



## LAJE PRÉ-FABRICADA PROTENDIDA

### Dados Técnicos das Vigotas Protendidas:

- Concreto: C45 ( $f_{ck} \geq 45\text{MPa}$ )
- Aço: fios para protensão  $\phi 4\text{mm}$  entalhados **CP150RNE** e cordoalhas  $\phi 6,5\text{mm}$  **CP190RB**.



Figura 1 – Vigota Protendida

As Vigotas Protendidas Tatu têm a forma de um “T invertido” e são produzidas em moldadoras deslizantes sem utilização de desmoldantes. Em sua face superior, o concreto possui superfície rugosa que facilita a aderência à capa de concreto.

Vigotas protendidas TATU, produzidas com qualidade certificada ISO9001.

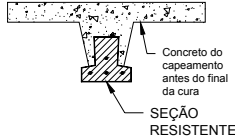
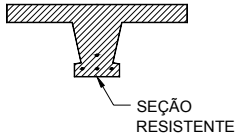


## 1. DEFINIÇÃO

As lajes pré-fabricadas protendidas TATU são compostas por nervuras pré-fabricadas em concreto protendido (vigotas) e elementos de enchimento (lajotas) que podem ser de cerâmica, concreto ou EPS. Após a montagem das vigotas com os elementos de enchimento e a armadura de distribuição, complementa-se a nervura com o concreto (C20) de capeamento da laje.

O funcionamento estrutural da laje pré-fabricada protendida é semelhante ao de uma laje armada em uma só direção. Inicialmente, as vigotas protendidas constituem o único elemento resistente da laje e do início da montagem até o término da cura do concreto de capeamento elas suportam todas as cargas dos componentes da laje (vigota, enchimento, armaduras complementares e capa de concreto) além da sobrecarga para execução do capeamento. Após a cura do concreto de capeamento, a seção resistente da laje passa a ser constituída por nervuras compostas (concreto das vigotas + concreto moldado “in loco”).

A seção composta apresenta esforços resistentes muito maiores que os esforços resistentes da vigota pré-fabricada protendida, conforme mostra o quadro 1.

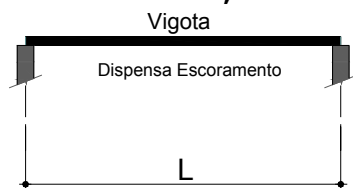
| Quadro 1 – Seção da vigota e seção composta da laje  |  |
|--|--|
| <p><b>Antes da cura do concreto de capeamento</b></p>  <p>Seção resistente da vigota VPT431<br/>M.R.U. = 2,48KN.m</p> | <p><b>Após cura do concreto de capeamento</b></p>  <p>Seção composta armada com a VPT431 e com altura final de 16cm<br/>M.R.U. = 7,60KN.m</p> |

Para uma mesma vigota, quanto maior a altura do elemento de enchimento, maior será a altura final da nervura e, conseqüentemente, maior os esforços resistentes da laje.

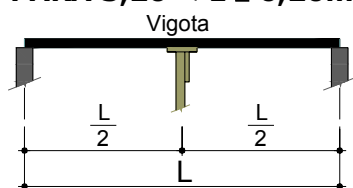
Estas vigotas podem suportar o carregamento da fase executiva sem auxílio de escoramento ou, nos casos de vãos maiores ou lajes mais pesadas, com auxílio de escoramento **que deve ser executado antes da montagem das vigotas**, conforme a regra indicada a seguir:

