

Notas de aulas - Concreto Armado

2ª Parte

Lançamento da Estrutura

Icléa Reys de Ortiz

1. Lançamento da Estrutura

Antigamente costumava-se lançar vigas sob todas as paredes e assim as lajes ficavam menores e até, muitas vezes, ficavam muito pequenas; nesta época os banheiros tinham grandes rebaixos e cozinhas, áreas e varandas tinham rebaixos que apesar de menores também forçavam o posicionamento de vigas na região, separando as lajes em diferentes cotas.

Hoje em dia é bom ter sempre em mente a existência destes rebaixos em prédios antigos, na eventualidade de reformas.

Como os banheiros atualmente possuem a tubulação passando sob a laje, ficando recobertos apenas pelos tetos rebaixados, não há obrigatoriedade de vigas em seu contorno. As paredes podem ser colocadas sobre as lajes, apenas tendo que ser levado em conta seu peso atuando nas mesmas. Porém, devemos lembrar que quanto maiores as lajes, maior a possibilidade de deformações (flechas) durante sua utilização e maior a possibilidade de aparecimento de fissuras nas alvenarias sobre elas.

Algumas recomendações práticas podem ser lembradas:

- as lajes comuns maciças não devem ser grandes demais pois neste caso ficam espessas demais e antieconômicas. De um modo geral elas podem chegar a dimensões da ordem de 6 m x 8 m. O ideal seria manter as lajes com vãos máximos em torno de 4 m. Em casos especiais quando há necessidade de vãos bem maiores podemos utilizar lajes especiais, como lajes nervuradas ou lajes em concreto protendido.
- as vigas deverão manter alturas em torno de um décimo a um treze avos do vão:

$$h_v \cong \frac{l}{10} \quad a \quad \frac{l}{13} \quad \text{em geral} \quad 2 \text{ m} \leq l \leq 8 \text{ m}$$

Vigas contínuas são mais favoráveis que vigas simplesmente apoiadas pois possuem maior rigidez por sua continuidade – os momentos negativos são favoráveis em termos de diminuição das flechas. As vigas contínuas com vãos de mesma ordem de grandeza apresentam esforços mais equilibrados e conseqüentemente são mais econômicas e dão origem a uma estrutura mais equilibrada e mais estética.

As vigas altas são mais favoráveis e eficientes que as vigas baixas e largas - lembrar que a rigidez é função do momento de inércia de sua seção, que é diretamente proporcional ao cubo de sua altura.

- os pilares para serem mais bem aproveitados devem, de preferência, ficar em

intercessões de vigas; assim, os vãos das vigas comandam, de certa forma, o posicionamento dos pilares.

As dimensões dos pilares são recomendadas pela norma NBR6118 – Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento – mar 2003 item 13.2.3:

“A seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja sua forma, não deve apresentar dimensão menor que 19 cm.

Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 12 cm, desde que se multipliquem as ações a serem consideradas no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na tabela 13.1 e na seção 11. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm².

Tabela 13.1 – Valores do coeficiente adicional γ_n

b] 19	18	17	16	15	14	13	12
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

Onde:
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$
 b é a menor dimensão da seção transversal do pilar.
 NOTA – O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando de seu dimensionamento.

A versão antiga da NBR6118 recomendava dimensões mínimas no caso de pilares que suportam lajes cogumelo que, a nosso ver, poderiam ser consideradas como recomendações práticas. São elas:

“Se os pilares suportarem lajes cogumelo, esses limites passam a ser 30 cm e 1/15 de sua altura livre..., devendo ainda a espessura em cada direção não ser inferior a 1/20 da distância entre eixos dos pilares nesta direção.”

Obs.: A norma apresenta um conjunto de orientações e recomendações para cálculo, porém há profissionais que, baseados em recomendações e normalizações de outros países ou organizações, não obedecem a alguns itens. Porém deve-se lembrar que tal profissional será o responsável único por qualquer acidente ligado a tal obra, devendo justificar tecnicamente suas decisões, sem o apoio técnico da norma.

Ao lançar os elementos verticais (pilares e paredes estruturais) devemos sempre prever a possibilidade de contraventamento da estrutura (rigidez horizontal), principalmente em edifícios altos. Este contraventamento pode ser garantido através de pórticos formados por

pilares e/ou paredes de concreto, caixas de escadas e/ou de elevadores executadas em concreto, etc..

