



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE FUNDAÇÕES E GEOTÉCNICA

PROJETO ESTRUTURAL: CONCEPÇÃO E INTEGRAÇÃO

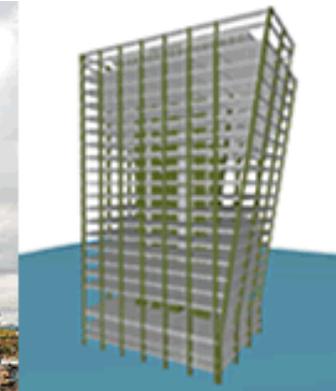
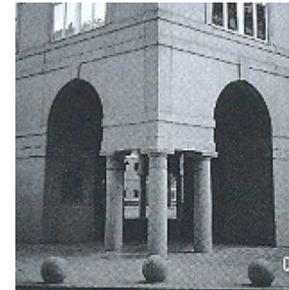
Prof. Dr. Claudius Barbosa
PEF2501

CONCEPÇÃO DO PROJETO

Arquitetura e Estrutura



- ✓ Ritmo
- ✓ Hierarquia
- ✓ Contraste
- ✓ Simplicidade
- ✓ Ambigüidade
- ✓ Simetria
- ✓ Leveza



Criação da forma → Criação da estrutura → Materiais e processos construtivos

CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Perceber, compreender, idealizar e desenvolver a estruturação de uma edificação, ou seja, definir o sistema estrutural mais adequado para constituir a parte resistente de uma edificação



- Resistir às ações e conduzir as forças ao solo;
- Permitir a existência de formas arquitetônicas (limites de deslocamentos);
- Garantir o exercício das funções, por meio da forma do espaço;
- Contribuir com a expressão arquitetônica;



“Depois veio Brasília, e exaltei as estruturas, nelas inserindo a arquitetura. E, ao terminar as primeiras, a arquitetura e estrutura estavam presentes como duas coisas que devem nascer juntas, e juntas se enriquecer.” (Oscar Niemeyer)

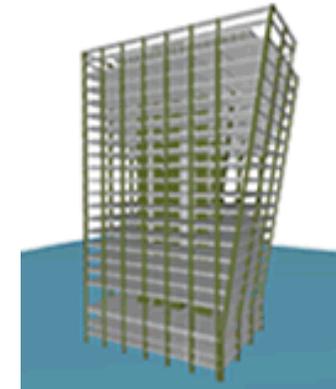
CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

ETAPA IMPRESCINDÍVEL DA CRIAÇÃO ARQUITETÔNICA

- Compatibilizar o projeto de estrutura com os complementares;
- Prever a transferência de cargas da forma mais direta possível;
- Uniformizar as dimensões dos elementos estruturais;
- Uniformizar o espaçamento entre pilares;
- Prever descontinuidades da estrutura por meio de juntas de dilatação;
- Prever a ação do vento na disposição dos elementos;
- Locar os pilares atentando quanto aos acesso de pedestres e automóveis;
- Evitar pilares nos limites dos terrenos;
- Especificar elementos estruturais adequados para casos particulares (ex.: balanços, pé-direito duplos, etc.);
- Atender às condições estéticas especificadas no projeto arquitetônico.

CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

“O projeto de arquitetura deve preocupar-se com a estrutura, de modo que a arquitetura e a estrutura se integrem, sem prejuízos às partes (...); entretanto, muitas vezes a estrutura tem que se adaptar de maneira forçada à arquitetura, ou ainda, que esta tenha sua estética ou funcionalidade (...)” (Rebello, 2007)

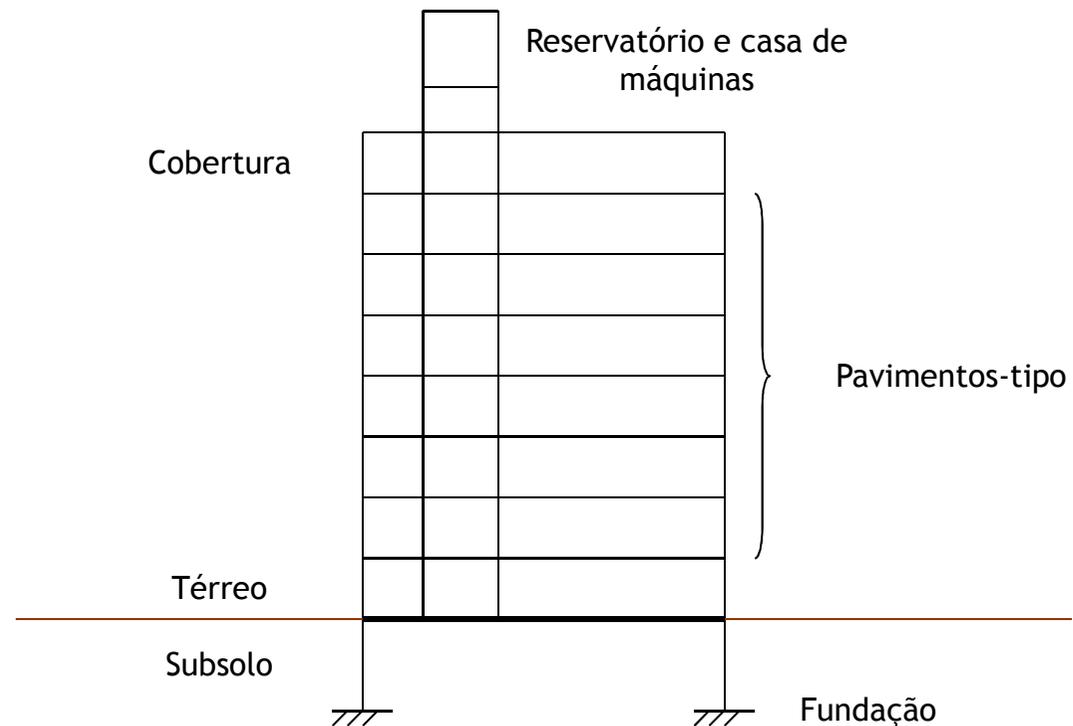


- A análise técnica, econômica e estética deve prevalecer na grande parte dos casos de concepção estrutural;
- A melhor concepção estrutural não é obtida com apenas um único lançamento estrutural e ainda, na maioria dos casos, apenas após diversas interações entre o Arquiteto e o Engenheiro de Estruturas.

CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

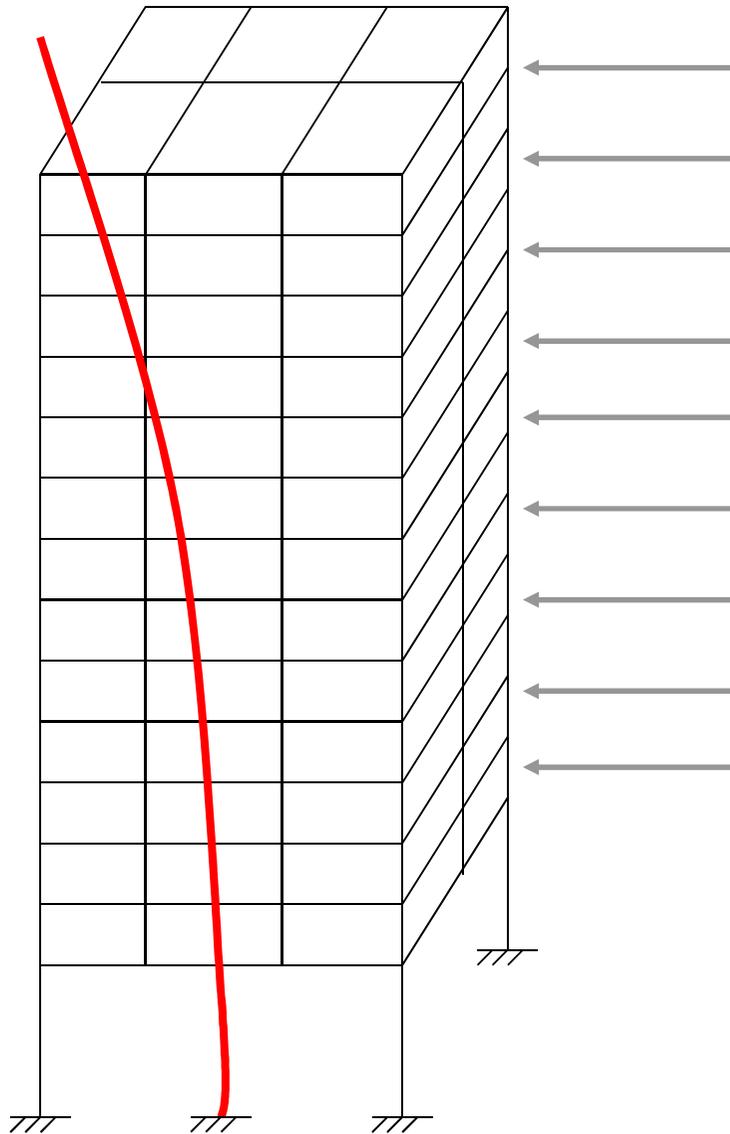
- Iniciar a estruturação pelo pavimento tipo ou, na ausência deste, pelo pavimento intermediário;
- Localizar primeiramente os pilares, sucedidos pelas vigas e lajes (ou vigas e depois pilares???)

**QUAL A
MELHOR
SOLUÇÃO?**

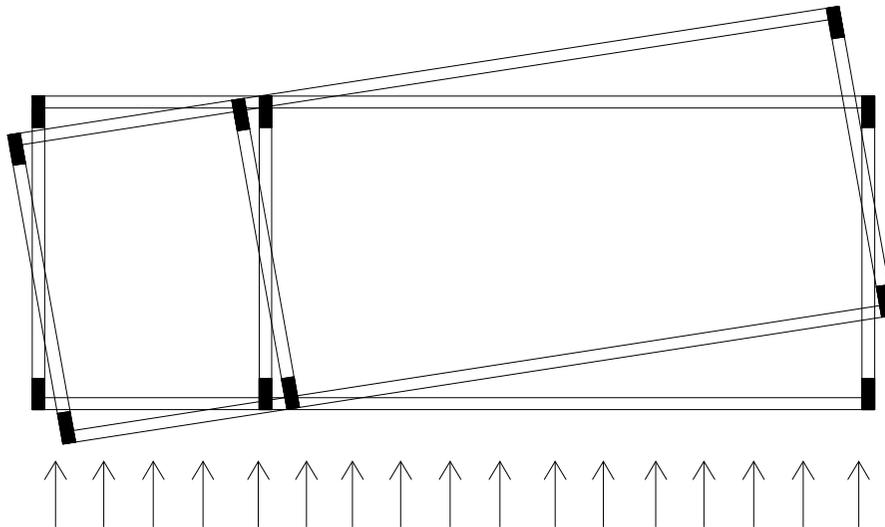


1. Localizar os pilares de canto;
2. Seguir para as áreas comuns a todos os pavimentos (escada e elevadores);
3. Localizar os pilares de extremidade e internos: imposições do projeto de arquitetura, embutir em paredes;
4. Dar preferência ao alinhamento dos pilares para a formação de pórticos e facilitar a locação (estabilidade global do edifício);
5. Prever a distância entre pilares de 4 a 6 m (espaçamento econômico);
6. Resultar vigas com mesma ordem de grandeza ($\neq \sim 20\%$);
7. A utilização de balanços aliviam o vão central;
8. Verificar interferências nos demais pavimentos (garagens, áreas sociais, etc.);
9. Evitar pavimentos de transição;
10. Dimensão dos pilares X espessura da alvenaria;
11. Evitar encontro entre vigas.

1. Dispor as vigas ligando os pilares, formando pórticos;
2. Inserir vigas para dividir um painel de laje com grandes dimensões;
3. Da mesma forma, para evitar que uma parede divisória se apóie na laje;
4. Largura de vigas X espessura da alvenaria;
5. Altura da viga X localização das esquadrias;
6. Pode-se utilizar vigas invertidas em função da interferência estética;
7. É interessante que as lajes tenham dimensões semelhantes;
8. Valor econômico do menor vão (l_x) das lajes: 3,5 m a 5,0 m;
9. Verificar a necessidade de vigas-faixa;
10. Para maiores vão utilizar outras soluções: laje nervurada, protendida, etc.;
11. Laje pré-moldada: dispor as vigotas no menor vão;
12. Utilizar vigas para travamento de pilares, se necessário;
13. Prever a reutilização de fôrmas.