**Quadro 2 – Condições de escoramento para as lajes protendidas\***

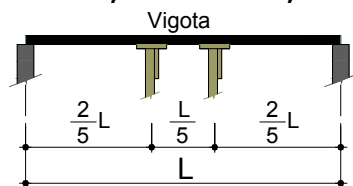
**PARA  $L \leq 3,20\text{m}$**



**PARA  $3,20 < L \leq 6,20\text{m}$**



**PARA  $6,20 < L \leq 10,00\text{m}$**



**PARA  $L > 10,00\text{m}$**

**Consultar a fábrica**

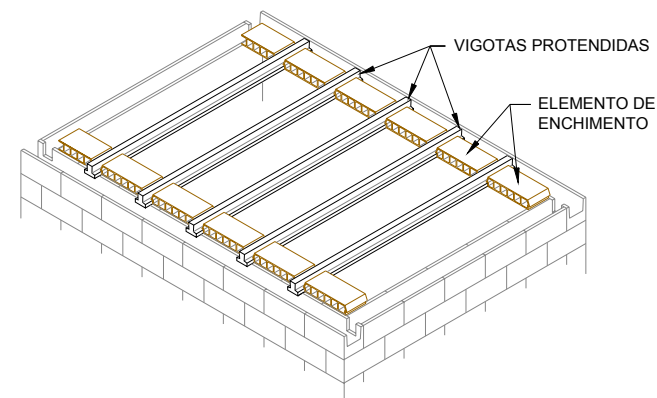
\* Estas condições podem ser alteradas em função do vão ou peso-próprio da laje. Para confirmação, consultar a tabela de dimensionamento da laje

**2. VANTAGENS DAS LAJES PRÉ-FABRICADAS PROTENDIDAS**

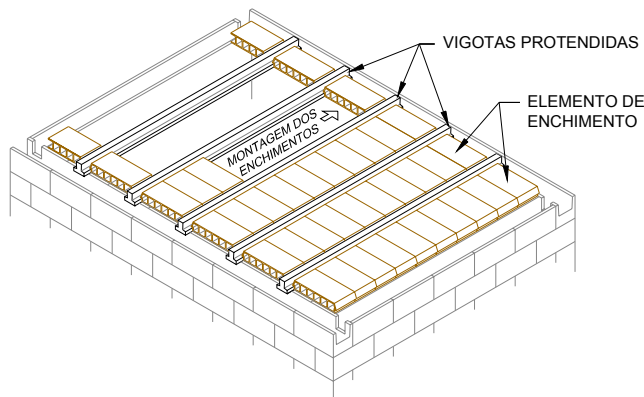
**2.1 FACILIDADE DE UTILIZAÇÃO**

A expressão "protendida" poderia sugerir alguma dificuldade de execução para quem desconheça o sistema mas, as Lajes Pré-Fabricadas Protendidas são de fácil utilização e sua montagem é semelhante a das lajes pré-fabricadas tradicionais bastando, para isto, a montagem do escoramento (quando necessário), a colocação das vigotas protendidas, dos elementos de enchimento (lajotas), das armaduras adicionais (malha de distribuição e quando necessário armaduras negativas) e a concretagem da capa.

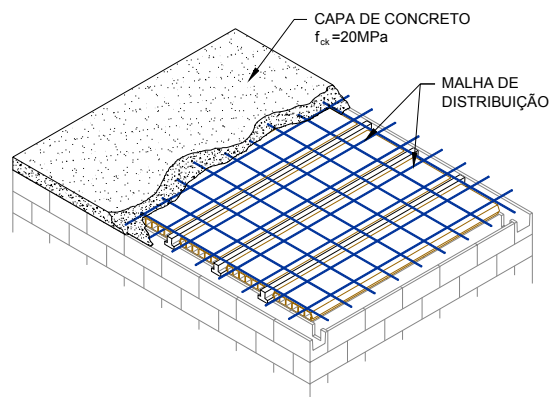
**Seqüência de execução da Laje**



**Figura 2a – Galga dos componentes**



**Figura 2b** – Colocação dos elementos de enchimento



**Figura 2c** – Colocação da malha de distribuição e concretagem do capeamento

## 2.2 REDUÇÃO OU ELIMINAÇÃO DE ESCORAMENTO

Comparada às lajes tradicionais, a laje pré-fabricada protendida reduz ou até elimina os escoramentos para a sua execução. Além do ganho com a economia de cimbramento, sua montagem é feita com mais facilidade e em menor tempo.

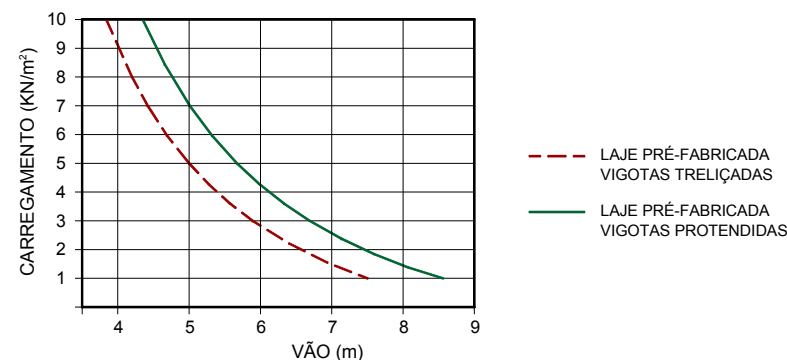
## 2.3 REDUÇÃO DO CONSUMO DE CONCRETO E PESO-PRÓPRIO