Principalmente em edifícios altos devemos pensar em estruturas que permitam uma certa padronização de formas e, se possível, todos os andares iguais ao teto tipo, permitindo assim o máximo reaproveitamento de formas e padronização de barras de armaduras. Em edifícios comerciais esta padronização de formas torna-se mais fácil que em prédios residenciais.

A figura a seguir mostra quatro possibilidades de formas adequadas a prédios de escritórios.

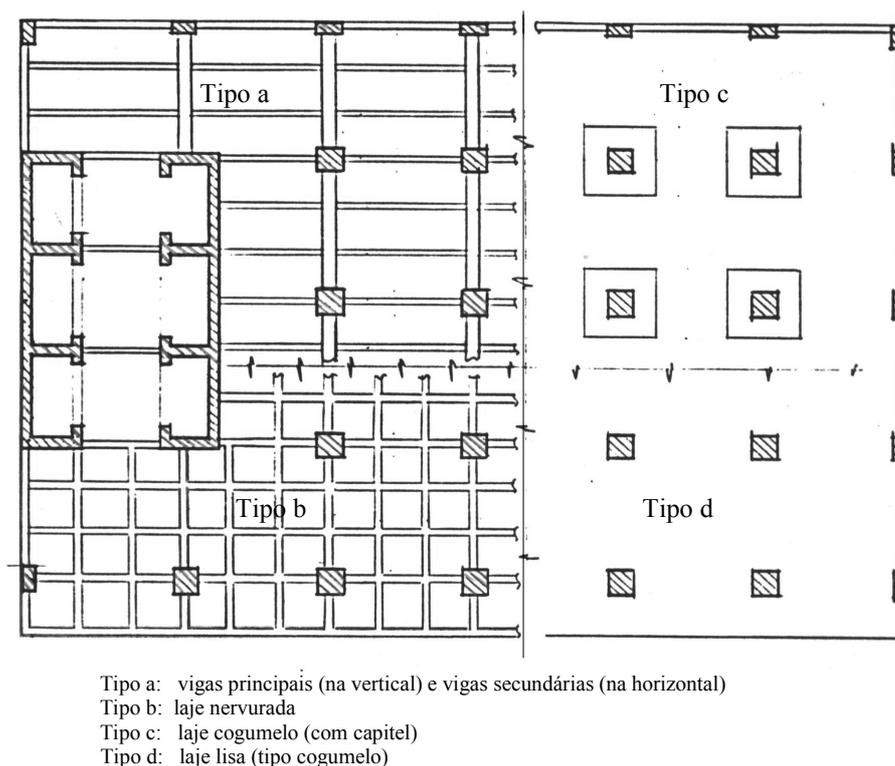


Figura 2 - Possibilidades de Tetos Tipo para Edifícios de Escritórios (Ref. 9)

As caixas de elevadores e escadas colaboram para a rigidez vertical do prédio assim como os quadros formados por pilares e vigas. Há também a possibilidade de lajes lisas com ou sem capitéis, porém a rigidez vertical do prédio não é tão boa quanto no caso de tetos com vigas, pois as ligações laje-pilar não são tão rígidas quanto as ligações viga-pilar, para a formação dos quadros verticais resistentes às solicitações horizontais.

Nas lajes lisas da figura 2 foram consideradas vigas no contorno para enrijecer a borda e evitar grandes deformações na fachada.

2. Posicionamento dos Pilares

Sempre que possível devemos dispor os pilares em linha, mantendo uma modulação,

facilitando assim a formação de pórticos de contraventamento.

Convém sempre afastar os pilares das divisas dos terrenos, principalmente quando há vizinhos.

O ideal e mais econômico é levar todos os pilares até a fundação evitando assim os tetos de transição que são em geral tetos com vigas muito altas e muito carregadas encarecendo a estrutura.

Os subsolos são geralmente estruturas que aumentam o custo médio da edificação, principalmente quando há proximidade de vizinhos, havendo necessidade de grandes escoramentos. Subsolos em níveis mais baixos que a água no terreno encarecem ainda mais a construção pois exigem rebaixamento do lençol d'água e conseqüentemente cuidados especiais com estruturas nas proximidades. A figura abaixo mostra algumas situações de carregamentos em paredes de subsolos profundos e possibilidades de escoramento.

