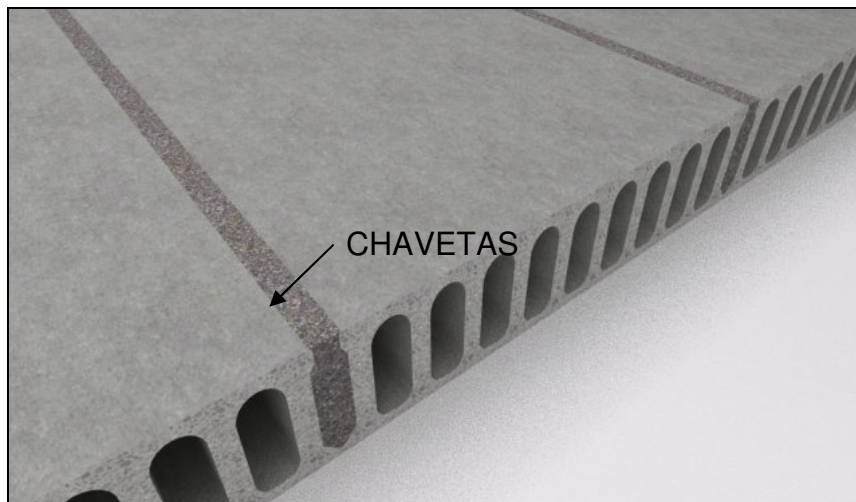


Figura 3- Preenchimento das chavetas entre as lajes.

3 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

As lajes alveolares padrão da BPM Pré-moldados possuem quatro alturas possíveis: 15, 20, 25 e 30 cm. A largura nominal das lajes é de 120 cm, incluindo a conexão longitudinal (chaveta). As chavetas são preenchidas com concreto para garantir a adequada transferência de carga para as lajes adjacentes.

As pistas de produção são longas e as lajes podem ser fornecidas com quaisquer medidas de vão, desde que respeitem as prescrições normativas. Cortes longitudinais também são possíveis para o perfeito emparelhamento das lajes e são previstos na paginação.

3.1 Seções padrão

As seções padrão das quatro alturas de lajes BPM disponíveis são apresentadas nas figuras a seguir.