As vigotas protendidas têm largura um pouco menor que as concorrentes e um maior volume de concreto pré-fabricado. Esta é

a razão para o consumo de concreto do capeamento das lajes pré-fabricadas protendidas ser de 15 a 20% menor que o consumido nas lajes pré-fabricadas tradicionais.

## 2.4 MAIORES VÃOS E MENORES FLECHAS

As lajes pré-fabricadas atingem maiores vãos para um mesmo carregamento e apresentam menores flechas finais, devido ao efeito da protensão aplicada às vigotas.



**Figura 3** - Gráfico comparativo do desempenho das Lajes Treliçadas e Lajes Protendidas, ambas com altura total de 16cm.

## 2.6 MAIOR QUALIDADE E CONFIABILIDADE

As vigotas protendidas são produzidas em instalações modernas onde materiais e processos são controlados permanentemente. Os aços utilizados (Belgo Bekaert) atendem a NBR7482 (Fios de aço para concreto protendido-Especificação) e NBR7483 (Cordoalhas de aço para concreto protendido – Especificação).

Na produção do concreto são utilizados agregados cuidadosamente analisados. Sua resistência à compressão é elevada (C45) e o consumo de cimento (CPV-ARI-PLUS/Ciminas-Holcim) é superior a 350Kg/m<sup>3</sup> além de possuir uma relação água/cimento baixa ( $\approx 0,37$ ) graças à moldagem com equipamentos que produzem um adensamento enérgico do concreto. Todos estes fatores mas, principalmente o alto consumo de cimento e a baixa relação água/cimento, conferem alta resistência e durabilidade às Vigotas Protendidas Tatu.

### 3. PROJETO DAS LAJES PRÉ-FABRICADAS PROTENDIDAS

#### 3.1 VÃOS

##### 3.1.1 VÃO LIVRE ( $\lambda_0$ )

Distância entre as faces internas dos apoios de um tramo.

##### 3.1.2 VÃO EFETIVO ( $\lambda_{ef}$ )

O vão efetivo ou teórico, que será utilizado para o dimensionamento das lajes pré-fabricadas protendidas pode ser calculado pela expressão:

$$\lambda_{ef} = \lambda_0 + a_1 + a_2$$

#### Onde:

$a_1$ : menor valor entre  $t_1/2$  e  $0,3h$

$a_2$ : menor valor entre  $t_2/2$  e  $0,3h$  (figura 4)

Ht: altura total da laje

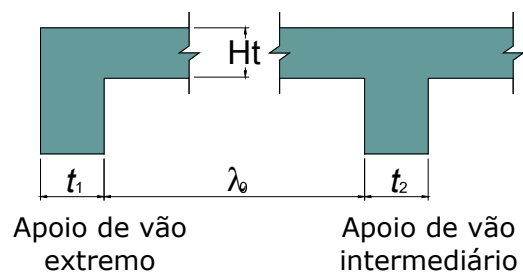


Figura 4 – Vão livre e Vão efetivo

### 3.2 CARGAS NAS LAJES

#### 3.2.1 CARGAS ACIDENTAIS

São cargas distribuídas sobre a laje, decorrentes da sua utilização.

Cada edificação tem uma característica própria de ocupação de ambientes que resultam em carregamentos distintos das lajes.

A NBR6120, sugere as **cargas acidentais mínimas** que devem ser adotadas para diferentes edificações e seus ambientes e que estão resumidas na tabela 1 (Consulte a NBR6120).