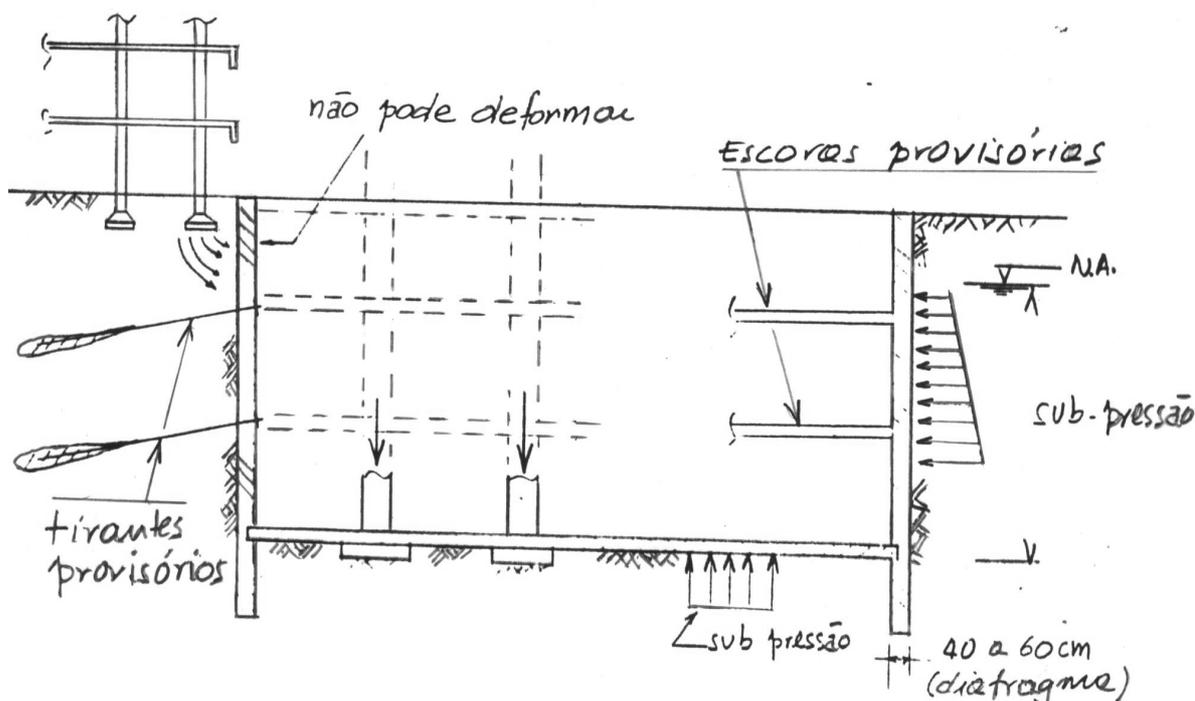


Figura 3 - Subsolos Profundos (Ref. 9)

Se a edificação vai até o limite do terreno devemos fugir da colocação de pilares nesta região para evitar problemas de excentricidades em suas fundações e também grandes escavações junto ao terreno vizinho. Há também o problema inverso, que é o da prevenção, para evitar problemas futuros no caso de construções no terreno vizinho, que nos fogem ao controle, e que poderiam afetar seriamente alguma sapata de divisa. Não sendo possível evitar os pilares de divisa, devemos usar vigas de fundação chamadas de vigas de equilíbrio. A figura a seguir mostra um exemplo de viga de equilíbrio afastando a sapata da divisa do terreno.

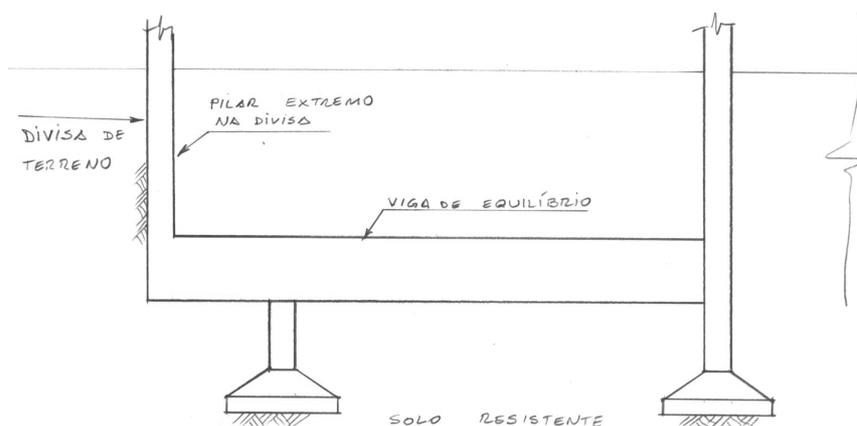


Figura 4 - Pilar de Divisa com Viga de Equilíbrio

3. Formas de Edifícios

De um modo geral temos estruturas diferentes em alguns tetos da edificação:

Teto das caixas d'água, casas de elevadores, etc.