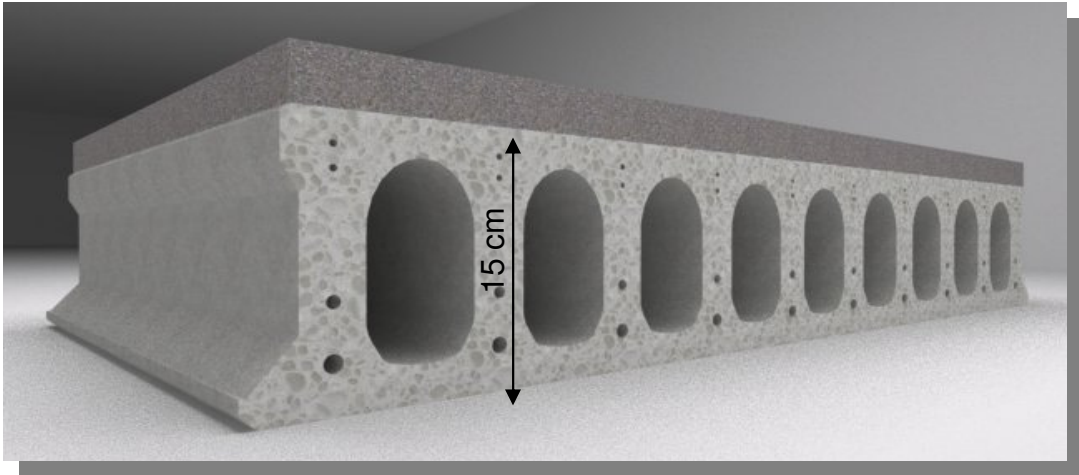


Figura 4- LAB 15

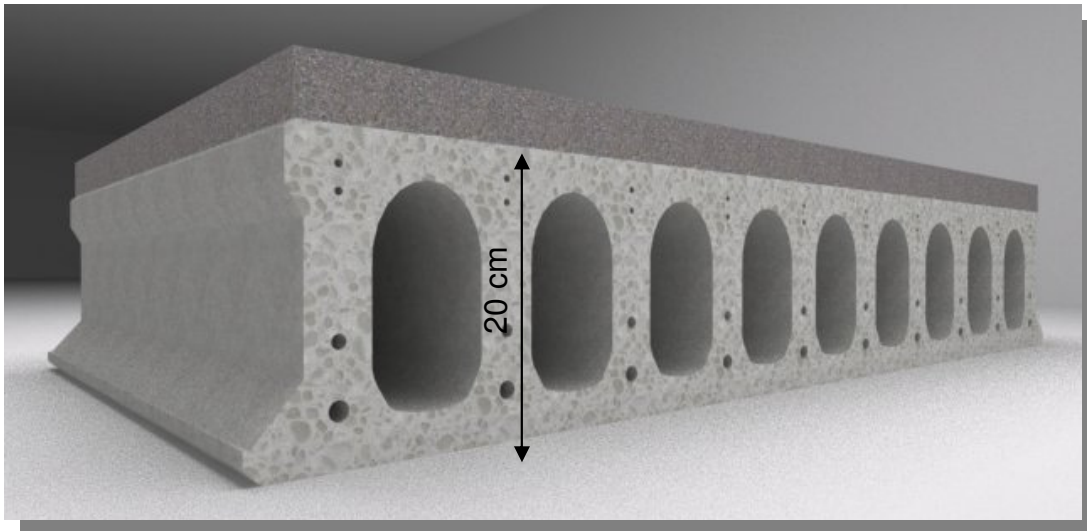


Figura 5- LAB 20

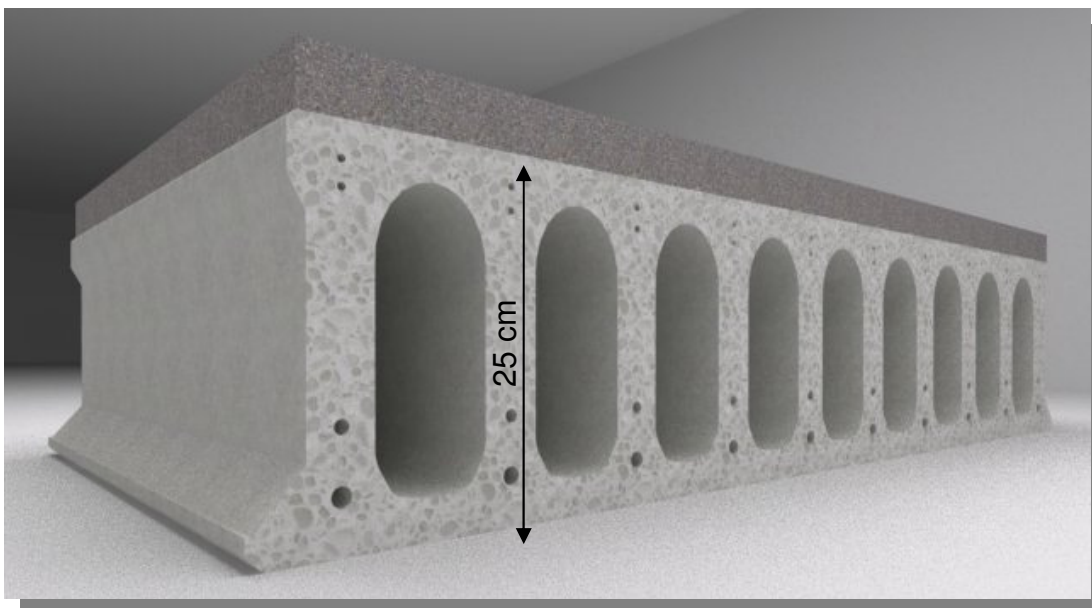


Figura 6- LAB 25

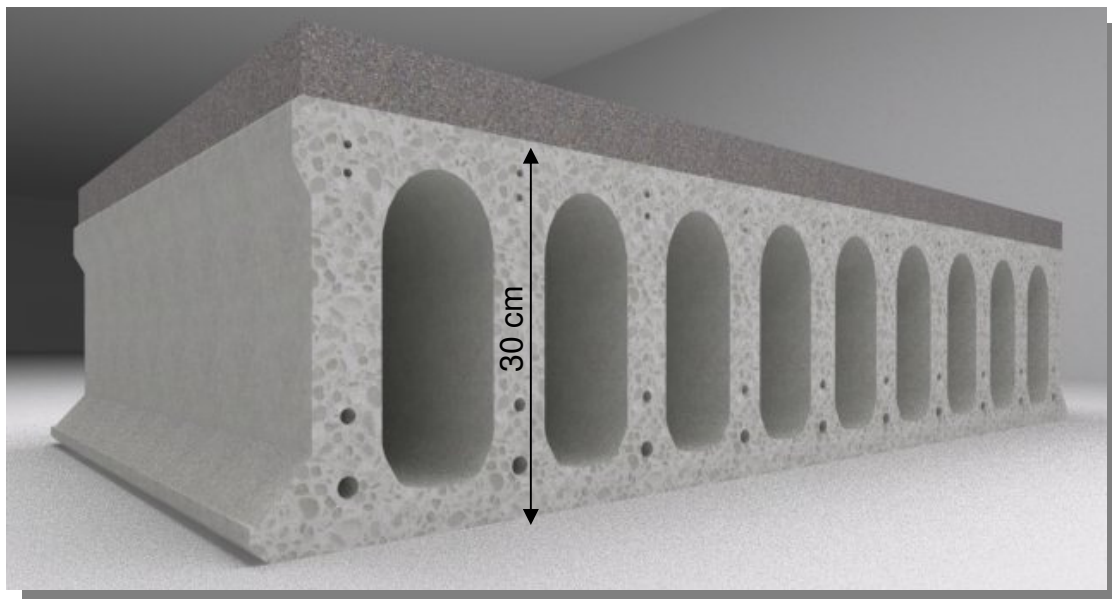


Figura 7- LAB 30

3.2 Características

As características das lajes BPM são apresentadas na Tabela 1. O peso apresentado na tabela não considera o peso da capa, que deverá ser adicionado ao valor da tabela sempre que existir. Da mesma forma, o volume da chaveta indicado na tabela não considera o volume de concreto da capa.

Tabela 1 – Características das lajes alveolares BPM.

Perfil	h (mm)	Largura (mm)	peso (kg/m ²)	V chaveta (litros/ml)
LAB 15	150	1198	234	4,7
LAB 20	200	1198	276	10,5
LAB 25	250	1198	316	13,9
LAB 30	300	1198	364	17,4

3.3 Curvas de desempenho

As curvas de desempenho das lajes alveolares BPM foram traçadas considerando-se uma limitação de deformação de 1/350 do vão sob ação de cargas variáveis e 1/250 do vão sob ação das cargas totais, conforme NBR 6118/2014. Estas curvas fornecem a capacidade de carga limite para cada tipo de laje em função do vão.

A Figura 8 apresenta as curvas para as lajes com capeamento de concreto de 5 cm de espessura. Neste gráfico, as cargas consideradas são o somatório das cargas adicionais e de utilização.

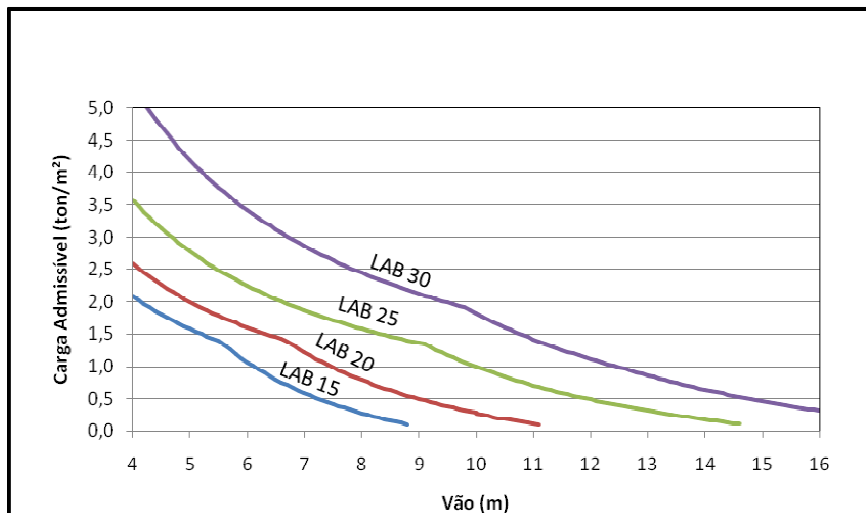


Figura 8 - Cargas admissíveis em função do vão, com capa de 5,0 cm, para pré-dimensionamento.

3.4 Contra-flecha

As peças de concreto protendido normalmente estão sujeitas a contra-flechas, uma vez que nem sempre o centroide da força de protensão coincide com o da seção da peça. É esperado, portanto, que as peças pré-moldadas protendidas apresentem contra-flechas que variam em função do vão e do nível de protensão. A Figura 9 apresenta as curvas de contra-flecha máxima e mínima esperada para cada altura de laje em função do vão, considerando-se 28 dias de estocagem.