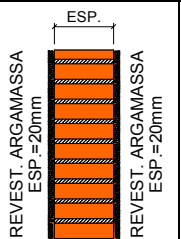
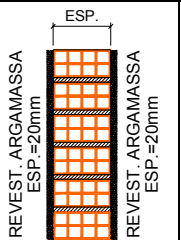
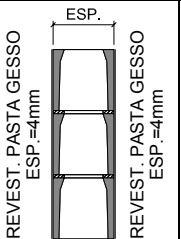
| TABELA 1                   |   |   |
|----------------------------|---|---|
| Cargas Acidentais em Lajes |   |   |
| Local                      |   | Mínima Recomendada (KN/m <sup>2</sup> ) |
| Bibliotecas                | Sala de leitura   | 2,5                                     |
|                            | Sala com estantes de livros com 2,5KN/m <sup>2</sup> por metro de altura, sendo o valor mínimo: | 6,0                                     |
| Cinemas                    | Platéia com assentos fixos  | 3,0                                     |
|                            | Estúdio e platéia com assentos móveis   | 4,0                                     |
|                            | Sanitários  | 2,0                                     |
| Clubes                     | Sala de refeições e assembleias com assentos fixos  | 3,0                                     |
|                            | Sala de assembleias com assentos móveis   | 4,0                                     |
|                            | Salão de danças e esportes  | 5,0                                     |
|                            | Sala de bilhar e sanitários   | 2,0                                     |
| Edifícios Residenciais     | Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro   | 1,5                                     |
|                            | Despensa, A.S. e lavanderia   | 2,0                                     |
| Escolas                    | Anfiteatros com assentos fixos, corredores e salas de aula                                      | 3,0                                     |
|                            | Outras salas  | 2,0                                     |
| Escritórios                | Salas de uso geral e sanitários   |   |
| Forros                     | Sem acesso a pessoas  | 0,5                                     |
| Hospitais                  | Dormitórios, enferma-rias, sala de recuperação, cirurgia, raio X e banheiros                    | 2,0                                     |
|                            | Corredor  | 3,0                                     |
| Lojas                      |   | 4,0                                     |
| Restaurantes               |   | 3,0                                     |

### 3.2.2 CARGAS PERMANENTES

São cargas devido ao peso-próprio da estrutura, revestimentos, enchimentos, paredes, etc. Algumas delas estão indicadas na tabela abaixo:

| <b>TABELA 2</b>                               |                                      |  |
|---|--------------------------------------|--|
| <b>Peso de alguns materiais de construção</b> |                                      |  |
| Materiais                                     |                                      | Peso específico ou aparente (KN/m <sup>3</sup> ) |
| Rochas  | Granito                              | 28,0   |
|   | Mármore                              | 28,0   |
| Revestimentos e concretos                     | Argamassa                            | 20,0   |
|   | Concreto simples                     | 24,0   |
|   | Concreto Armado                      | 25,0   |
| Madeiras                                      | Pinho, cedro e cerejeira             | 6,0  |
|   | Imbuia, mogno,                       | 6,5  |
|   | Jatobá, ipê-roxo e cabriúva-vermelha | 9,6  |
|   | Angico-preto e angelim-vermelho      | 11,0   |
| Metais  | Aço                                  | 78,5   |
|   | Alumínio                             | 28,0   |
|   | Bronze                               | 85,0   |
|   | Chumbo                               | 114,0  |
|   | Cobre                                | 89,0   |

Eventualmente, estas cargas podem ser concentradas, como é o caso das cargas de paredes apoiadas diretamente sobre a laje e que, por este motivo, devem ser tratadas com especial atenção.

| <b>TABELA 3</b>  |  |            |                           |
|--|--|------------|---------------------------|
| <b>Peso de algumas Alvenarias</b>  |  |            |                           |
|  |  | Esp. bloco | Peso (KN/m <sup>2</sup> ) |
|   | <b>Alvenaria de vedação</b> de tijolos maciços, com revestimento argamassado nas duas faces              | 9          | 2,7                       |
|  |  | 19         | 4,0                       |
|   | <b>Alvenaria de vedação</b> de tijolos cerâmicos de 8 furos, com revestimento argamassado nas duas faces | 9          | 1,5                       |
|  |  | 19         | 2,3                       |
|  | <b>Alvenaria de vedação</b> de blocos vazados de concreto, aparente ou revestida com pasta de gesso      | 7          | 1,3                       |
|  |  | 9          | 1,4                       |
|  |  | 11,5       | 1,5                       |
|  |  | 14         | 1,7                       |
|  |  | 19         | 2,0                       |

### 3.2.3. INFLUÊNCIA DA CARGA DE PAREDES

#### 3.2.3.1. PARALELAS ÀS VIGOTAS

Quando a parede é apoiada sobre a laje paralelamente às vigotas protendidas, calcula-se uma carga distribuída equivalente, correspondente à parede, para a faixa de distribuição cuja largura nunca deverá exceder à relação  $2/3L$  (figura 5). A carga distribuída equivalente é calculada dividindo-se o peso da parede pela área da faixa de distribuição. Caso existam mais paredes paralelas às vigotas num mesmo painel, as faixas de distribuição serão limitadas pela metade da distância que as separa, de modo que não ocorra sobreposição de duas faixas e a carga equivalente adotada será a de maior valor obtida para o painel em estudo.