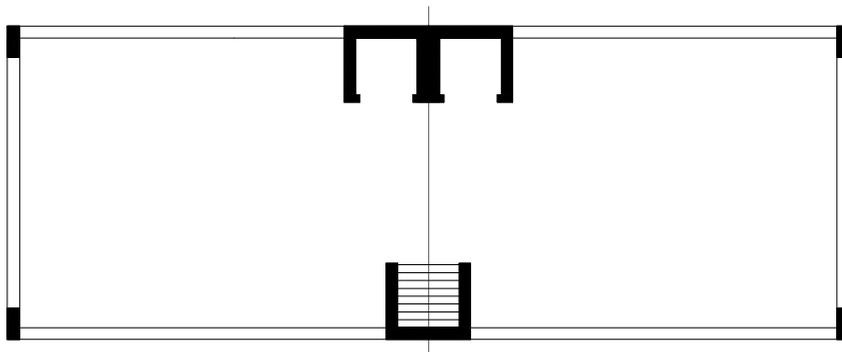
- Mesmas regras para lançamento e pré-dimensionamento;
- Solicitação ao vento origina novos esforços e novo comportamento;
- Efeito considerável > 6 pavimentos;
- Lajes = diafragmas;
- Estruturas de contraventamento;
- Dimensões semelhantes das vigas e pilares;
- Estrutura de contraventamento e estrutura contraventada.



1) Gama-Z (Eng. Mário Franco e Eng. Augusto Vasconcelos)

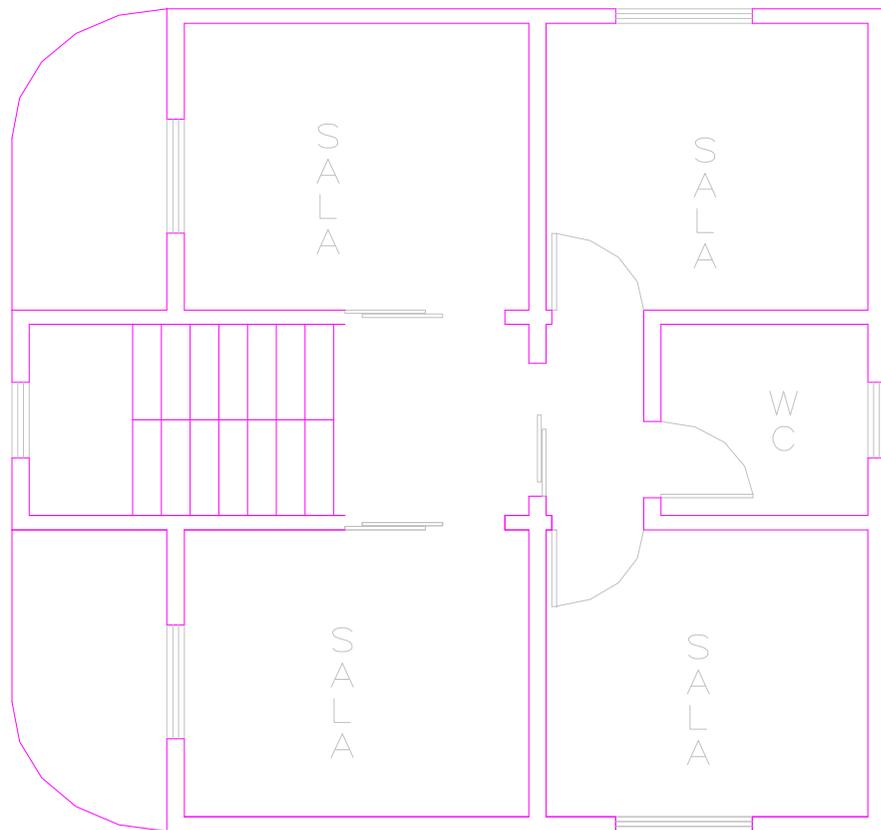
- Avaliação da deslocabilidade dos nós
- Efeitos globais de 2^a. ordem

2) Parâmetro α



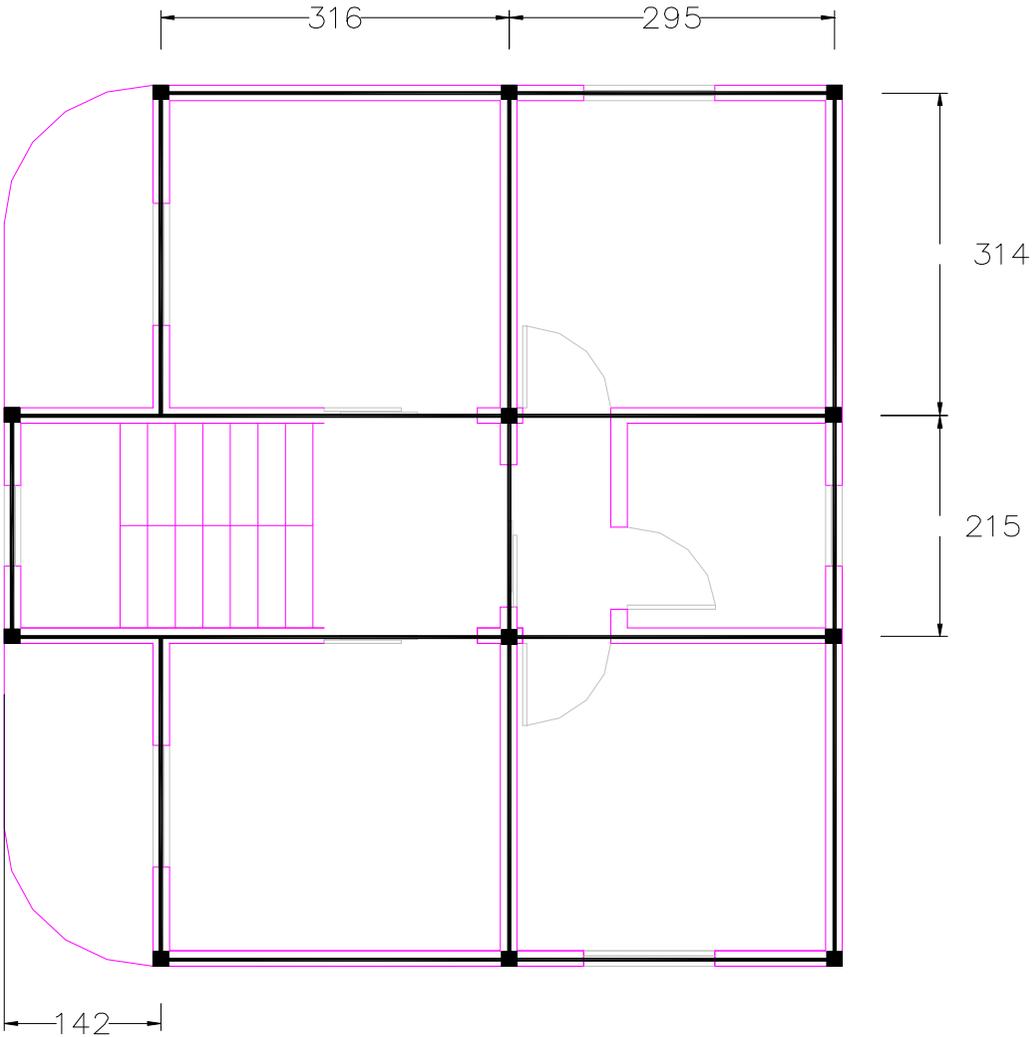
Processo P- Δ : consideração da não linearidade física e geométrica para determinação de esforços