As contra-flechas devem ser consideradas no cálculo da espessura da capa de concreto devido ao incremento de carga provocado. O cálculo do consumo de concreto da capa também deve levar em conta esta variação de espessura devida a contra-flecha. A Figura 10 ilustra a questão.

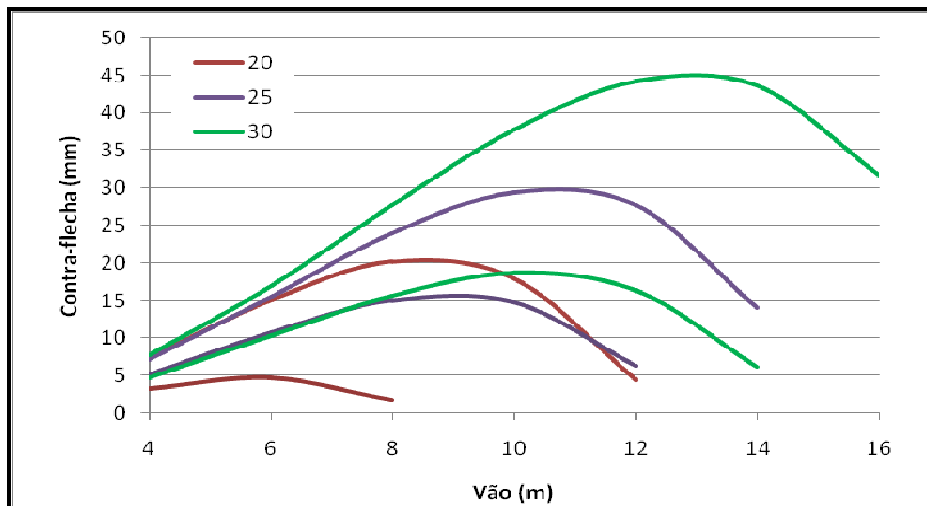


Figura 9 - Contra-flechas esperadas para as lajes alveolares BPM de 20 a 30 cm.

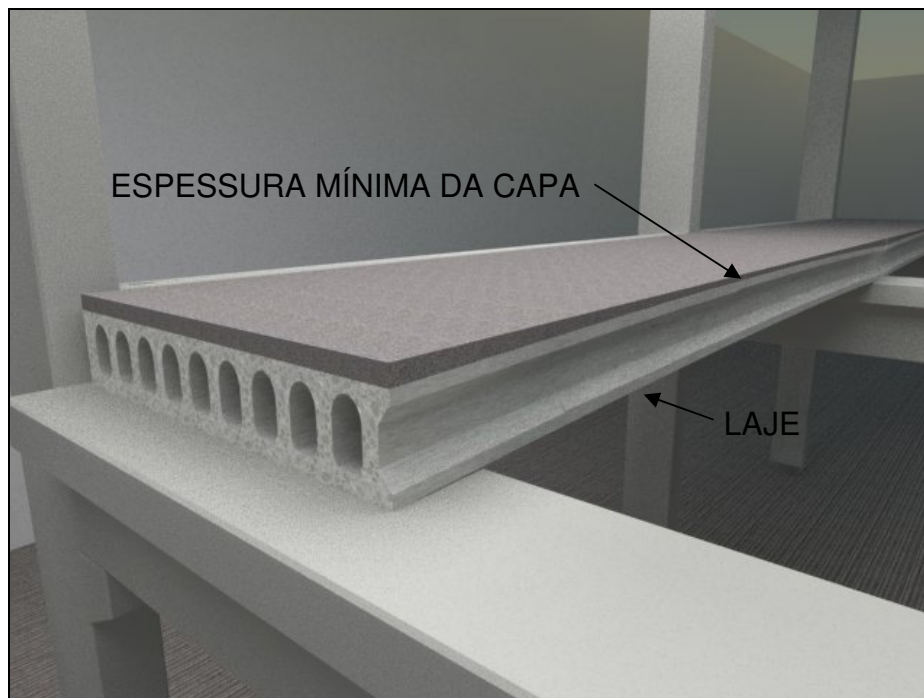


Figura 10 - Capa de concreto variável devido à contra-flecha da laje alveolar protendida.

3.5 Distribuição transversal de cargas

As lajes alveolares, em geral, transmitem lateralmente as cargas nelas aplicadas de maneira eficiente, sejam elas concentradas ou linearmente distribuídas. A chaveta, devidamente preenchida, pode funcionar como um “cilindro” rígido e, assim, favorecer a distribuição de cargas concentradas. Entretanto, isto só acontece

quando a movimentação relativa entre as lajes é evitada (chaveteamento perfeitamente executado).

Caso a chaveta não seja preenchida, ou a movimentação relativa não seja evitada, as lajes devem ser dimensionadas para resistir a 100 % da carga aplicada.

Apesar de pouco estudado, o efeito da distribuição transversal das cargas aplicadas às lajes foi abordado na norma europeia EN 1168/1997, em termos da percentagem de carga que é transversalmente distribuída.

A Figura 11 apresenta as recomendações da referida norma para carregamento linearmente distribuído. As cargas consideradas na figura devem ter um comprimento mínimo de metade do vão. Caso sejam menores, devem ser consideradas como lineares se o centro da carga coincidir com o centro do vão, ou como concentradas (no centro da carga linear) caso o centro de aplicação da carga não coincida com o centro do vão.

