

Concepção estrutural: principais desafios - do básico ao avançado.

Me. Engº Jeancarlo Ribas



Planejamento da Unidade

Para adequada absorção dos conceitos necessários propostos para a unidade, seguiremos o seguinte planejamento:

1.1 INTRODUÇÃO

1.2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

1.3 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS - LAJES MACIÇAS

1.4 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS - VIGAS RETANGULARES

1.5 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS - PILARES RETANGULARES

1.6 OBSERVAÇÕES GERAIS

1.7 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

1.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



Introdução

Algumas perguntas para reflexão... É possível obter esforços (dimensionamento) sem conhecer as dimensões das seções dos elementos estruturais?

- Ações verticais → peso próprio
- Resolução da estrutura hiperestática → pórtico
- Softwares de cálculo estruturais conseguem definir sozinhos as dimensões das seções dos elementos estruturais?

Permitem mais testes, mas requerem do usuário dados das seções



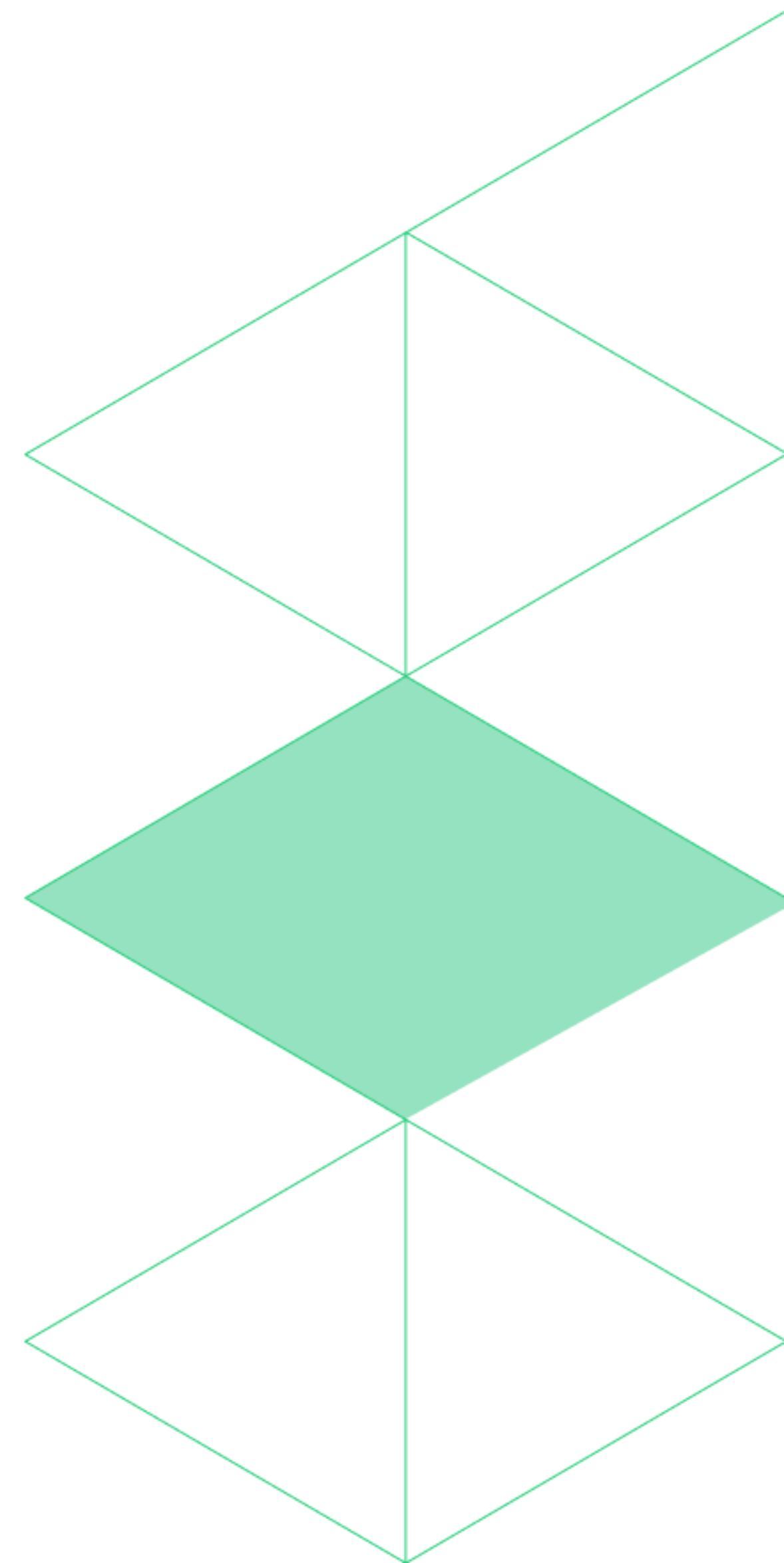
É necessário escolher as dimensões preliminares → pré-dimensionamento

Não existem normas e sim recomendações práticas (experiência)

Concepção Estrutural

Concepção estrutural – lançamento da estrutura

- Escolher um sistema estrutural que constitua a parte resistente do edifício;
- Essa etapa, **uma das mais importantes no projeto estrutural**, implica em escolher os elementos a serem utilizados e definir suas posições, de modo a formar um **sistema estrutural eficiente**, capaz de absorver os esforços oriundos das ações atuantes e transmiti-los ao solo de fundação.



A solução estrutural adotada no projeto deve atender aos requisitos de qualidade estabelecidos nas normas técnicas, relativos à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade da estrutura.

Concepção estrutural

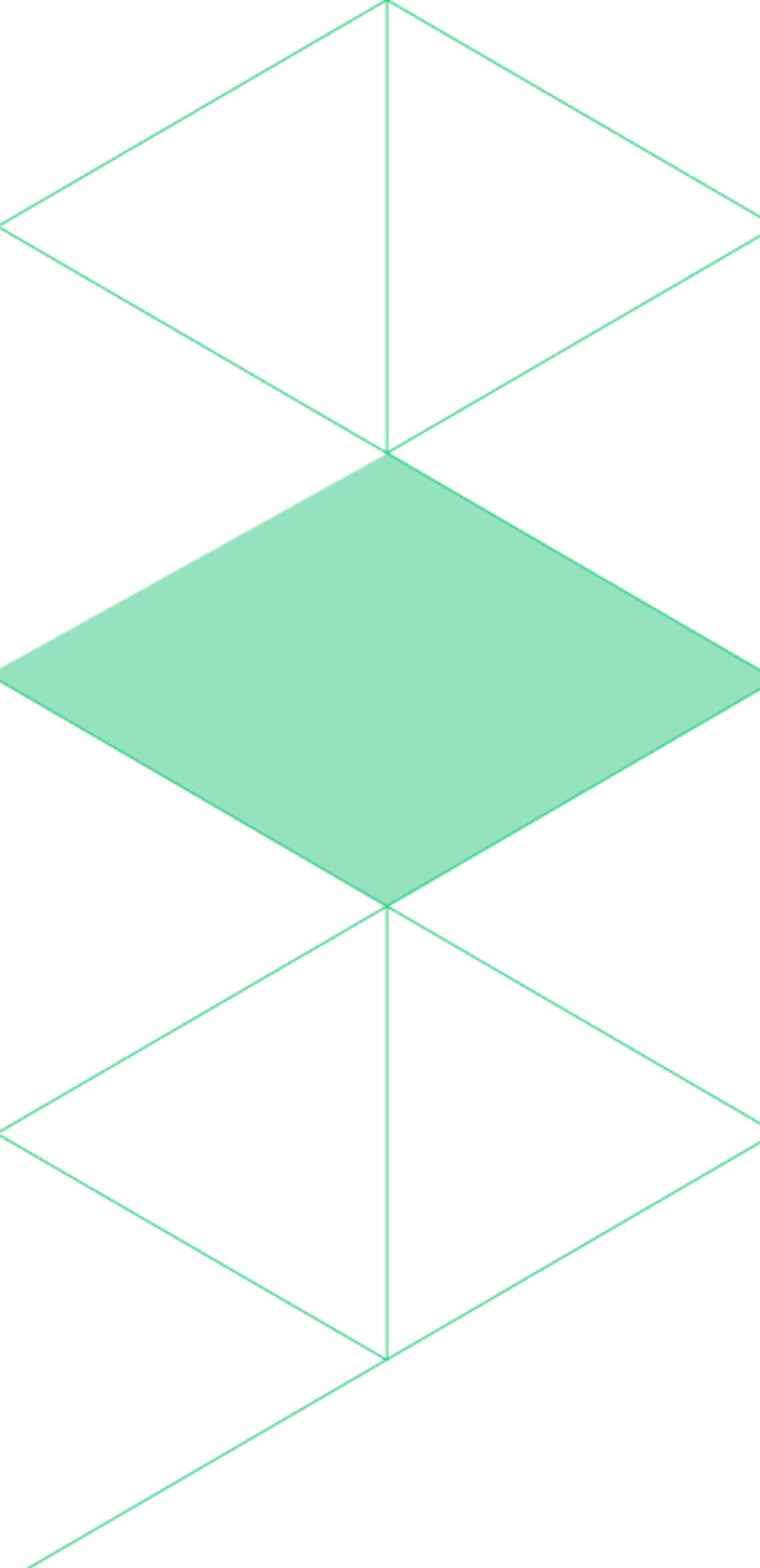
Deve levar em conta a finalidade da edificação e atender, tanto quanto possível, às condições impostas pela arquitetura.