OPORTUNIZMŪ VĀPĒRĀRĀCĪBĀ



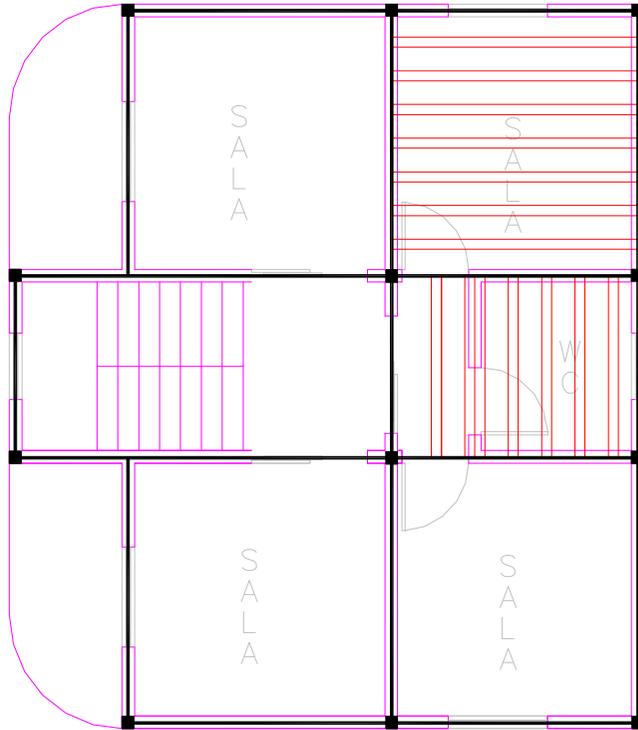
PRÉ-DIM.