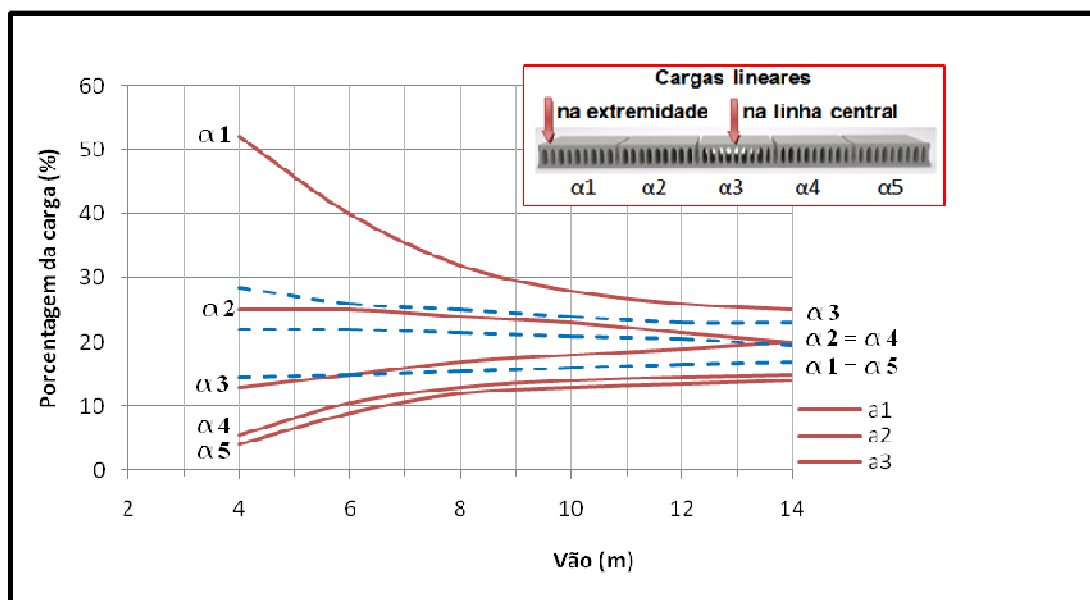


Figura 11 - Distribuição transversal de carregamento para cargas lineares na extremidade e na linha central das lajes alveolares. (Adaptada de ASSP)

A Figura 12 e a Figura 13 apresentam as recomendações da EN 1168/1997 para a distribuição transversal de carregamento pontual na linha central das lajes e na extremidade do conjunto de lajes, respectivamente. Os percentuais de distribuição

ali indicados são relacionados às cargas concentradas atuando no meio do vão ($x = l/2$). Para cargas próximas ao apoio ($x \leq l/20$) não há distribuição transversal de cargas, devendo a laje suportar 100% do carregamento. Para posições intermediárias de carga a porcentagem de distribuição poderá ser encontrada por interpolação linear.

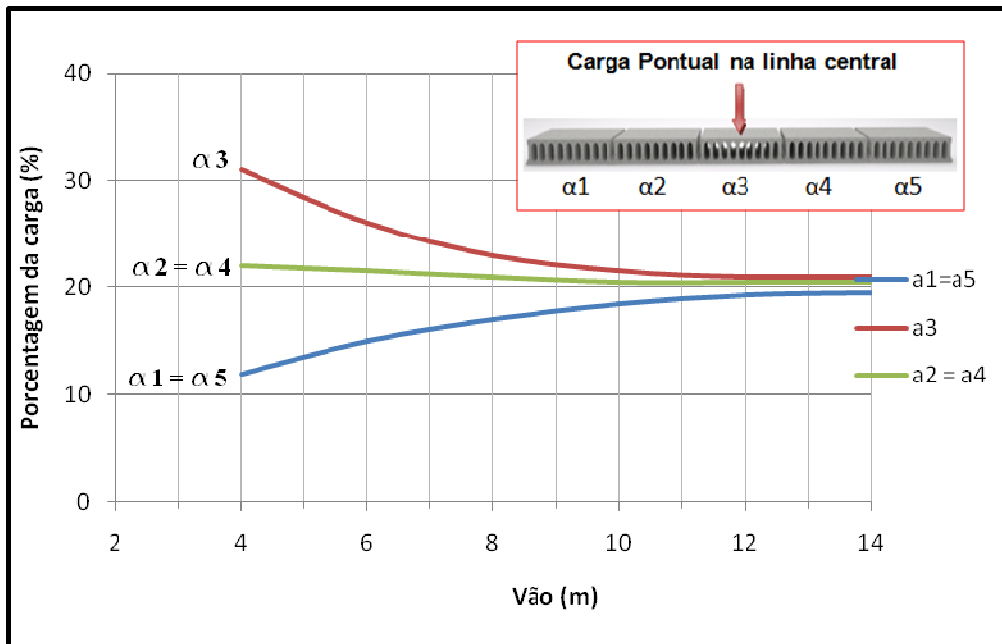


Figura 12 - Distribuição transversal de carregamento para cargas pontuais na linha central das lajes. (Adaptada de ASSP)

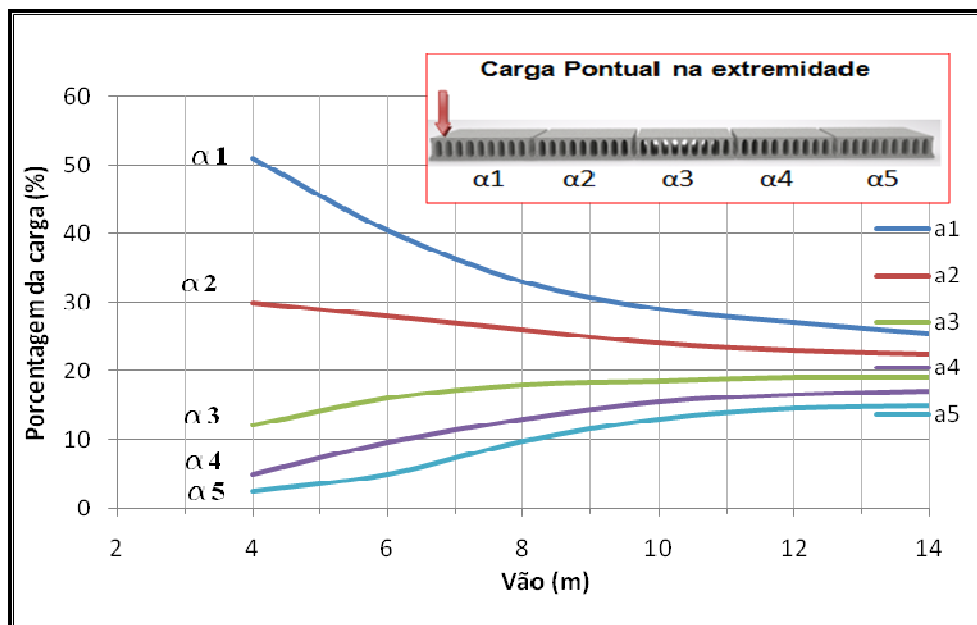


Figura 13 - Distribuição transversal de carregamento para cargas pontuais na extremidade do conjunto de lajes. (Adaptada de ASSP)

3.6 Aberturas

Quando necessário, no caso de instalações hidro sanitária, elétrica ou outros elementos, é possível executar aberturas nas lajes alveolares, desde que respeitem as restrições apresentadas a seguir. Estas aberturas podem ser executadas enquanto o concreto ainda se encontra no estado fresco ou mesmo após a pega e endurecimento do material.