Projeto arquitetônico

Representa, de fato, à base para a elaboração do projeto estrutural. Este deve prever o posicionamento dos elementos de forma a respeitar a distribuição dos diferentes ambientes nos diversos pavimentos. Mas não se deve esquecer de que a estrutura deve também ser coerente com as características do solo no qual ela se apoia.

Projeto estrutural

Deve ainda estar em harmonia com os demais projetos, tais como: de instalações elétricas, hidráulicas, telefonia, segurança, som, televisão, ar condicionado, computador e outros, de modo a permitir a coexistência, com qualidade, de todos os sistemas.

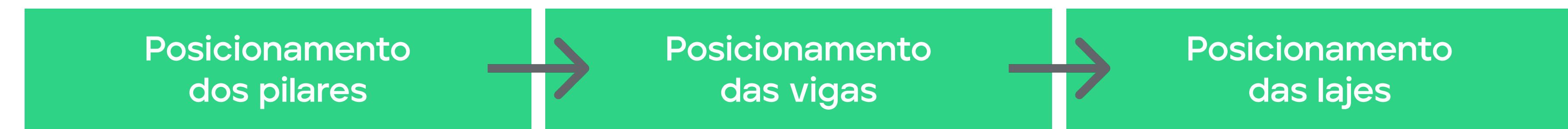


Os edifícios podem ser construídos, por exemplo, pelos seguintes pavimentos: subsolo, térreo, tipo, cobertura e casa de máquinas, além dos reservatórios inferiores e superiores.

Existindo pavimento-tipo, o que em geral ocorre em edifícios de vários andares, inicia-se pela estruturação desse pavimento.

Caso não haja pavimentos repetidos, parte-se da estruturação dos andares superiores, seguindo na direção dos inferiores.

Forma estrutural:



Observação: sempre levando em conta a compatibilização com o projeto arquitetônico.

Sistemas estruturais

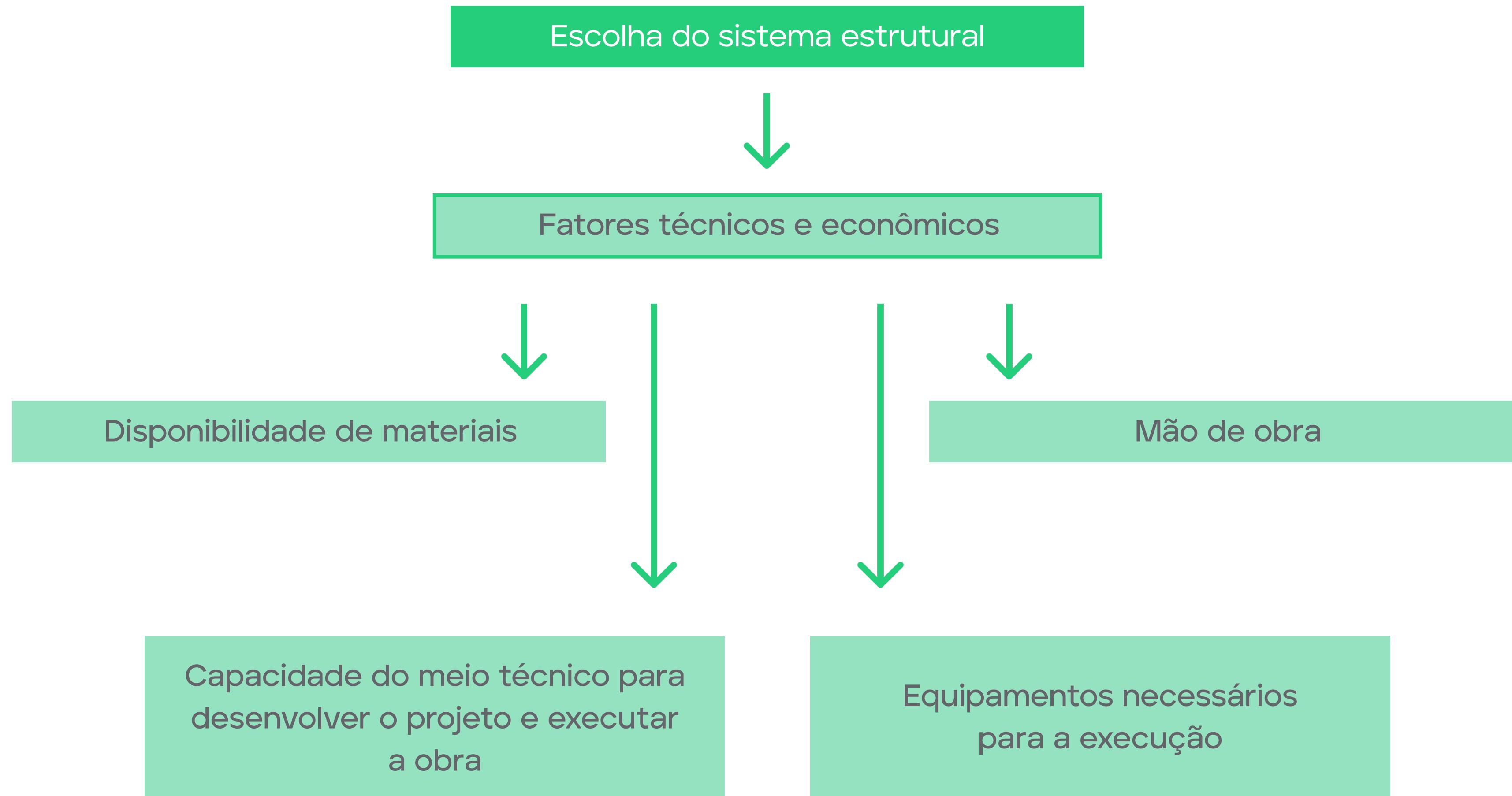
Inúmeros são os tipos de sistemas estruturais que podem ser utilizados.

Nos edifícios usuais empregam-se lajes maciças ou nervuradas, moldadas no local, pré-fabricadas ou ainda parcialmente pré-fabricadas.

Em casos específicos de grandes vãos, por exemplo, pode ser aplicada protensão para melhorar o desempenho da estrutura, seja em termos de resistência, seja para controle de deformações ou de fissuração.

Alternativamente, podem ser utilizadas lajes sem vigas, apoiadas diretamente sobre os pilares, com ou sem capitéis, casos em que são denominadas lajes-cogumelo, e lajes planas ou lisas, respectivamente.

No alinhamento dos pilares, podem ser consideradas vigas embutidas, com altura considerada igual à espessura das lajes, sendo também denominadas vigas-faixa.



No caso de edifícios residenciais e comerciais, a escolha do tipo de estrutura é condicionada, essencialmente, por **fatores econômicos**, pois as condições técnicas para projeto e construção são de conhecimento da Engenharia de Estruturas e de Construção.

Ações atuantes

O sistema estrutural de um edifício deve ser projetado de modo que seja capaz de **resistir não só às ações verticais, mas também às ações horizontais** que possam provocar efeitos significativos ao longo da vida útil da construção.