OP-T
OZ-F
V-P
A-O
D-O
R-C
T-E
A-C
Q-R

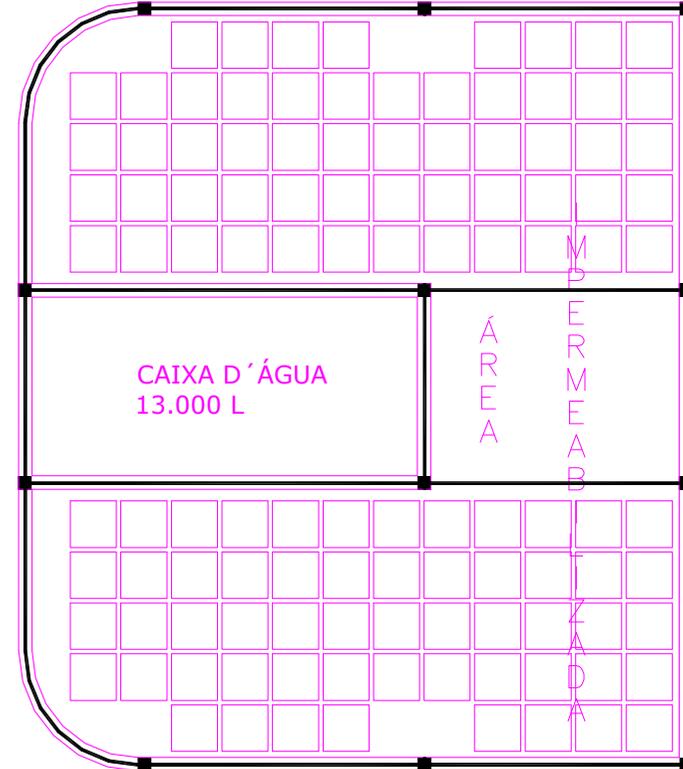


CONCEPÇÃO

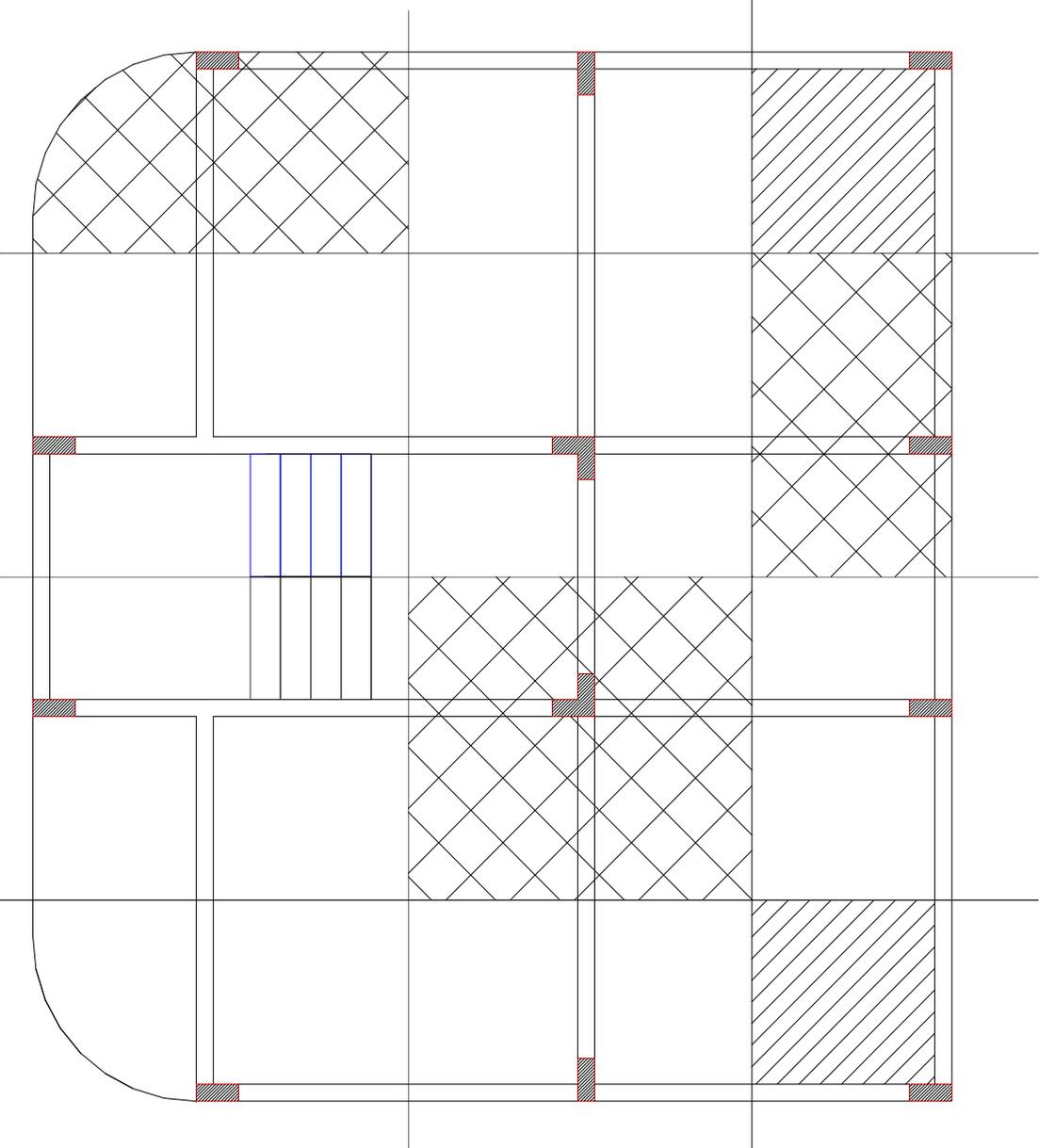
ARQUITETURA DO PAVIMENTO TIPO



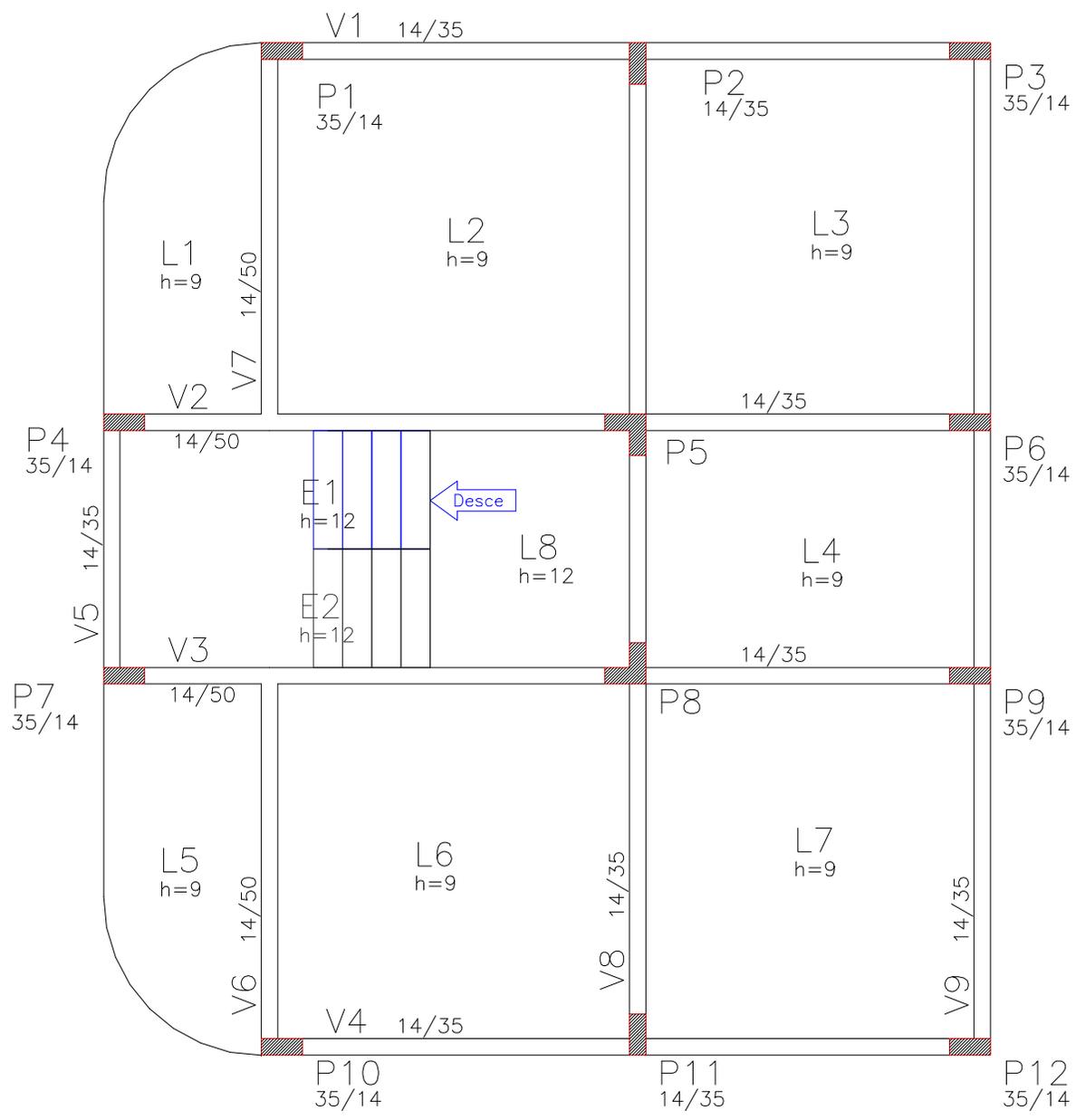
ARQUITETURA DA COBERTURA



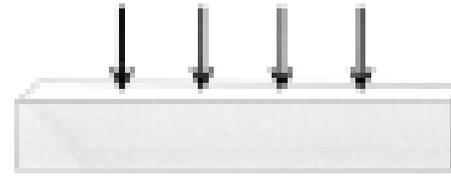
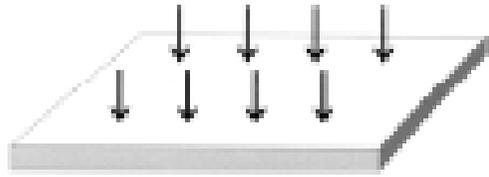
PRÉ-DIMENSIONNAMENTO



PRÉ-DIMENSIONAMENTO



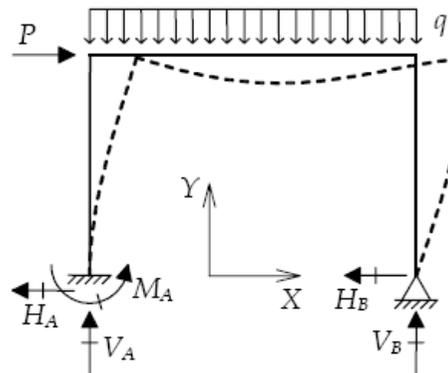
ANÁLISE ESTRUTURAL



- 1) MÉTODO DOS DESLOCAMENTOS
- 2) MÉTODO DOS ESFORÇOS



PROGRAMAS DE ANÁLISE ESTRUTURAL



- Resolução do modelo estrutural
- Compatibilização das deformações
 - Equilíbrio
 - Relações constitutivas dos materiais

PRÉ-DIMENSIONAMENTO

- Etapa subsequente à concepção estrutural
- Possibilita o cálculo do peso próprio do elemento estrutural
- Determina-se o vão equivalente
- Obtenção das rigidezes