As tensões internas geradas no material devido aos cortes podem, em alguns casos, levar à fissuração e esmagamento do concreto nestas regiões. Cortes pequenos nas extremidades das lajes normalmente não geram problemas, desde que a dimensão máxima do corte não exceda 40 cm. Em qualquer caso, é necessário verificar a resistência da peça com a seção cortada.

Para cortes maiores, é quase sempre necessário reforçar a armadura da laje. Este reforço pode ser executado na própria peça enquanto o concreto encontra-se no estado fresco ou no capeamento, dependendo do caso.

As especificações a serem respeitadas para cada tipo de abertura indicada na Figura 14, são apresentadas a seguir:

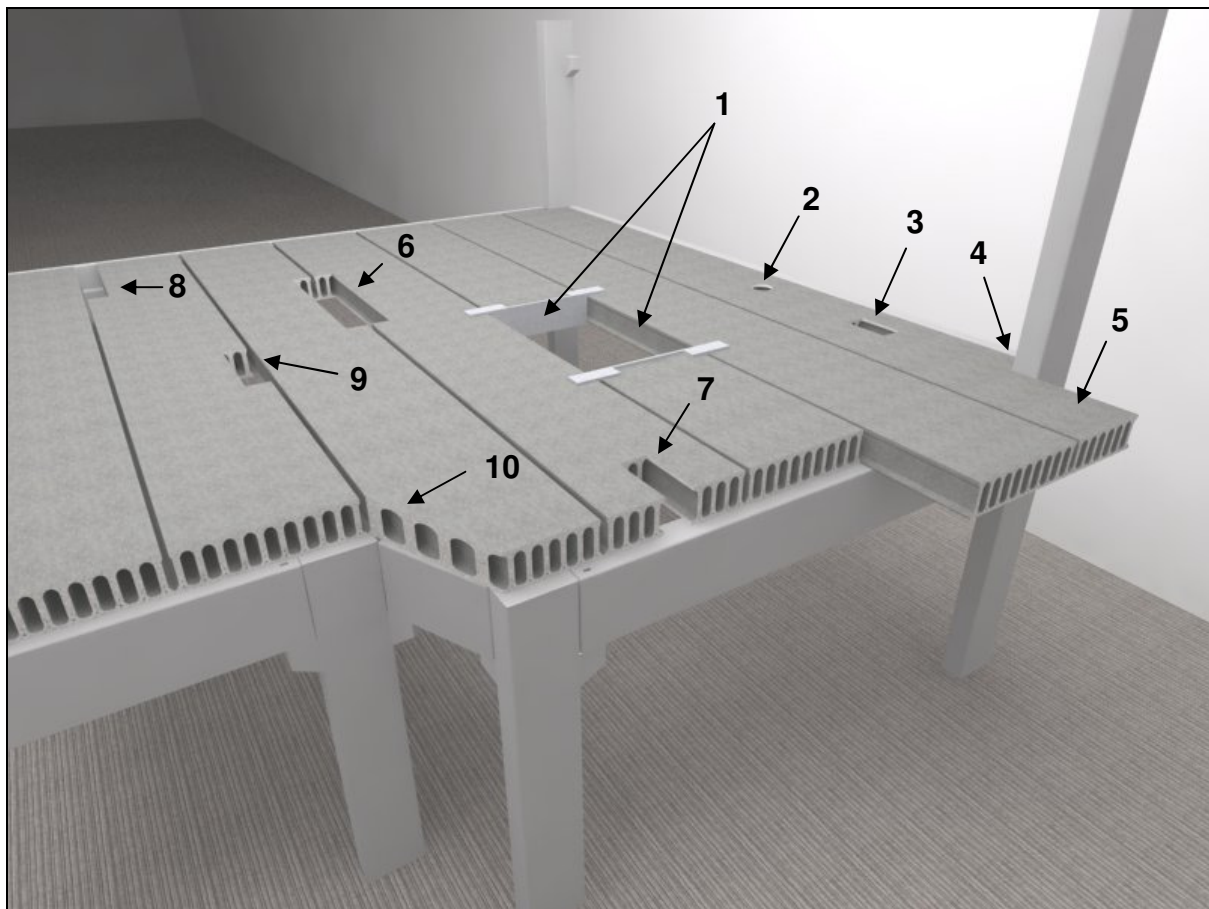


Figura 14 – Diferentes tipos de aberturas nas lajes.

- 1 - **Aberturas com vãos entre 1,20 e 2,40m:** usar suportes metálicos para apoio da laje;
- 2 - **Furos circulares:** quando o diâmetro for menor que a largura do alvéolo e a posição não atingir a nervura da laje, nenhuma verificação é necessária, caso contrário o setor de projetos da BPM deverá ser consultado. Nenhum furo desse tipo deve ter diâmetro maior que 150 mm.
- 3 - **Aberturas retangulares ou quadradas:** quando a largura da abertura for menor que a largura do alvéolo e a posição não atingir a nervura da laje, nenhuma verificação é necessária. A largura não deve ultrapassar 30 cm e quando for maior que a largura do alvéolo a resistência ao esforço cortante deve ser verificada. Se o comprimento for superior a 60 cm, é necessário acrescentar reforço;
- 4 - **Recortes no encontro com pilares:** quando sua largura for superior a 40 cm, devem ser utilizadas cantoneiras metálicas para prover o suporte às lajes, ou outro meio de apoio adequado. Quando for menor que 40 cm apenas a verificação do esforço cortante é necessária.

5 – **Balanço:** depende da carga a ser aplicada e da configuração de protensão utilizada na laje e sua avaliação deve ser feita pela equipe de projeto da BPM.

6 - **Recortes no comprimento de duas lajes:** não deve ter largura maior que 40 cm em cada painel, entretanto há necessidade de armadura de reforço e a verificação da capacidade de carga da laje cortada é **indispensável**.

7 - **Recorte na extremidade da laje:** pode ser de até 40 cm de largura e deve estar a uma distância não menor que 30 cm da borda lateral da laje. Quando seu comprimento for superior a 50 cm deve-se reforçar com armadura transversal e longitudinal realizando-se a verificação do esforço cortante;

8 - **Recortes nos vértices da laje:** não deve ter largura maior que 40 cm podendo ser necessário reforço transversal e a verificação do esforço cortante é **indispensável**;

9 - **Recortes na borda longitudinal de uma laje:** quando a largura for inferior a 20 cm nenhuma medida adicional é necessária, exceto a verificação da capacidade de carga da laje cortada.

10 - **Recorte transversal na extremidade:** se a parte cortada tiver apoio nenhuma medida adicional é necessária.

Pequenos furos (até 25 mm de diâmetro) para os suportes das instalações podem ser necessários e devem seguir o posicionamento apresentado na Figura 15.