Ações verticais:

- Peso próprio dos elementos estruturais;
- Pesos de revestimentos e de paredes divisórias – além de outras seções permanentes;
- Ações variáveis decorrentes da utilização – cujos valores vão depender da finalidade do edifício;
- Outras ações específicas – por exemplo, o peso de equipamentos.

Ações horizontais:

- Ação do vento;
- Empuxo do subsolo.

Observação: onde não há ocorrência de abalos sísmicos.



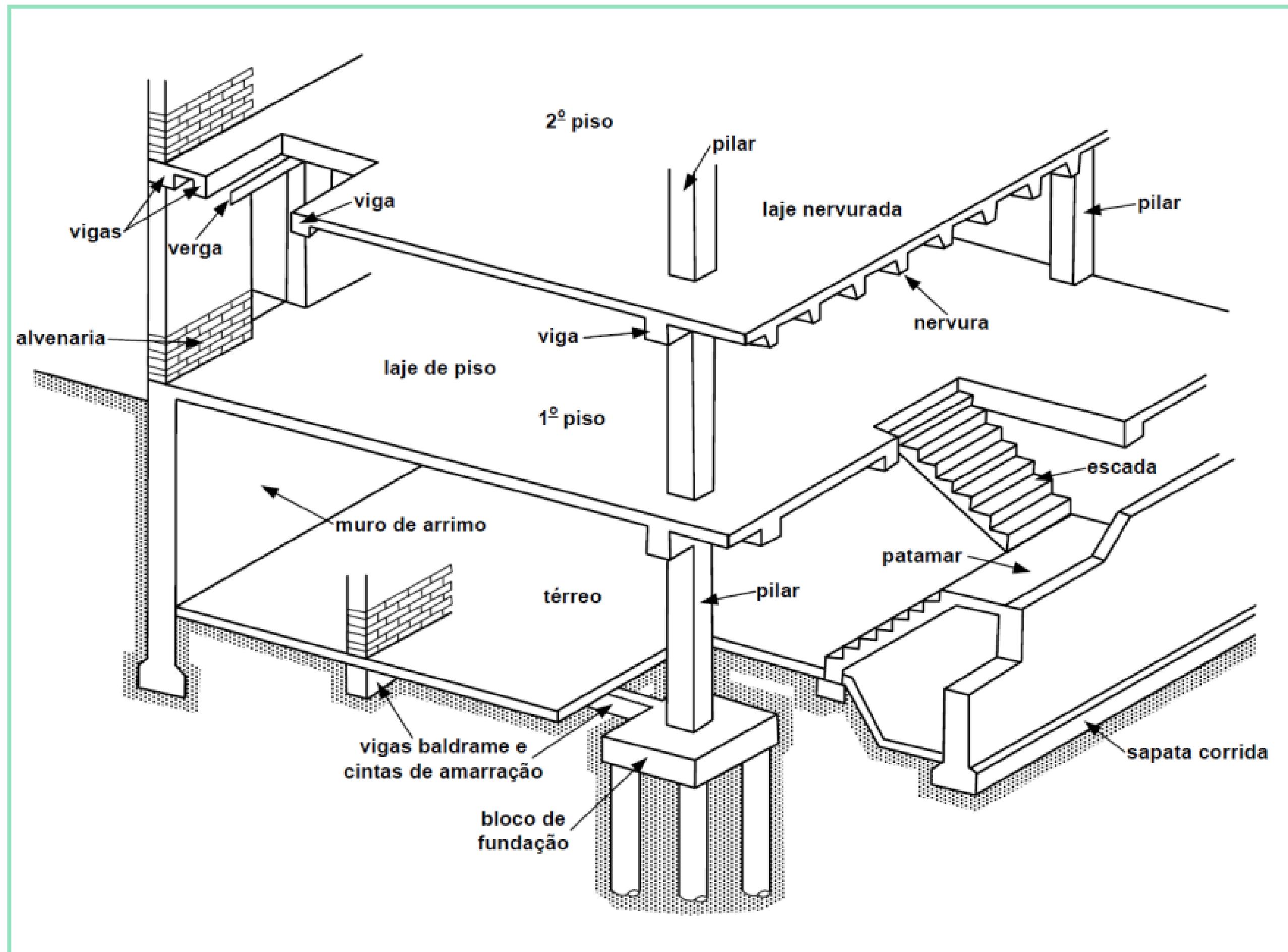


FIGURA 1 – Fonte Eng. Prof. Clever Roberto Nascimento (2014)

A definição do arranjo estrutural é chamada comumente de **lançamento estrutural**, sendo uma das etapas mais importantes do projeto de uma estrutura de concreto armado.

Lançamento estrutural

Definição da posição dos elementos estruturais que compõem a estrutura (lajes, vigas, pilares, etc...) e a estimativa da forma e dimensões dos elementos estruturais.

Posicionamento dos elementos:

Recomenda-se o seguinte roteiro de localização dos pilares:

Pilares nos cantos



Pilares nas áreas comuns a todos os pavimentos - elevadores e escadas- e respectivamente na cobertura - casa de máquinas e reservatório superior



Pilares de extremidade e pilares internos - buscando embuti-los nas paredes ou procurando respeitar as imposições arquitetônicas

Deve-se, sempre que possível, **dispor os pilares alinhados**, a fim de formar pórticos com as vigas que os unem. Os **pórticos**, assim formados, contribuem significativamente na **estabilidade global** do edifício.

Posicionamento dos elementos: pilares e vigas

Pórtico composto sujeito a carregamentos horizontais (sismos, desaprumo ou vento) e cargas verticais (peso próprio e de utilização).