Cobertura (ou também chamada de Teto da Cobertura)

Teto tipo - teto padrão que se repete em vários andares

1º Pavimento (ou teto do térreo) - quando há pilotis ou lojas, em geral é teto de transição

Térreo - junto ao terreno ou teto do subsolo

Subsolo (ou 1º subsolo, 2º subsolo, etc.) – garagens, casas de bombas, etc.

Fundações - sapatas ou blocos de estacas

Como já sabemos as formas são feitas como o teto espelhado no chão, ou como se olhássemos o teto por debaixo da laje, diferentemente da arquitetura que olha por cima.

O teto tipo, como o próprio nome diz, é o teto típico da edificação; é o teto predominante na estrutura e deve ser o primeiro a ser estudado. Este teto comandará o lançamento dos pilares. Depois de lançado o teto tipo, cuja forma é chamada de Teto Tipo, são estudados os tetos superiores e inferiores. O ideal é que o posicionamento dos pilares do teto tipo seja aproveitado nos outros tetos. No caso de necessidade de eliminação de pilares nos tetos inferiores ou mudança de locação, lançamos o teto de transição que em geral é o teto do térreo, cuja forma é chamada de Teto de Transição ou simplesmente 1º Pavimento.

Ao lançar o teto tipo devemos também prestar atenção aos outros tetos para evitar modificações posteriores ou grandes transições de pilares que iriam encarecer muito a estrutura. Dependendo da transição a ser feita, pode haver a necessidade de vigas bem mais

altas chegando a influenciar no gabarito do prédio. Em grandes prédios comerciais este teto pode comprometer a altura de um andar.

O projeto de formas não tem uma solução única; provavelmente profissionais diferentes lançariam formas diferentes. Também é comum ser modificada a forma inicialmente lançada para o teto tipo, visando melhores soluções para os tetos de transição e/ou subsolos.

O lançamento das formas é feito iterativamente, por etapas, até conseguirmos combinar:

- arquitetura
- estrutura adequada – estaticamente possível, bem definida e o mais padronizada possível
- instalações
- execução

As próprias formas devem ser simples e, dentro de suas finalidades, 'bonitas' - em geral "o que é estático é estético".

4. Características Básicas das Vigas

As vigas, como falamos, deverão ter altura da ordem de $1/10$ a $1/13$ do vão e no caso de vigas contínuas, de preferência, deverá ser mantida uma altura única para padronização da forma, facilitando a execução. Porém, nada impede que se possa variar a altura em algum vão por motivos arquitetônicos ou de instalações ou por outra razão.

Devemos prestar atenção no posicionamento das esquadrias que muitas vezes condicionam a altura das vigas correspondentes como mostrado na figura a seguir.

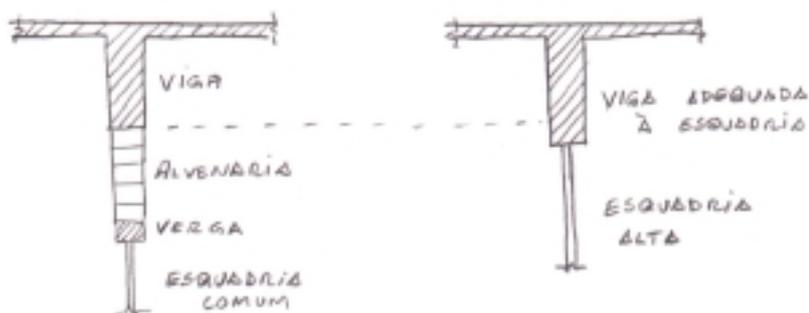


Figura 5 - Alturas de Vigas

A Norma NBR6118, em seu item 13.2.2, apresenta recomendações para as dimensões mínimas das vigas e paredes:

“13.2.2 Vigas e vigas-parede

A seção transversal das vigas não deve apresentar largura menor que 12 cm e das vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes

condições:

- a) alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e coberturas estabelecidas nesta Norma;
- b) lançamento e vibração do concreto de acordo com a NBR14931.”