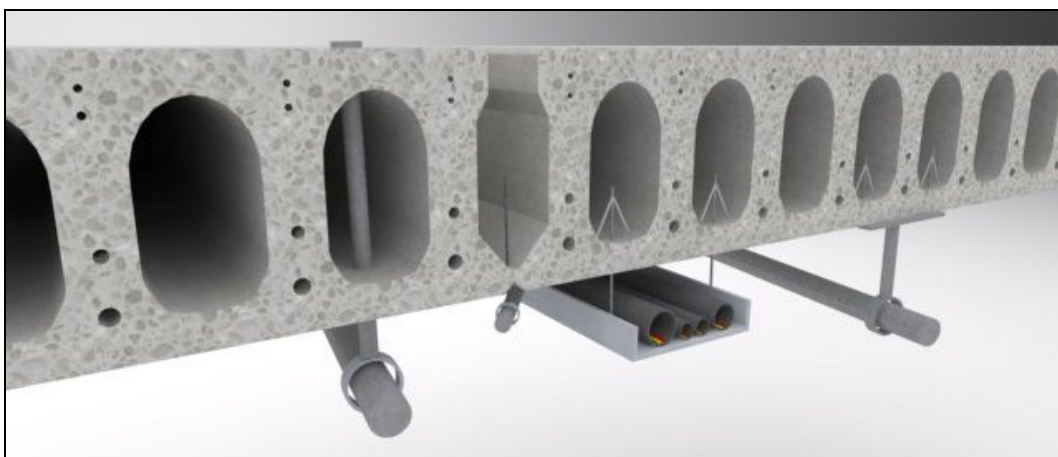


Figura 15 – Pequenas furações para suportes das instalações.

O setor de projetos da BPM deverá ser consultado sempre que houver previsão de furos e nichos, para que possa analisar a viabilidade e recomendar as técnicas de reforço necessárias.

3.7 Comprimento de apoio

As lajes devem respeitar um comprimento de apoio mínimo (Figura 16). Se a superfície do apoio for perfeitamente lisa e coplanar não há necessidade de utilização de neoprenes ou argamassas de assentamento.

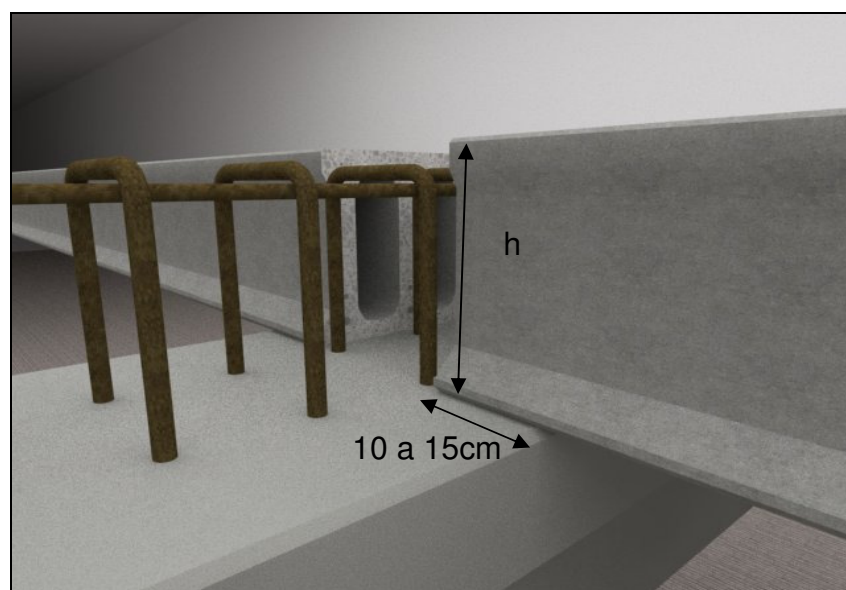


Figura 16 – Apoio mínimo das lajes.

Há casos onde é possível utilizar comprimentos menores de apoio, dependendo das cargas atuantes na laje e das condições do próprio apoio. Caso seja necessário usar um comprimento menor que os recomendados na Tabela 2 a equipe de projeto da BPM deverá ser consultada.

Tabela 2 – Comprimentos mínimos de apoio recomendados.

Altura da laje (cm)	Comprimento de apoio (cm)
≤ 20	10
≤ 30	15

3.8 Manuseio e estocagem

As lajes podem ser manuseadas por meio de um sistema de tenazes, fixados a um balancim, que pode ser uma viga de seção plena ou treliçada, conforme indicado na Figura 17. A distância máxima entre o eixo do tenaz e a extremidade da laje não deve ser maior que 100 cm.

A pilha de estocagem deve respeitar o número máximo de lajes (Figura 17), dependendo da altura das peças, que devem ser assentadas sobre peças de madeira de alta resistência em piso nivelado, ou em malas de rafia devidamente preenchidas com areia fina. Os apoios devem ser colocados à distância máxima de 30 cm da extremidade das lajes. No transporte podem ser utilizados mais um ou dois apoios, dependendo das características da carreta e do vão da laje.