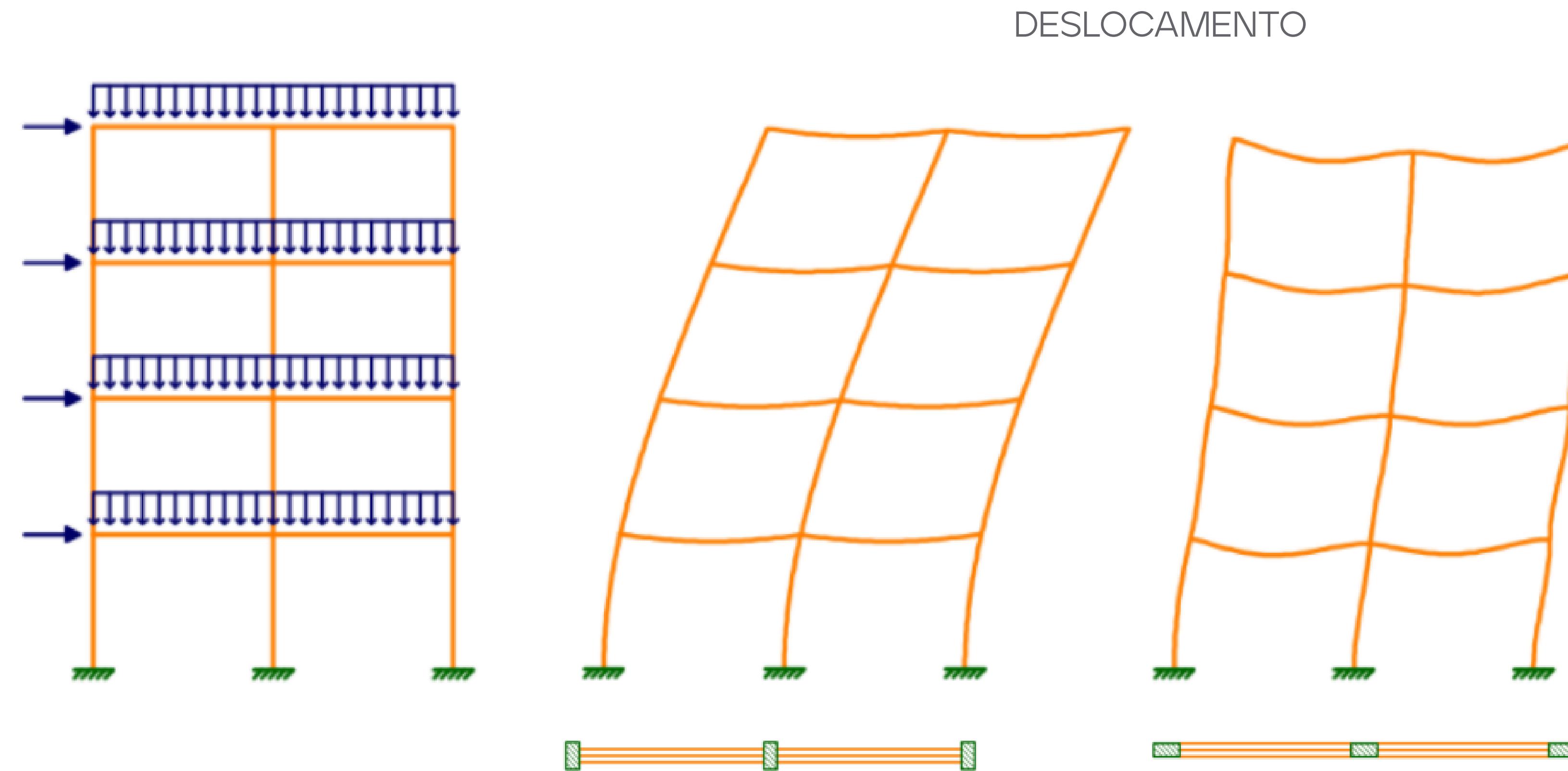
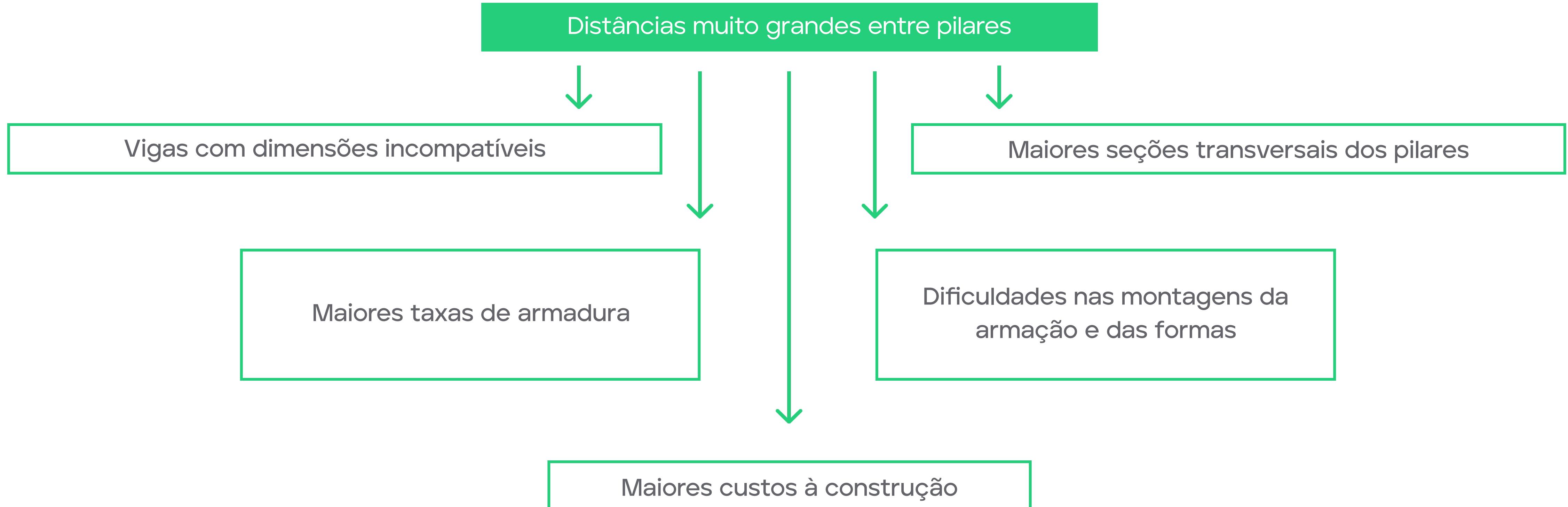


FIGURA 2

Fonte: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115001189634-Como-enrijecer-uma-estrutura-desloc%C3%A1vel->

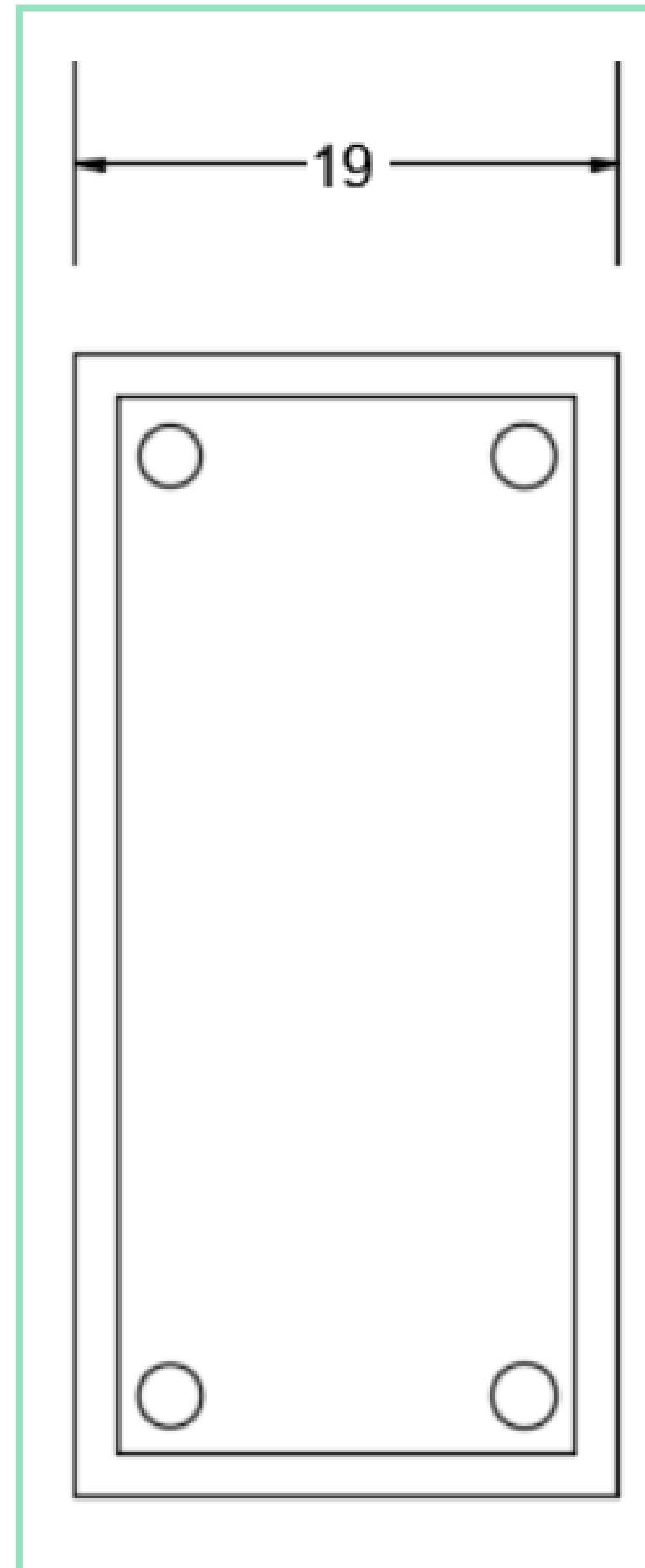
Usualmente os pilares são dispostos de forma que resultem distâncias entre seus eixos da ordem de 4 m a 6 m.



Distâncias muito pequenas entre pilares

Interferência nos elementos de fundação

Aumento no consumo de materiais e mão de obra



Deve-se adotar 19 cm, pelo menos, para a menor dimensão do pilar e escolher a direção da maior dimensão de maneira a garantir adequada rigidez à estrutura, nas duas direções.

Entre 14 e 19 cm a carga normal deve ser corrigida!

FIGURA 3

Posicionados os pilares no pavimento-tipo, deve-se verificar suas interferências nos demais pavimentos que compõem a edificação.

Na impossibilidade de compatibilizar a distribuição dos pilares entre os diversos pavimentos, pode haver necessidade de um **pavimento de transição***.

*A prumada do pilar é alterada, empregando-se uma viga de transição, que recebe a carga do pilar superior e a transfere para o pilar inferior, na sua nova posição.

Nos edifícios de muitos andares, devem ser evitadas grandes transições, pois os esforços na viga podem resultar exagerados, provocando aumento significativo de custos.