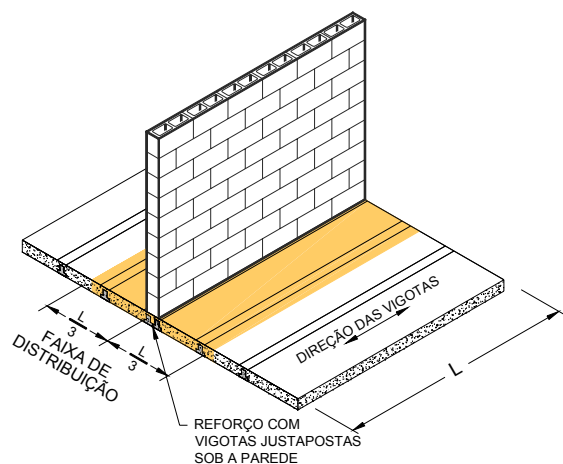


Figura 5 – Faixa de distribuição para paredes paralelas às vigotas

#### 3.2.3.2. PERPENDICULAR ÀS VIGOTAS

Quando a parede é apoiada sobre a laje perpendicularmente às vigotas, a carga distribuída equivalente é calculada dividindo-se o peso da parede pela área da faixa de distribuição, que neste caso corresponde a  $1/2L$  (figura 6). Se existirem mais paredes perpendiculares num mesmo painel, as faixas de distribuição serão limitadas pela metade da distância que as separe e a carga equivalente adotada será a de maior valor obtida para o painel em estudo.

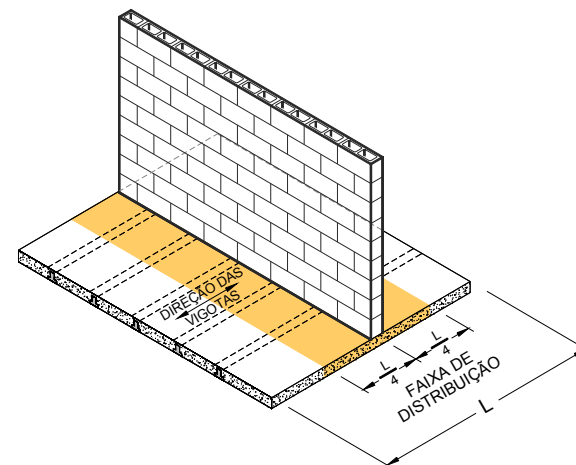


Figura 6 – Faixa de distribuição para paredes perpendiculares às vigotas

### 3.2.4. DETERMINAÇÃO DA SOBRECARGA

Para a utilização das Tabelas de Dimensionamento de Lajes Pré-Fabricadas Protendidas Tatu a sobrecarga deve ser calculada pela somatória das cargas atuantes na laje, exceto o peso-próprio (já considerado nos cálculos), e determinada conforme segue:

|                            |   |  |
|----------------------------|---|--|
| <b>Carga Acidental:</b>    | + | (Ver tabela 1)   |
| <b>Cargas Permanentes:</b> | + | Revestimentos  |
|                            | + | Impermeabilização  |
|                            | + | Enchimentos  |
|                            | + | Paredes  |
|                            | + | Telhados   |
|                            | + | Outras . . .   |
|                            | = | <b>SOBRECARGA</b> (para utilização das Tabelas de Lajes da TATU) |