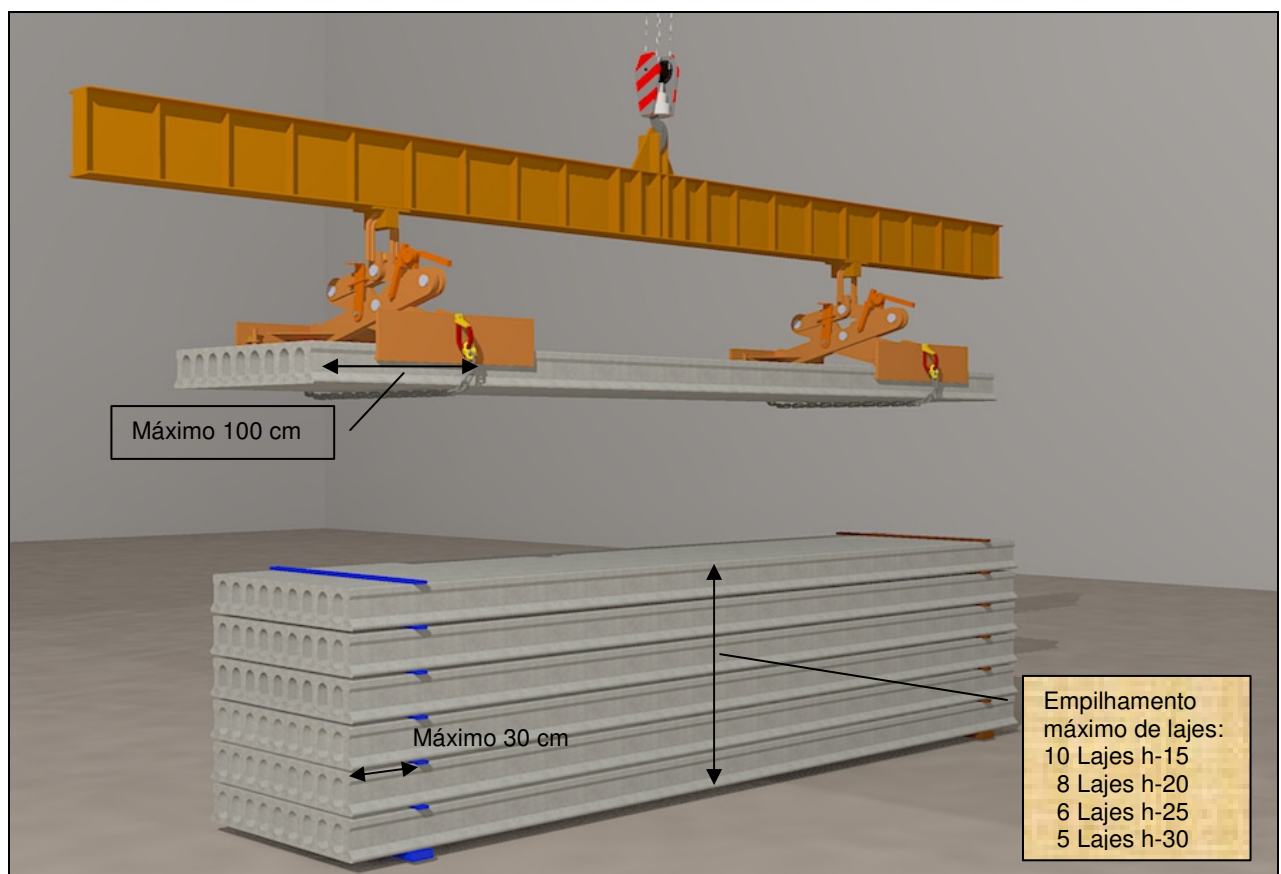


Figura 17 – Manuseio e estocagem das lajes BPM.

3.9 Preenchimento de alvéolos

Em certos casos é necessário o preenchimento dos alvéolos (Figura 18). Esta técnica pode ser utilizada para melhorar a resistência ao esforço cortante da peça, para a ancoragem da armadura passiva necessária ao vínculo ou para ancoragem de armaduras negativas. Recomenda-se a abertura de no máximo 3 alvéolos. Um número maior de alvéolos poderá ser preenchido desde que estudos específicos validem o funcionamento da estrutura.

Os alvéolos geralmente são abertos na fábrica, com o concreto ainda no estado fresco, mas também podem ser cortados após a pega e endurecimento do material, para preenchimento no momento da execução da capa de concreto.

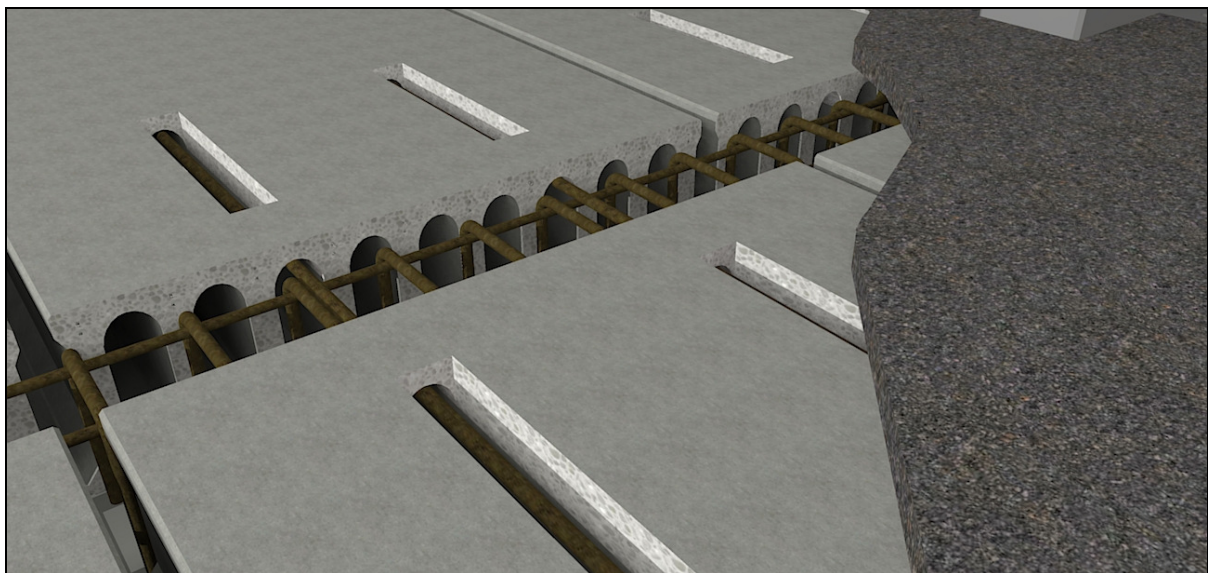


Figura 18 – Alvéolos abertos para acomodação da armadura.

3.10 Equalização e chaveteamento

Dependendo do momento da desprotensão, da temperatura de cura, do tipo do concreto e, principalmente, da idade do concreto, a contra-flecha de lajes de mesma altura e configuração de armadura pode variar.

Para eliminar estas variações deve ser executado o serviço de equalização antes da concretagem (serviço preliminar ao capeamento). Este serviço consiste na utilização

de dispositivos que nivelam as contra-flechas de lajes adjacentes (Figura 19) até formar um só plano.

Lajes adjacentes com diferença de contra-flecha menor ou igual a 10 mm dispensam a equalização. Quando o desvio for maior que isso entre lajes adjacentes a equalização é necessária.

A equalização é um serviço preliminar ao capeamento e sua necessidade deve ser verificada antes do início daquele serviço.