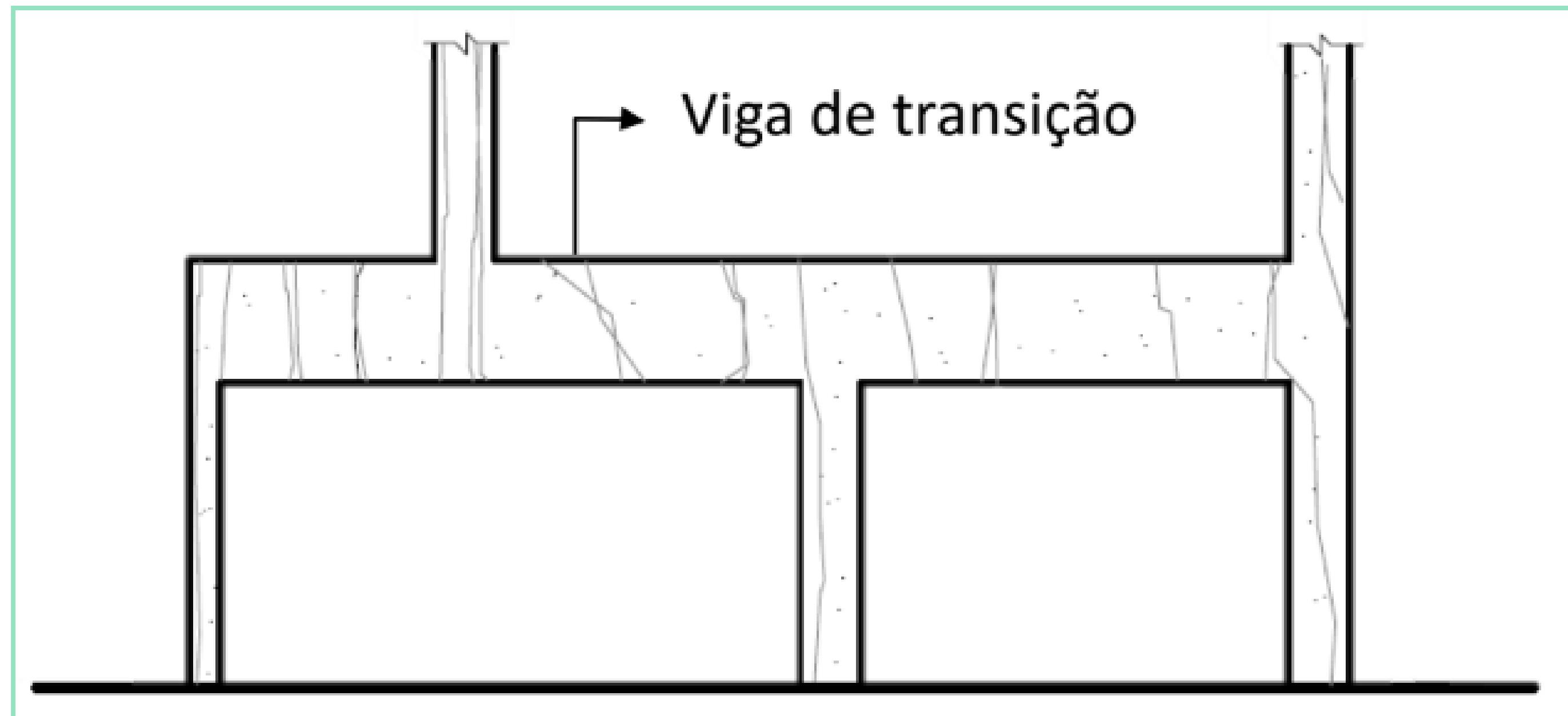


FIGURA 4 - Fonte: Prof. Eng. Gerson Moacir Sisiniegas Alva

Posicionamento dos elementos: vigas e lajes



- É comum, por questões estéticas e com vistas às facilidades no acabamento e ao melhor aproveitamento dos espaços, adotar larguras de vigas em função da largura da alvenaria.
- As alturas das vigas ficam limitadas pela necessidade de prever espaços livres para aberturas de portas e janelas.

Como as vigas delimitam os painéis de laje,
suas disposições devem levar em consideração
o valor econômico do menor vão das lajes, que,
para lajes maciças é da ordem de 3,5 m a 5,0 m.

O posicionamento das lajes fica, então,
praticamente definido pelo arranjo das vigas.