Não é conveniente utilizar vigas com menos de 12 cm de espessura para que possamos ter uma boa concretagem e possamos garantir boa qualidade estrutural e estética, no caso de concreto aparente. Se pudermos utilizar espessuras de 15 cm sem interferir na estética é melhor.

No dimensionamento, se alguma viga não for capaz de resistir aos seus esforços com a largura e a altura disponíveis para ela, ainda podemos utilizar armadura para ajudar o concreto na compressão, mas esta armadura não deve ser utilizada normalmente em todas as vigas com a finalidade de diminuir a altura das mesmas, pois temos que garantir também que a estrutura não apresente grandes deformações. Para os momentos positivos podemos sempre contar com a colaboração das lajes na região de compressão da viga, o que faz com que ela, em grande parte dos casos, trabalhe como se tivesse uma largura bem maior – seria o que chamamos de viga T, como mostrado na figura a seguir.

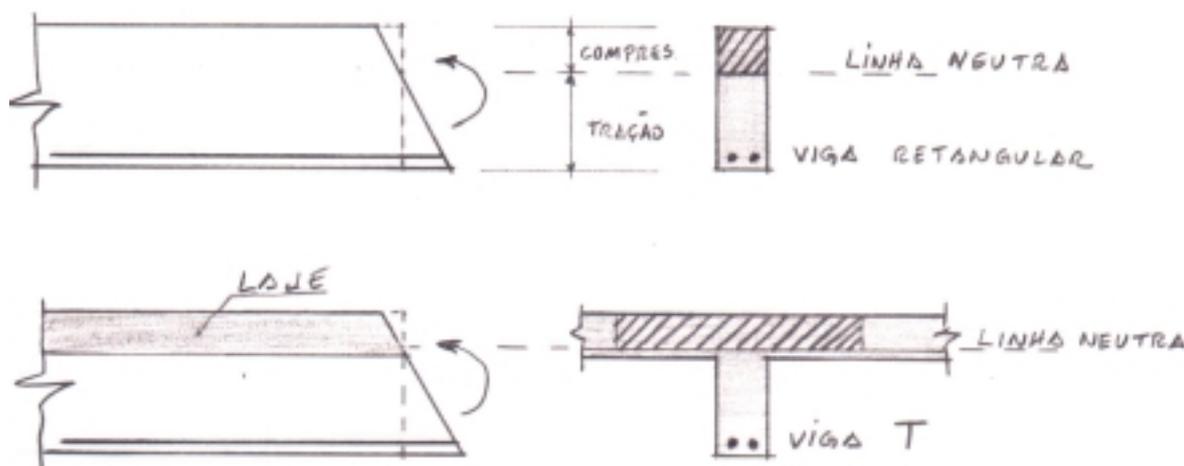


Figura 6 - Tipos de Vigas

5. Lajes

As lajes trabalham apoiadas nas vigas de contorno ou ‘penduradas’ nas vigas quando estas forem invertidas. O cálculo das lajes é feito de maneira simplificada considerando-as simplesmente apoiadas nas vigas, mas a continuidade entre as próprias lajes deve ser considerada, isto é, cada laje é considerada como engastada nas lajes vizinhas e

simplesmente apoiada na viga quando não houver laje contígua, como se a viga girasse sem dar-lhe engastamento – veja os exemplos na figura.