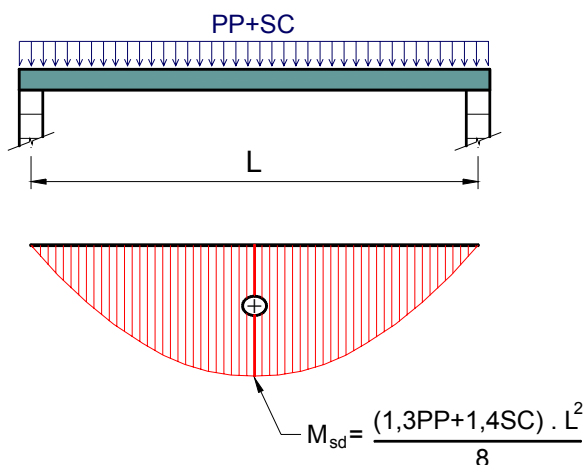
**OBS.:** Na utilização das tabelas de dimensionamento de Lajes Pré-Fabricadas Protendidas Tatu o peso-próprio da laje não deve ser adicionado no cálculo da sobrecarga uma vez que o mesmo já foi considerado nos cálculos.

$$L_{MÁX.} = \sqrt{\frac{8 \text{ M.R.U.}}{(1,3 \text{ PP} + 1,4 \text{ SC})}}$$

### 3.3. DIMENSIONAMENTO DA LAJE.

As Tabelas para o dimensionamento das Lajes Pré-Fabricadas Protendidas Tatu foram elaboradas para o dimensionamento de lajes bi-apoiadas e apresentam os vãos máximos ( $L_{MÁX.}$ ) possíveis nas diversas combinações geométricas e de armações para as sobrecargas variando de 1,0 a 10KN/m<sup>2</sup>.

A partir do M.R.U. (Momento Resistente Último) de cada seção foi determinado o vão máximo ( $L_{MÁX.}$ ) pela imposição da condição  $M.R.U. \leq M_{sd}$  (Momento Solicitante de Projeto).



**Figura 7** – Diagrama de Momentos da laje bi-apoiada

Para lajes bi-apoiadas:

$$M_{sd} = \frac{(1,3 \text{ PP} + 1,4 \text{ SC})}{8} \cdot L^2$$

No estado limite último:

$$M_{sd} \leq \text{M.R.U.}$$

∴  $L_{MÁX.}$  é calculado pela expressão:

**Onde:**

**L:** Vão efetivo da laje conforme 3.1.2.

**M<sub>sd</sub>:** Momento solicitante de projeto (KN.m/m).

**PP:** peso-próprio da laje já considerado nos cálculos da tabela (KN/m<sup>2</sup>).

**SC:** sobrecarga (carga acidental + revestimentos + outras cargas distribuídas) apresentada na tabela (KN/m<sup>2</sup>) 3.2.4.

**M.R.U.:** Momento resistente último da seção, apresentado na tabela (KN.m/m).

**L<sub>MÁX.</sub>:** Vão máximo admissível indicado na tabela (cm).

Conhecidos os vãos efetivos de um projeto e determinada a sobrecarga atuante nas lajes é possível fazer o dimensionamento das laje pré-fabricadas protendidas.

#### 3.3.1. RELAÇÃO DE CONFORTO

Recomenda-se que a altura das lajes utilizadas como piso não seja inferior a **3% do vão efetivo**. Este cuidado deve ser tomado para evitar que os ruídos e vibrações resultantes do deslocamento sobre a laje sejam prejudiciais ao conforto.

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| <b>H<sub>t</sub> ≥ 3% Vão</b> | ⇒ Menores ruídos        |
|                               | ⇒ Menores vibrações     |
|                               | ⇒ <b>Maior Conforto</b> |

#### 4. COMO UTILIZAR AS TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DA LAJE

As tabelas dimensionamento das lajes pré-fabricadas protendidas TATU apresentam diversas combinações de lajes sendo que as nervuras podem ser armadas com 7 tipos de vigotas protendidas (Quadro 3), em 3 diferentes arranjos de montagem.

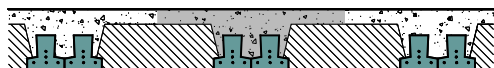
##### 1º Arranjo – SEÇÃO I

É a forma de montagem mais econômica onde cada nervura da laje é constituída por uma vigota cuja largura é de 10cm.



##### 2º Arranjo – SEÇÃO I-DUPLA

Esta montagem é mais utilizada para grandes vãos ou elevados carregamentos onde cada nervura da laje é constituída por duas vigotas, cada uma com 10cm de largura.