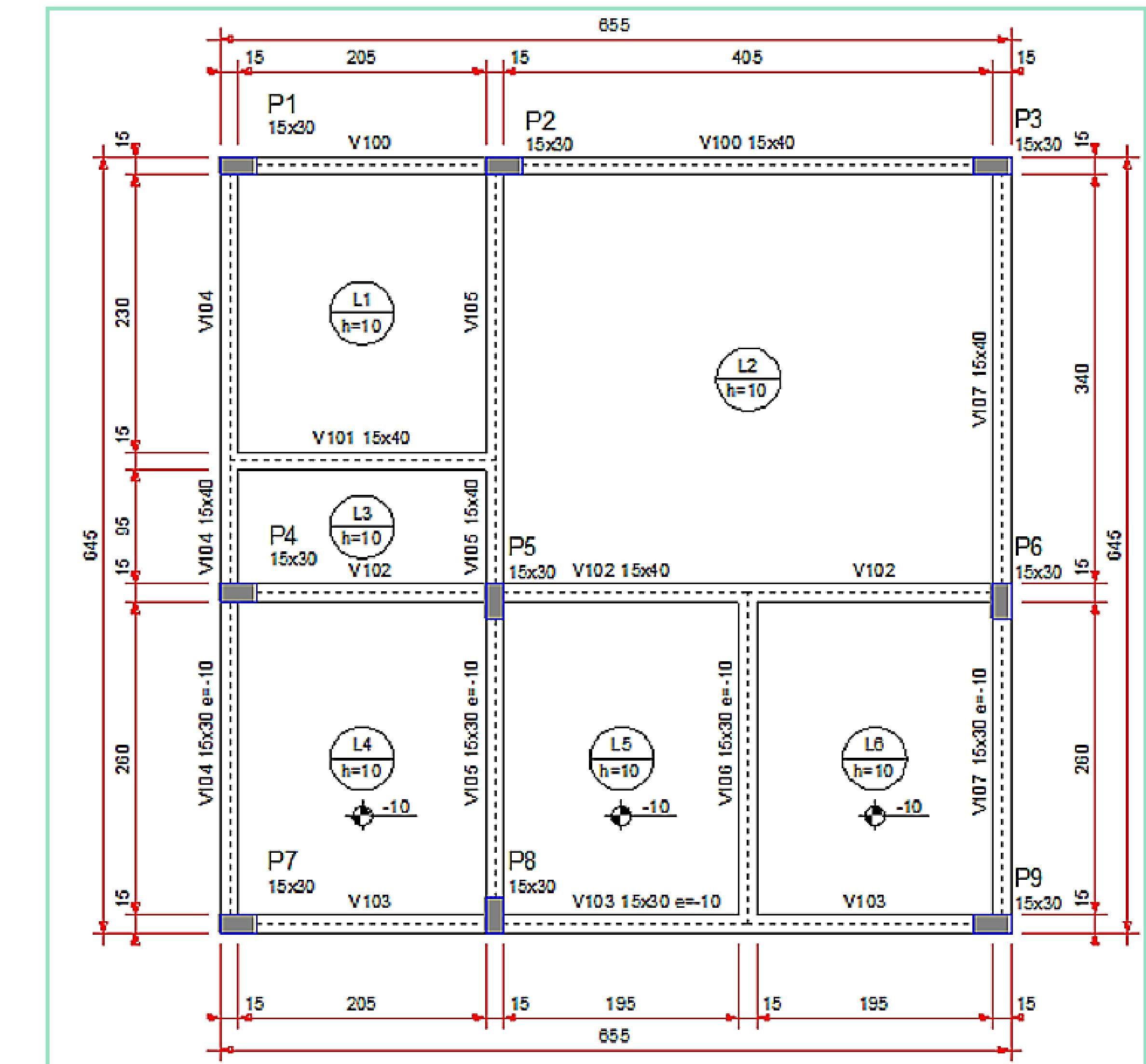


FIGURA 5

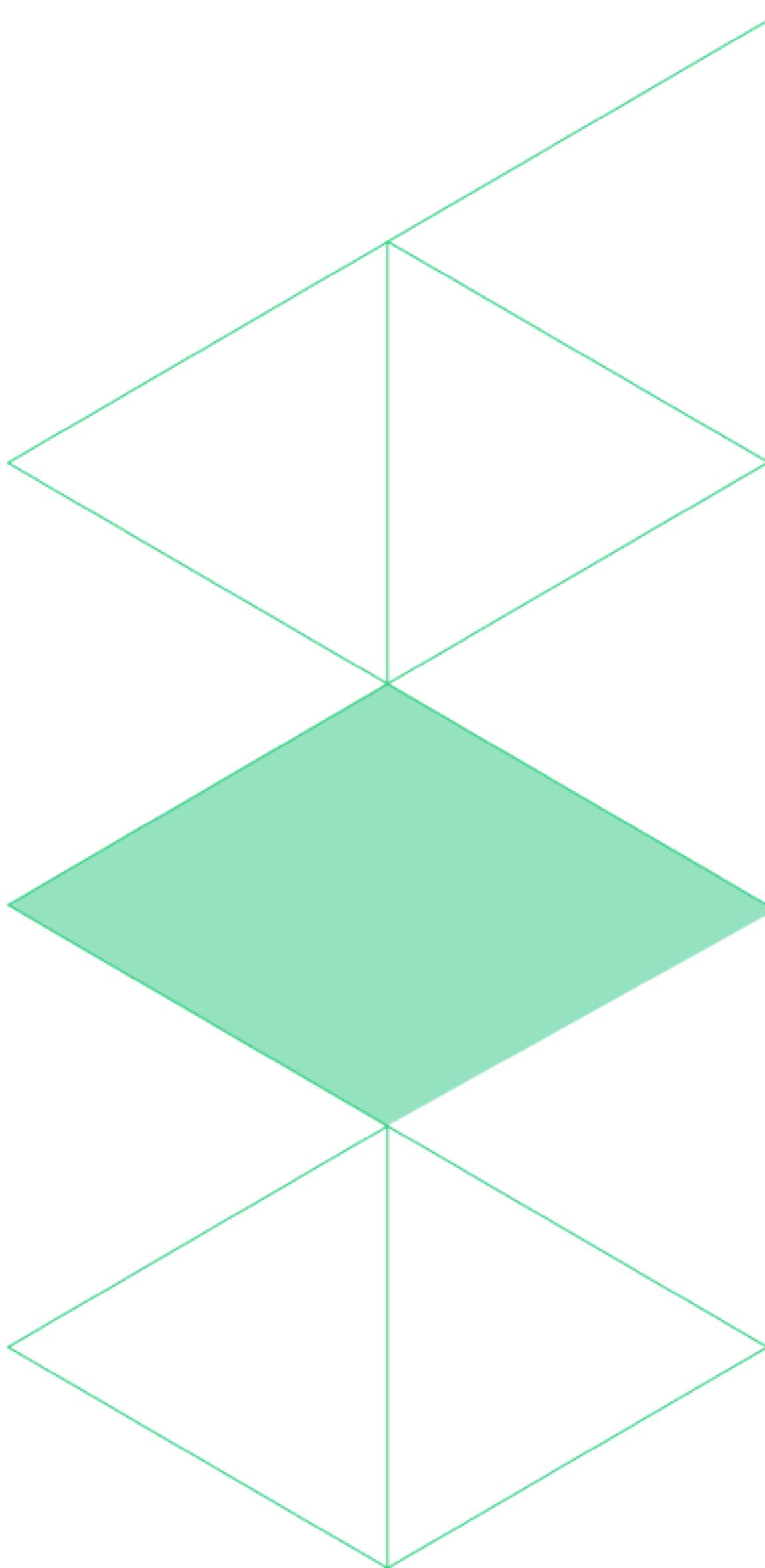
Formas preliminares

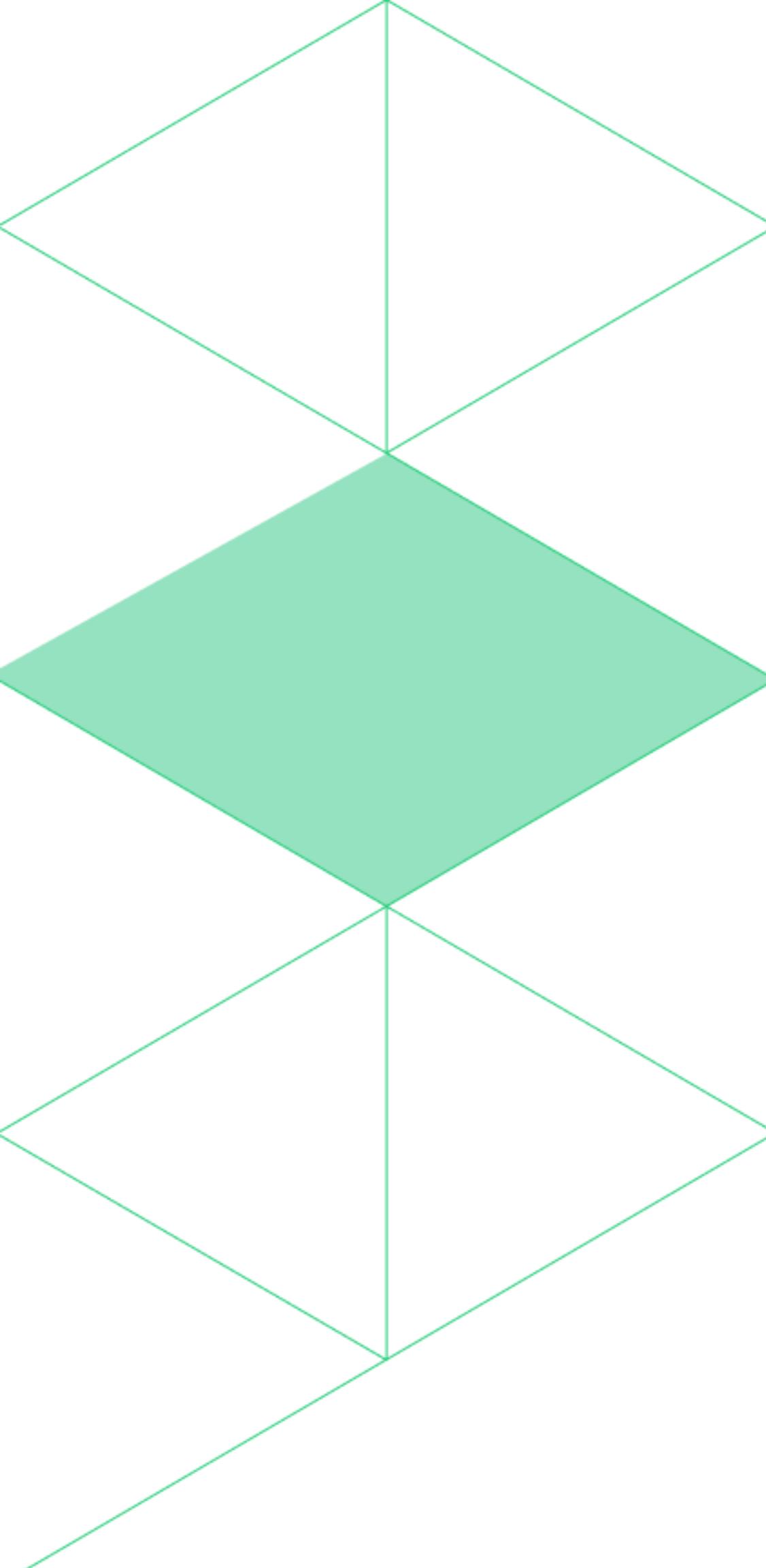
De posse do arranjo dos elementos estruturais, podem ser feitos **desenhos preliminares de formas de todos os pavimentos**, inclusive cobertura e caixa d'água, com as dimensões baseadas no projeto arquitetônico.

As larguras das vigas são adotadas para atender condições de arquitetura ou construtivas. Sempre que possível, devem estar embutidas na alvenaria e permitir a passagem de tubulações.

O comprimento mínimo das faces das vigas em relação às das paredes acabadas variam de 1,5 cm a 2,5 cm, em geral. Costuma-se adotar para as vigas **no máximo três pares de dimensões diferentes** para as seções transversais. O ideal é que todas tenham a mesma altura, para simplificar o cimbramento.