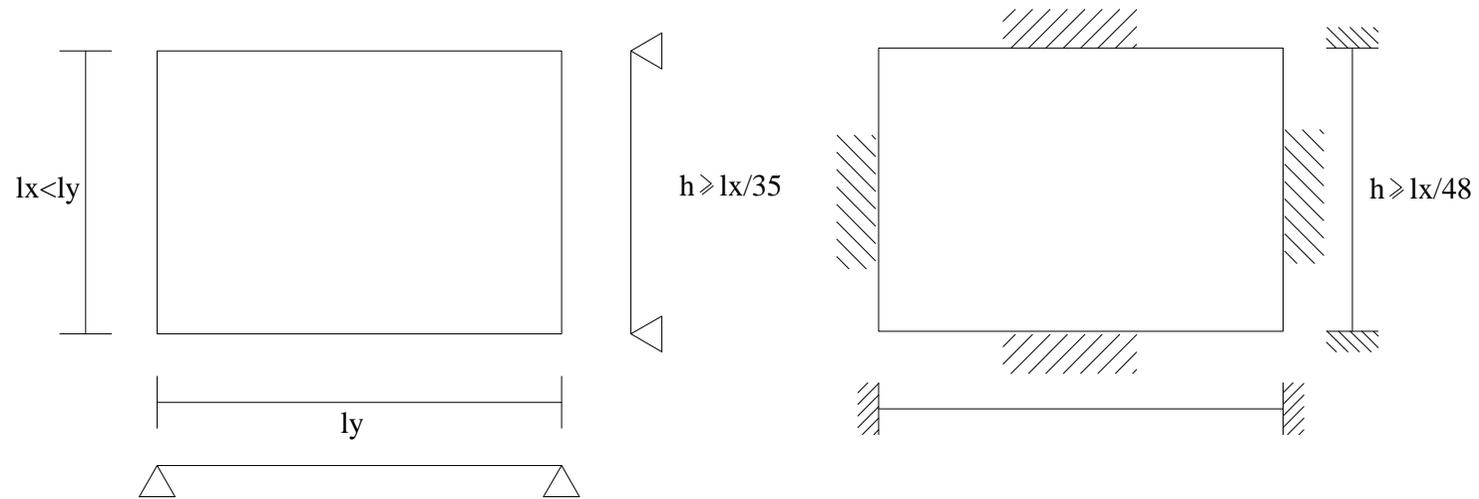
1. Laje maciça

a) se $l_y < 2l_x$: $h = 0,02 \cdot \frac{l_x + l_y}{2}$

b) se $l_y \geq 2l_x$: $h = 0,02 \cdot l_x$

c) lajes em balanço : $h = 0,04 \cdot l$

PRÉ-DIMENSIONAMENTO



Lajes maciças (armadas 1 direção): $h = \frac{l_0}{30}$

PRÉ-DIMENSIONAMENTO

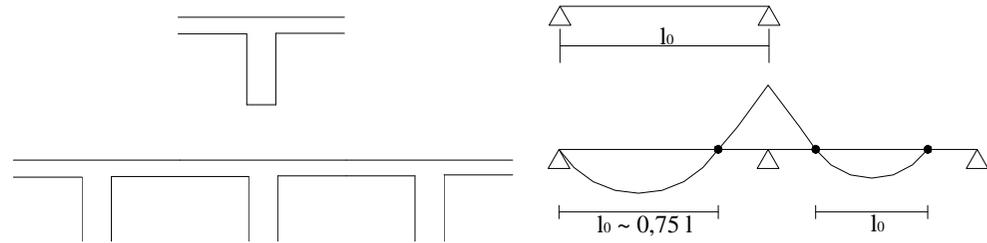
LAJES

2. Laje nervurada (grelha)

$$h_t = 0,04 \cdot \frac{l_x + l_y}{2}$$

$$b_w = 0,3 \cdot h_t$$

$$l_0 + b_w : \text{entre } 1,5 \cdot h_t \text{ e } 2 \cdot h_t$$



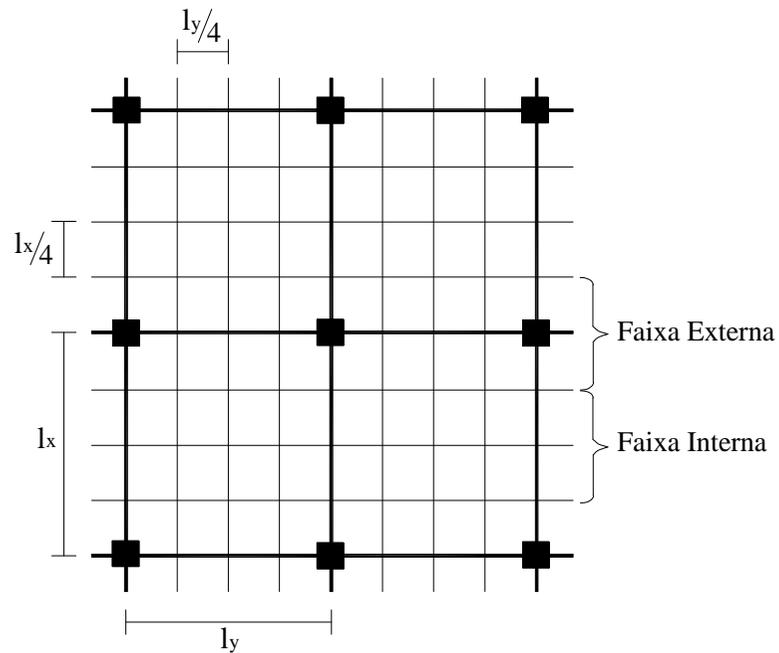
$$h_t = \frac{l_0}{20}$$

3. Laje sem vigas : $b_{\text{pilar}} \geq 30 \text{ cm}$; $b_{\text{pilar}} \geq l/20$; $b_{\text{pilar}} \geq h/1,5$

verificação à punção (capitél): $h = \frac{P(\text{kgf})}{10p \text{ (cm)}}$

PRÉ-DIMENSIONAMENTO

LAJES

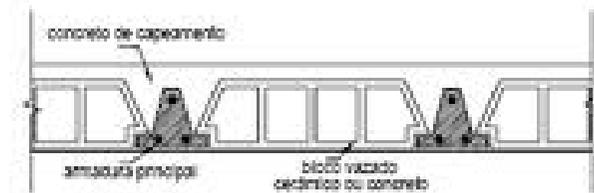
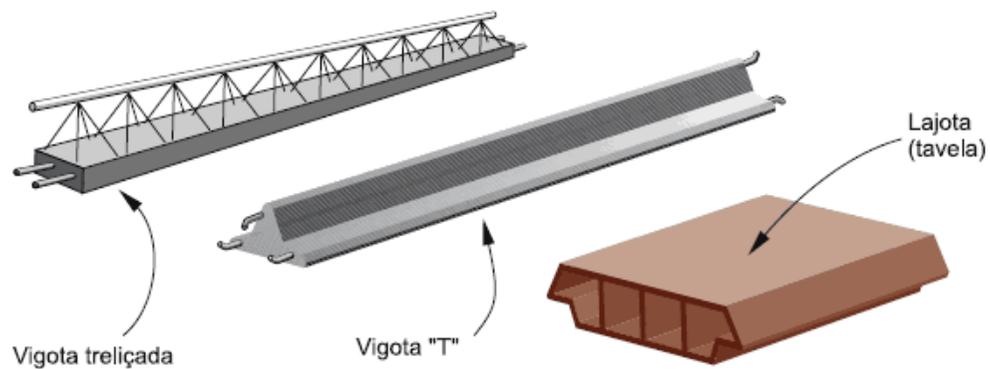


	FAIXA	
	INTERNA	EXTERNA
M+	45%	55%
M-	25%	75%

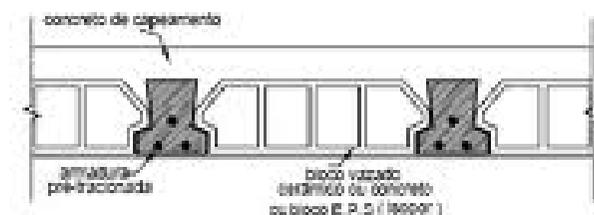
$$h \geq 1,5 \frac{l}{20} \quad \text{lajes nervuradas}$$

$$h \geq 1,5 \frac{l}{30} \quad \text{lajes maciças}$$

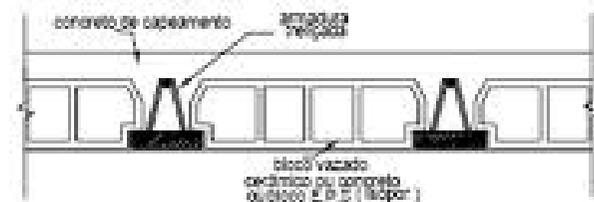
4. Laje pré - moldada :



vigota de concreto armado comum

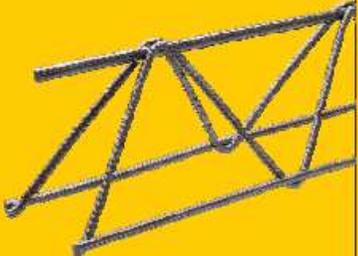


vigota de concreto armado pretendido



vigota treliçada

4. Laje pré - moldada :



TRELIÇA GERDAU

A Treliça Gerdau é fabricada com aço CA-60 nervurado, que permite melhor aderência ao concreto. Possui uma enorme capacidade de vencer grandes vãos e suportar altas cargas com toda a segurança. Você encontra a treliça Gerdau nos comprimentos de 8 m, 10 m e 12 m, em feixes de aproximadamente 65 kg. Sua utilização estrutural em lajes treliçadas e minipainéis treliçados bem como espaçador de armaduras, traz diversos benefícios para processo de construção:

Designação Gerdau	Designação conforme NBR 14862	Peso (kg/m)	Altura (cm)	Diâmetros (mm)		
				Banzo Superior	Diagonal	Banzo Inferior
TG 8 L	TR 08644	0.735	8	6,0	4,2	4,2
TG 8 M	TR 08645	0.821	8	6,0	4,2	5,0
TG 12 M	TR 12645	0.886	12	6,0	4,2	5,0
TG 12 R	TR 12646	1.016	12	6,0	4,2	6,0
TG 16 L	TR 16745	1.032	16	7,0	4,2	5,0
TG 16 R	TR 16746	1.168	16	7,0	4,2	6,0
TG 20 L	TR 20745	1.111	20	7,0	4,2	5,0
TG 20 R	TR 20756	1.446	20	7,0	5,0	6,0
TG 25 L	TR 25856	1.686	25	8,0	5,0	6,0
TG 25 R	TR 25857	1.855	25	8,0	5,0	7,0

- Redução do uso de fôrmas e escoramentos
- Redução do custo com mão-de-obra
- Racionalização na execução e na organização do canteiro de obras
- Maior rapidez na montagem

**FAÇA PISOS OU LAJES.
CONTE COM A GARANTIA DE QUALIDADE
DA TRELIÇA GERDAU**

APLICAÇÕES:

- Lajes Pré-Moldadas Treliçadas;
- Lajes Planas Treliçadas;
- Lajes Treliçadas Auto-portantes;
- Espaçador;
- Cortinas Treliçadas, etc.

* Comprimento: 8; 10 e 12 m (produção de outras bitolas e alturas sob consulta).

Fonte: <http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-por-aplicacao-detalle-produto.aspx?familia=231>

4. Laje pré - moldada :

Exemplo ilustrativo (não utilizar para pré-dimensionamento)

h (cm) (capa + bloco)	Forro	Piso residencial	Piso comercial
	Vão (m)		
8 (2 + 6)	3,00	2,80	-
12 (4 + 8)	4,10	4,00	3,70
16 (4 + 12)	5,10	5,00	4,70
20 (4 + 16)	6,00	5,90	5,60
30 (6 + 24)	7,20	7,10	6,80

1. Vigas biapoiadas: $0,1 l$
2. Vigas biapoiadas com balanço: $0,1 l$ e/ou $0,2 l_b$
3. Vigas contínuas: $0,08 l$ (maior vão)
4. Vigas contínuas com balanço: $0,08 l$ e/ou $0,16 l_b$

Ou, de forma mais direta:

- a) Tramos internos: $0,08 l$
- b) Tramos externos: $0,1 l$

- Processo da área de influência: determinação da carga atuante;
- Carga hipotética sobre a área do edifício:
 - ✓ $q_{\text{piso}} = 1,0 \text{ a } 1,2 \text{ tf/m}^2$
 - ✓ $q_{\text{cobertura}} = 0,8 \text{ tf/m}^2$
- Área da seção do pilar:

$$A(\text{cm}^2) = \frac{P(\text{tf})}{0,1} \quad (h < 400 \text{ cm})$$

$$P = (A_{\text{influencia}} \cdot q_{\text{piso}}) \cdot n + A_{\text{influencia}} \cdot q_{\text{cob.}}$$

$$A(\text{cm}^2) = \frac{P(\text{tf})}{0,08} \quad (h > 400 \text{ cm})$$

- Pilares de reservatório (peso total em tf): $h_{\text{água}} \text{ (m)} \times 2$

1. Pilares

- menor dimensão ≥ 19 cm e $\geq h/25$
- Casos especiais ($b \geq 14$ cm): $\gamma_n = 1,95 - 0,05b$
- $A \geq 360$ cm²
- *Lajes sem vigas
- Pilar-parede: $h > 5b$

2. Vigas

- $b \geq 12$ cm (vigas)
- $b \geq 15$ cm (vigas-parede)

3. Lajes maciças

- $h \geq 7$ cm: lajes de cobertura sem balanço;
- $h \geq 8$ cm: lajes de piso sem balanço;
- $h \geq 10$ cm: lajes em balanço (se $h \leq 19$ cm, utilizar γ_n);
- $h \geq 10$ cm/12 cm: lajes p/ veículos com peso total menor/maior que 30 kN;
- $h \geq l/42$ e $l/50$: lajes protendidas biapoiadas e contínuas ($h \geq 15$ cm)
- $h \geq 14$ cm: para lajes cogumelo
- $h \geq 16$ cm: para lajes lisas

4. Lajes nervuradas

- $h_f \geq 4$ cm e $h_f \geq l_0 / 15$ (sem tubulação embutida);
- $h_f \geq 5$ cm (com tubulação embutida);
- $b_w \geq 5$ cm
- $l_0 + b_w \leq 110$ cm

- Caso seja necessária a variação da seção dos pilares, fazê-la a cada 4 ou 5 pavtos.;
- Máximo de três espessuras de lajes, em casos excepcionais;
- Compatibilizar as dimensões de vigas e pilares nos pórticos;
- As vigas devem sempre que possível estar embutida nas alvenaria;
- Deve-se “prever” a passagem de tubulação através das vigas e lajes;
- Para vigas, geralmente, 3 pares de seção transversal, mantendo-se a ‘h’ constante;
- Altura da viga em edifícios residenciais: ≤ 60 cm;
- Aberturas: lajes lisas ou lajes cogumelo (verificar seções);
- Maciças e nervuradas: abertura $< 1/10 l_x$ e distância para a borda livre $\geq 1/4 l_{x,y}$;
- Furos: distância maior que 5 cm da face da viga e 2 vezes o cobrimento;
- **Canalizações embutidas.**

DESLOCAMENTOS LIMITES

DESEMPENHO E EXECUÇÃO

- a) Aceitabilidade sensorial: vibrações ou efeito visual desagradável;
- b) Efeitos específicos (serviço): os deslocamentos impedem a utilização adequada;
- c) Efeitos em elementos não estruturais: mau funcionamento de elementos;
- d) Efeitos em elementos estruturais: afetam o comportamento estrutural (hipóteses de cálculo).

LIMITES PARA DESLOCAMENTOS

- Deslocamentos visíveis: $l/250$;
- Coberturas: $l/250$;
- Paredes de alvenaria: $l/500$;
- Paredes de divisória leve: $l/250$ ou 25 mm;
- Forros colados: $l/350$
- Forros pendurados ou com juntas: $l/175$.