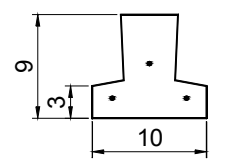
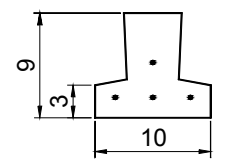
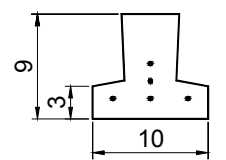
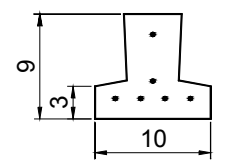
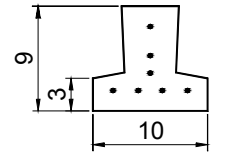
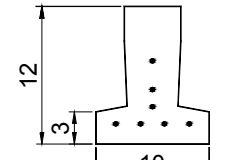
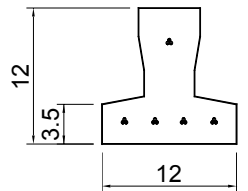
##### 3º Arranjo – SEÇÃO II

Montagem mais utilizada para grandes vãos ou carregamentos elevados onde cada nervura da laje é constituída por uma vigota com 12cm de largura.



Do ponto de vista econômico, o 3º arranjo é uma solução intermediária entre o 1º e o 2º arranjo, mas seu uso com elemento de enchimento cerâmico está condicionado a existência de fornecedor deste material com altura de encaixe adequado à vigota.

As Vigotas Protendidas utilizadas nas nervuras são fabricadas em três diferentes seções transversais, constantes ao longo da peça, sendo elas: vigotas de **10x9** (largura=10cm e altura=9cm) e **10x12**, armadas com aço CP150RN entalhado de 4mm de diâmetro; as vigotas de **12x12** são armadas com aço CP190RB de 6,5mm de diâmetro (ver quadro 3).

| Quadro 3 – VIGOTAS PRÉ-FABRICADAS PROTENDIDAS |   |   |
|---|---|---|
| Utilizadas no 1º Arranjo                      | <p><b>VPT421</b></p>  <p>M.R.U.<sup>+</sup> = 2,06KN.m<br/>M.R.U.<sup>-</sup> = 0,85KN.m</p>   | <p><b>VPT431</b></p>  <p>M.R.U.<sup>+</sup> = 2,48KN.m<br/>M.R.U.<sup>-</sup> = 0,90KN.m</p>   |
| Utilizadas no 1º Arranjo e 2º Arranjo         | <p><b>VPT432</b></p>  <p>M.R.U.<sup>+</sup> = 2,62KN.m<br/>M.R.U.<sup>-</sup> = 1,07KN.m</p>   | <p><b>VPT442</b></p>  <p>M.R.U.<sup>+</sup> = 2,84KN.m<br/>M.R.U.<sup>-</sup> = 1,41KN.m</p>   |
|   | <p><b>VPT443</b></p>  <p>M.R.U.<sup>+</sup> = 2,79KN.m<br/>M.R.U.<sup>-</sup> = 1,78KN.m</p>  | <p><b>VPTE443</b></p>  <p>M.R.U.<sup>+</sup> = 5,25KN.m<br/>M.R.U.<sup>-</sup> = 1,76KN.m</p> |
| Utilizadas no 3º Arranjo                      | <p><b>VPT631</b></p>  <p>M.R.U.<sup>+</sup> = 6,10KN.m<br/>M.R.U.<sup>-</sup> = 2,48KN.m</p> |   |

#### 4.1. EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DAS TABELAS DE DIMENSIONAMENTO DA LAJE

Dimensionar uma laje que deverá ser usada para salas de aula e que receberá um revestimento do piso com  $1,0\text{KN/m}^2$  e do forro com  $0,5\text{KN/m}^2$ . Sabe-se que o vão livre é de  $5,00\text{m}$  e as vigas de apoio têm  $25\text{cm}$  de largura. Existe uma alvenaria apoiada sobre toda extensão do painel, perpendicularmente à direção das vigotas, conforme a figura a seguir:

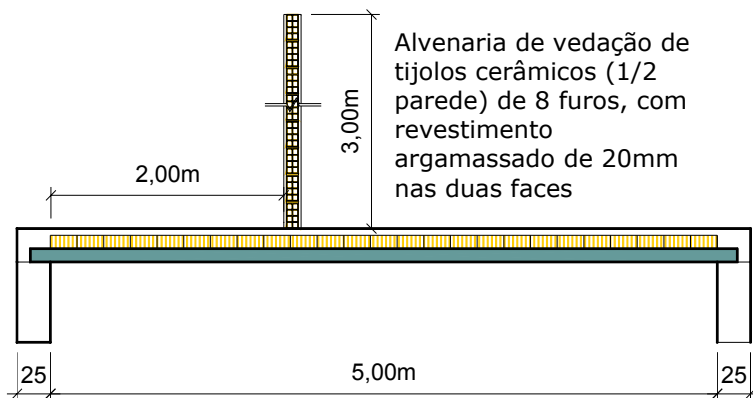


Figura 8 - Esquema da laje para exemplo de dimensionamento

#### Solução:

#### Determinando a Sobrecarga da Laje

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Tabela 1 → escola - salas de aula → Carga Acidental | $3,0\text{KN/m}^2$                   |
| Carga do revestimento do piso                       | $1,0\text{KN/m}^2$                   |
| Carga do revestimento do forro                      | $0,5\text{KN/m}^2$                   |
| Carga da alvenaria (fig. 9)                         | $1,8\text{KN/m}^2$                   |
| <b>Sobrecarga</b>                                   | <b><math>6,3\text{KN/m}^2</math></b> |

Arredondaremos a sobrecarga para  $6,5\text{KN/m}^2$  porque nas tabelas este valor varia de  $0,5\text{KN/m}^2$ .

A carga equivalente da alvenaria é calculada conforme 3.2.3.2.:

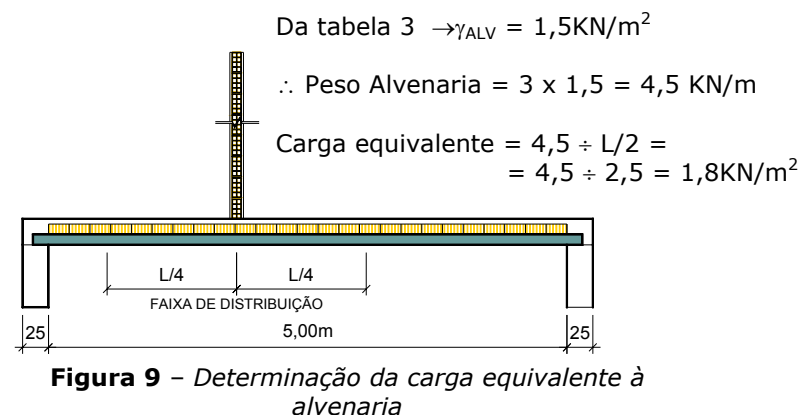


Figura 9 - Determinação da carga equivalente à alvenaria

#### Determinando o Vão efetivo da Laje

$$\lambda_{ef} = \lambda_0 + a_1 + a_2$$

Como ainda não sabemos qual deverá ser a altura total da laje, arbitramos uma altura total de  $25\text{cm}$ .

$a_1$ : menor valor entre  $t_1/2$  e  $0,3Ht = 7,5\text{cm}$

$a_2$ : menor valor entre  $t_2/2$  e  $0,3Ht = 7,5\text{cm}$

$$\lambda_{ef} = \lambda_0 + a_1 + a_2$$

$$\lambda_{ef} = 500 + 7,5 + 7,5 = 515\text{cm}^*$$

\* Caso a altura da laje seja maior que arbitrada inicialmente, o vão efetivo deverá ser recalculado para a nova altura.



**Resultado:**

*O resultado do dimensionamento é:*

*Altura total = 25cm*

*Peso-Próprio = 3,16KN/m<sup>2</sup>*

*Sobrecarga = 6,5 KN/m<sup>2</sup>*

*Consumo de Concreto para capeamento = 83litros/m<sup>2</sup>*

*1 Linha de escoramento para a montagem e execução do capeamento*

A mesma laje poderia ser dimensionada com elemento de enchimento em EPS, com distância entre eixos de nervuras igual a 40cm ou 50cm. Consulte nosso representante comercial para informar-se de qual será a solução mais econômica para sua obra.

**4. BIBLIOGRAFIA**

NBR6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento.

NBR6120 – Cargas para o cálculo de estrutura de edificações – Procedimento

NBR14859-1 – Laje Pré-Fabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes Unidirecionais