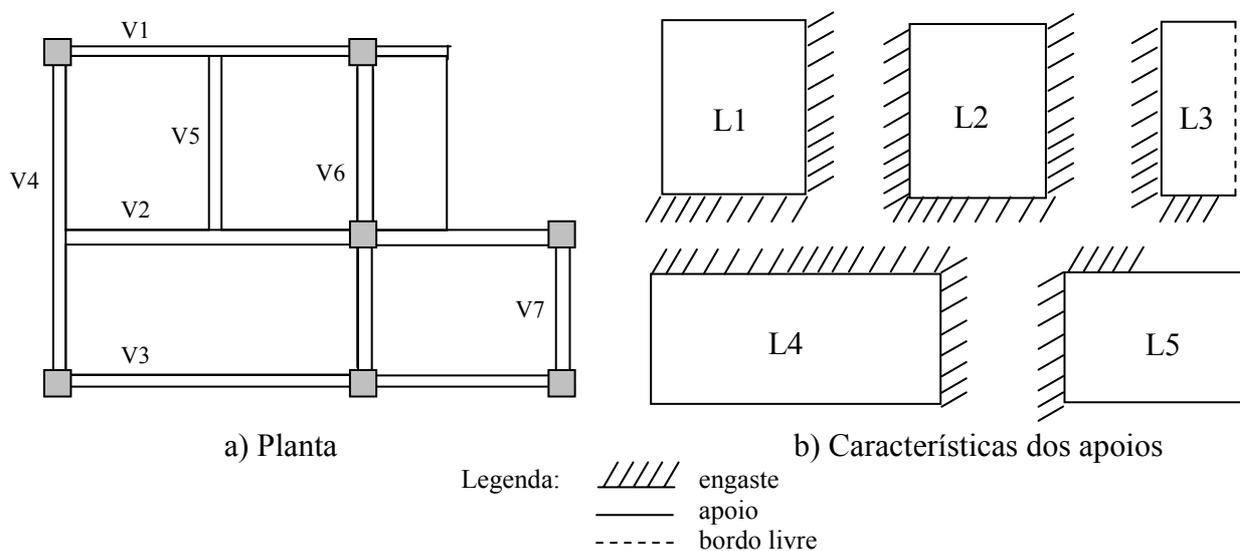


Figura - Considerações dos Apoios das Lajes

As cargas atuantes nas lajes são consideradas através da taxa de distribuição por metro quadrado de laje - por exemplo 5 kN/m^2 . Estas cargas podem ser:

carga permanente - peso próprio; revestimento; teto falso; etc.

sobrecarga ou carga de utilização – é a carga que pode variar ao longo do tempo de utilização da estrutura – móveis; carga de pessoas; etc.

A carga permanente é função dos materiais utilizados. Os pesos específicos dos materiais mais comuns são dados na norma NBR6120 – “Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações”. No caso de materiais especiais o fornecedor deve apresentar seus pesos específicos.

A sobrecarga a ser considerada depende do tipo de utilização do ambiente em questão e também é dada pela norma NBR6120. Exemplo (da Tabela 2 da norma):

Edifícios residenciais:		
	dormitórios, salas, copa, cozinha e banheiro	1,5 kN/m^2
	despensa, área de serviço e lavanderia	2,0 kN/m^2
Escadas	com acesso ao público	3,0 kN/m^2
	sem acesso ao público	2,5 kN/m^2
Bibliotecas:	salas de leitura	2,5 kN/m^2
	salas de depósito de livros	4,0 kN/m^2
	salas com estantes de livros, a ser determinado em cada caso, observado o valor mínimo de	6,0 kN/m^2

Espessuras das Lajes:

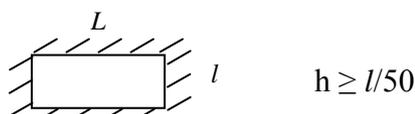
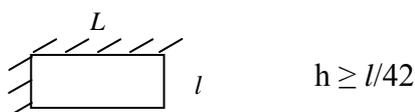
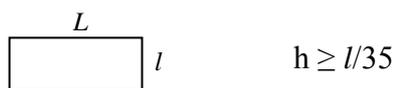
As lajes não devem ser muito finas para evitar grandes deformações e também para evitar vibrações sob cargas móveis. A NBR6118, em seu item 13.2.4 - Lajes, apresenta várias recomendações para o dimensionamento das lajes de um modo geral. Para as lajes maciças a norma recomenda:

NBR6118 – item 13.2.4.1 Lajes maciças

“Nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 5 cm em lajes de cobertura não em balanço
- b) 7 cm em lajes de piso ou de cobertura em balanço
- c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN
- d) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN
- e) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, $l/42$ para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para lajes de piso contínuas
- f) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo.”

Nossa recomendação é que se considere a altura da laje igual ao vão menor sobre 35 no caso de lajes simplesmente apoiadas em seus quatro bordos; vão menor sobre 42 no caso de lajes com dois bordos engastados; vão menor sobre 50 no caso dos quatro bordos engastados:



Quando houver laje com bordo livre a flecha máxima deverá ser verificada. A NBR6118 antiga limitava as flechas, considerando cargas de cálculo, como a seguir:

“item 4.2.3.1.C – Em estruturas de edifícios

....

- a) as flechas medidas a partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não ultrapassarão $1/300$ do vão teórico, exceto no caso de balanços para os quais não ultrapassarão $1/150$ do seu comprimento teórico;
- b) o deslocamento causado pelas cargas acidentais não será superior a $1/500$ do vão teórico e $1/250$ do comprimento teórico dos balanços.”