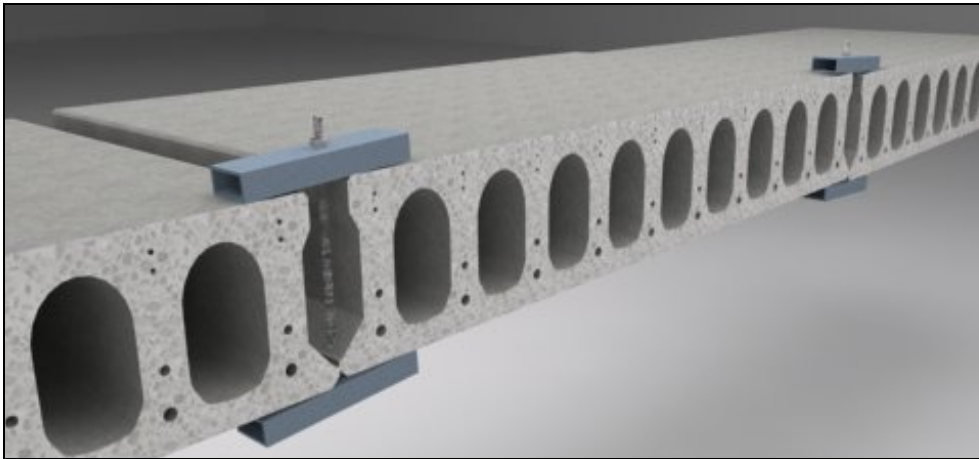


Figura 19 – Equalização das lajes alveolares por meio de torniquetes.

O chaveteamento consiste no preenchimento das chavetas antes ou durante a concretagem da capa. Sua função principal é a distribuição transversal das cargas atuantes nas lajes. Isto é possível pois o concreto da chaveta funciona como um cilindro transmitindo esforço cortante entre as lajes. Quando houver necessidade de equalização, o chaveteamento deve ser executado antes do capeamento das lajes.

3.11 Capeamento de concreto

As lajes alveolares podem ser usadas sem capeamento estrutural. Para os casos usuais, entretanto, o capeamento é recomendado. A BPM Pré-moldados recomenda o uso de capa de concreto de no mínimo 50 mm e classe C-30, armado com malha de aço. Em casos especiais como os de cargas dinâmicas ou cargas concentradas

importantes (empilhadeiras, entre outras), pode ser necessária uma espessura de capeamento ainda maior.

Antes de lançar o concreto da capa é necessária a verificação das armaduras previstas no projeto de armadura negativa das lajes, principalmente quando há preenchimento de alvéolos e reforço de apoios, como exemplificado na Figura 20.

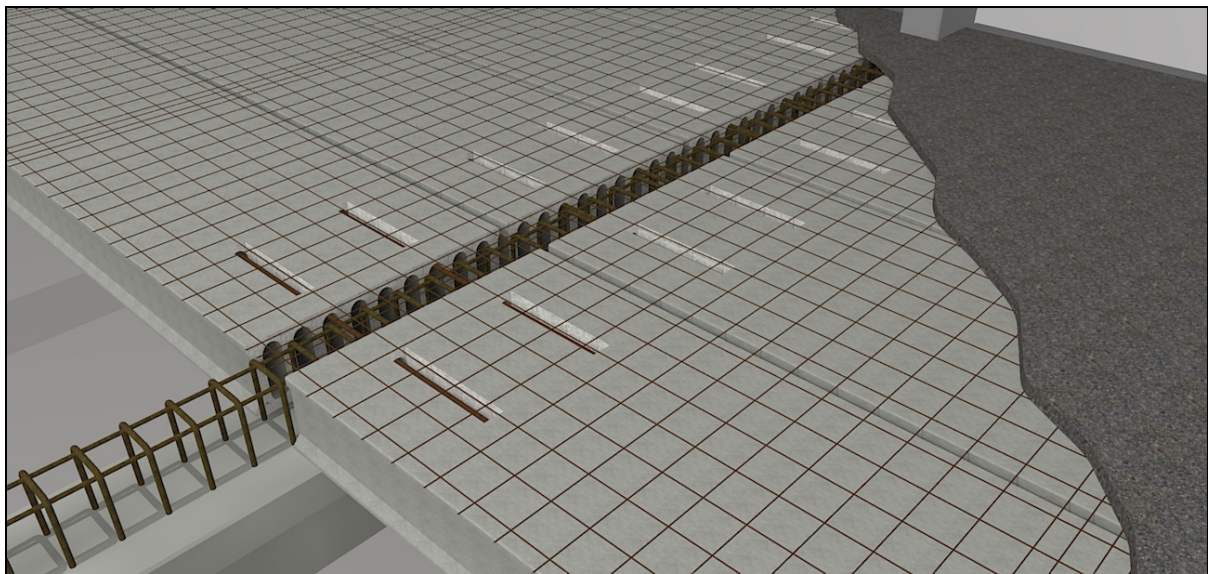


Figura 20 – Capeamento.

4 EXCELÊNCIA

As lajes alveolares BPM possuem um rigoroso controle de qualidade desde a concepção de projeto, passando pela fabricação e transporte, até a montagem. A qualidade final deste produto é atestada pelo certificado de excelência ABCIC.

Atestado de



Credenciamento

A empresa **BPM PRÉ - MOLDADOS LTDA** obteve a presente certificação da ABCIC - Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto na planta de produção de **Criciúma**, situada à **Rodovia Luiz Rosso, 9.437 - KM 9 - Quarta Linha - Criciúma / SC**, conforme as normas que regem o **NÍVEL DOIS** de credenciamento, para o seguinte escopo: **Elementos de Fundação (FU), Estrutura Armada (AR), Estrutura Protendida (PR) e Peças Alveolares (AL)**.

São Paulo, 30 de janeiro de 2014.

Íria Lícia Oliva Doniak
Presidente Executiva da ABCIC



Maurilen Zimenez
Gerente de Certificação
Instituto Falcão Bauer da Qualidade

Validade deste documento: um ano

5 REFERÊNCIAS

- **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – Rio de Janeiro, 2014.
- **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Rio de Janeiro, 1980.
- **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – Rio de Janeiro, 2006.
- **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, NBR 14861 – Laje pré-fabricada – Painel alveolar de concreto protendido - Requisitos – Rio de Janeiro, 2002.
- **ASSAP - ASSOCIAZIONE PRODUTTORI DI SOLAI A LVEOLARI PRECOMPRESSI**, Il Solai Alveolaren Progettazione e Impieghi – Verona (IT).
- ASSOCIATION OF MANUFACTURES OF PRESTRESSED HOLLOW CORE SLABS, ASSAP. **The Hollow Core Floor Design and Applications**. Manual ASSAP, 1st edition, Ed. OFFSET PRINT VENETA, Italy, 2002.
- **HOLLOW CORE CONCRETE PTY. LTD.**, Leaders in efficient concrete construction, Technical Manual - Laverton North (AU).
- **GRUPO CENTRO NORD**, Manuale Tecnico – Verona (IT)
- **IPHA INTERNATINAL PRESTRESSED HOLLOWCORE ASSOCIATION**, Prestressed Hollowcore The Floor for the Future – 2010