Em edifícios residenciais, é conveniente que as **alturas das vigas não ultrapassem 60 cm**, para não interferir nos vãos de portas e de janelas.





A numeração dos elementos (lajes, vigas e pilares) deve ser feita da esquerda para a direita e de cima para baixo.

- Inicia-se com a numeração dos pilares (P1, P2, P3, etc...), sendo que sua identificação deve ser colocada próxima do elemento, de forma a não se sobreponem com as cotas;
- Em seguida são numeradas as vigas (normalmente isoladas por pavimento = V1, V2, V3, etc...). Sua identificação deve ser posicionada em todos os vãos, com o texto da seção transversal posicionado no maior vão. Em caso de seções compostas (variação de altura), as mesmas devem conter identificação em todos os vãos;
- Finalmente são numeradas as lajes (L1, L2, L3, etc...), com sua identificação posicionada próximas do centro, na forma estrutural.

Detalhamento mínimo das plantas de forma

Escala usual = 1:50

- **Pilares:** nome, seção, elevação e hachura conforme posicionamento vertical;
- **Vigas:** nome e seção no maior vão e em caso de seções compostas em todos os vãos;
- **Lajes:** nome, altura, simbologia adequada, indicação de cargas lineares ou de superfície, bem como hachuras e níveis conforme posicionamento vertical (regiões com elevação negativa ou positiva);
- **Cotas:** externas (incluindo pilares), internas (apenas vigas) e totais nas direções principais.
- **Tabelas:** lajes, vigas e legenda dos pilares.

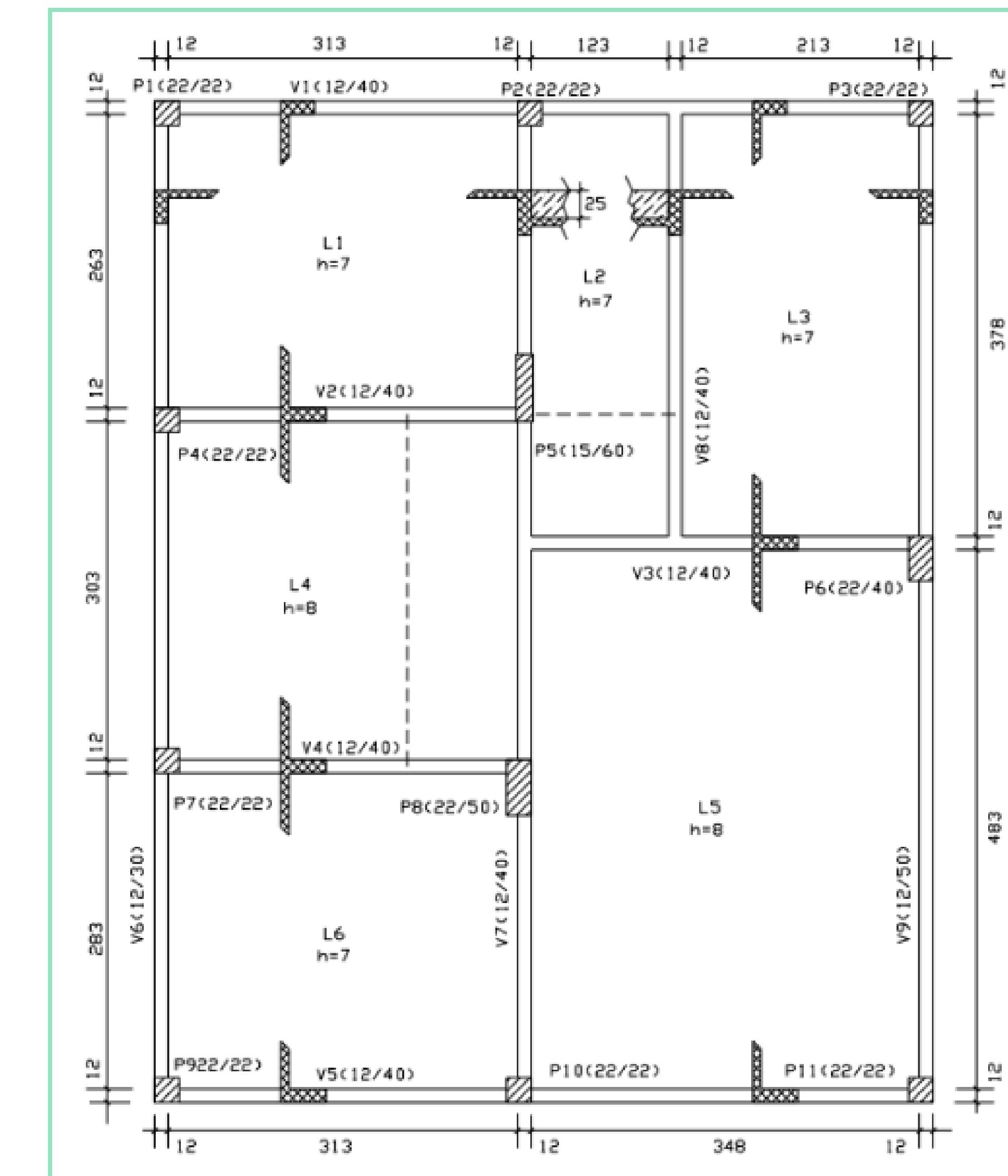


FIGURA 6

Recomendações Práticas - Lajes Maciças

Lajes maciças

Espessura (h):

$$h \approx \frac{L_x}{40}$$

L_x = menor vão da laje

As lajes não devem ser muito finas para evitar grandes deformações e também para evitar vibrações sob cargas móveis.

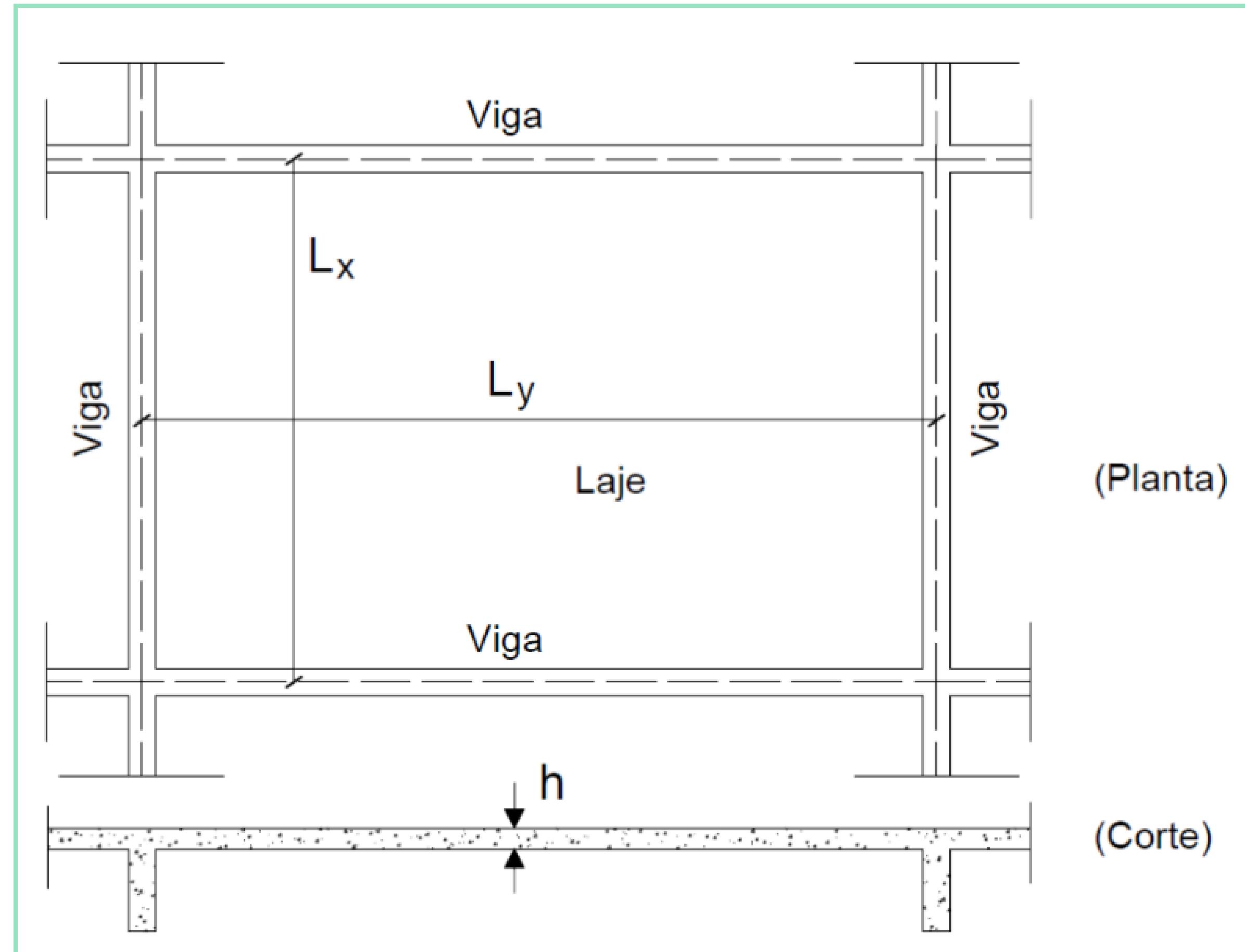


FIGURA 7

A NBR 6118/2014, em seu item 13.2.4 – Lajes, apresenta várias recomendações para o dimensionamento das lajes em geral. Para as lajes maciças a norma recomenda os valores mínimos:

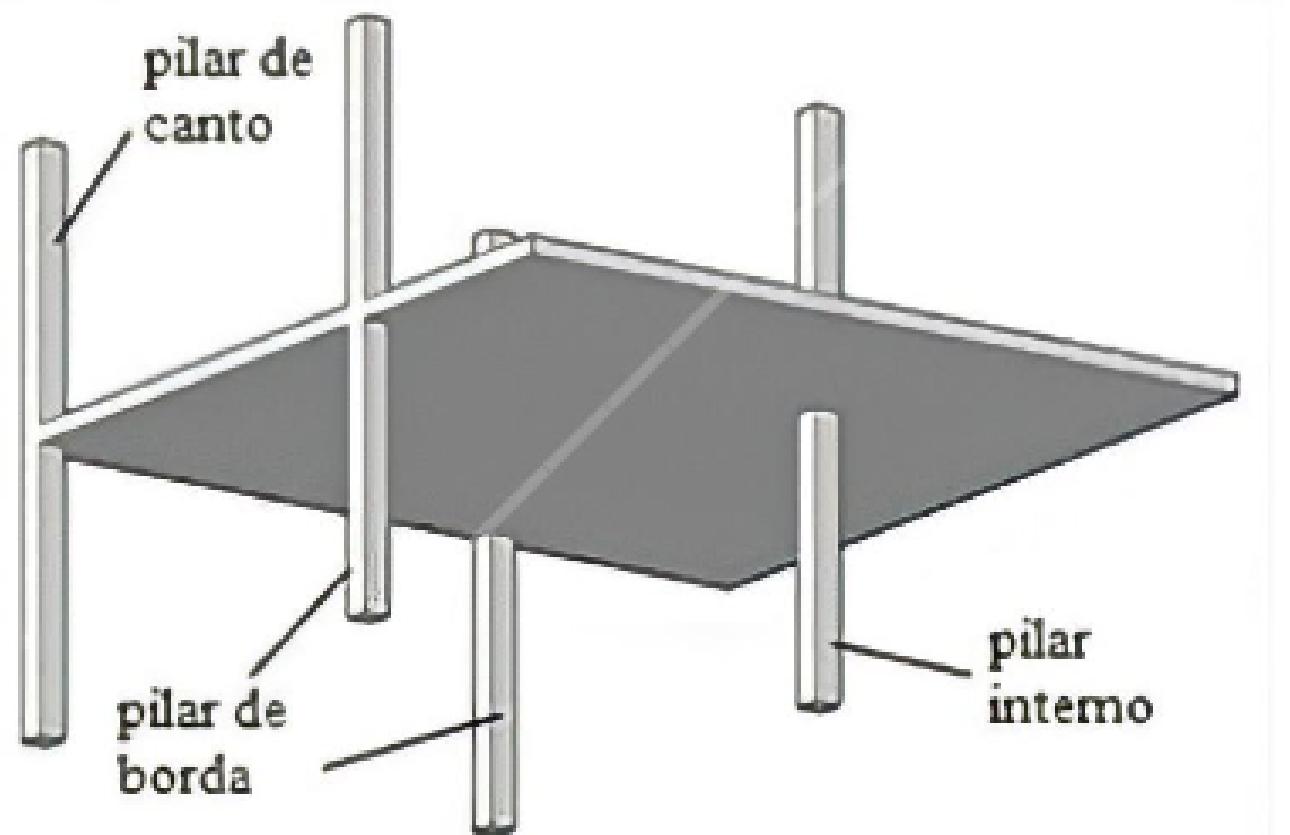
- a) 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $L/42$ para lajes de piso biapoiadas e $L/50$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo fora do capitel.



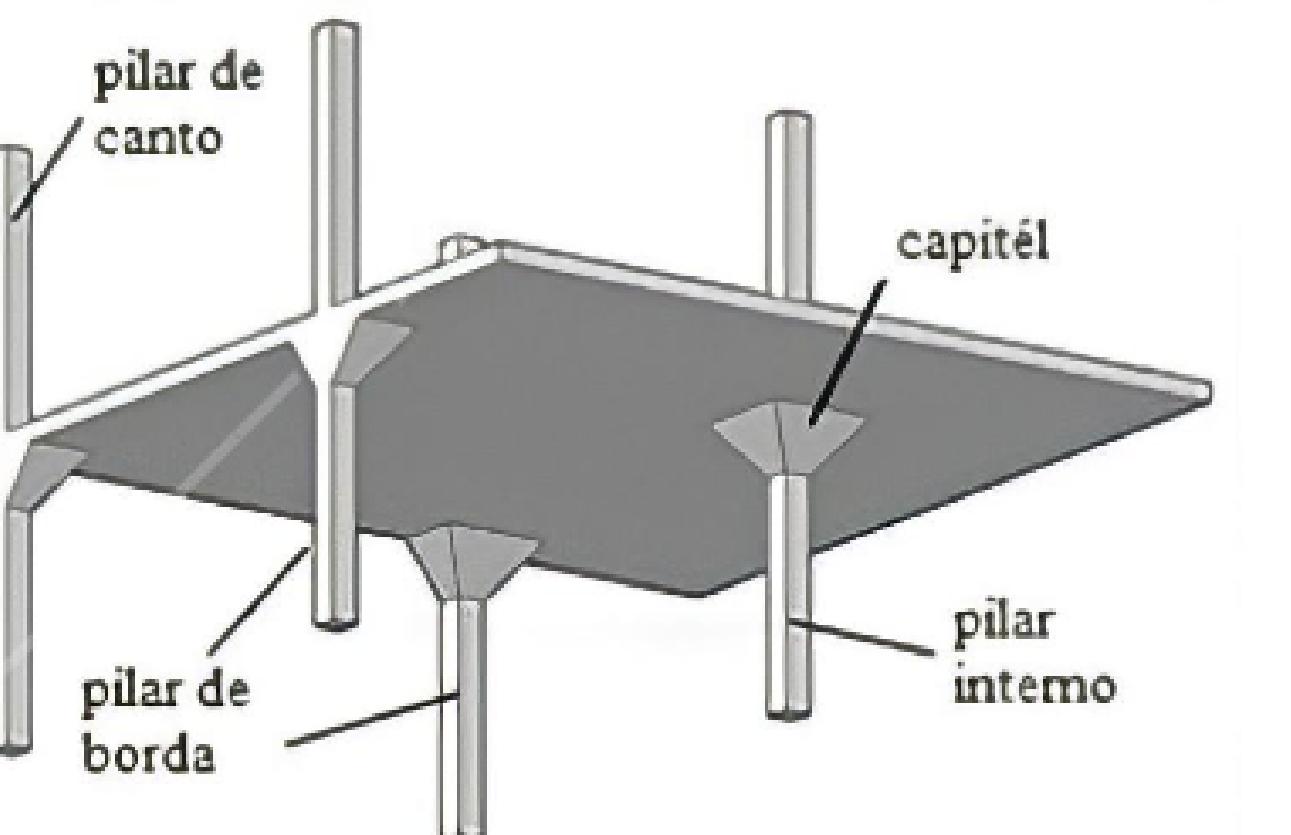
FIGURA 8



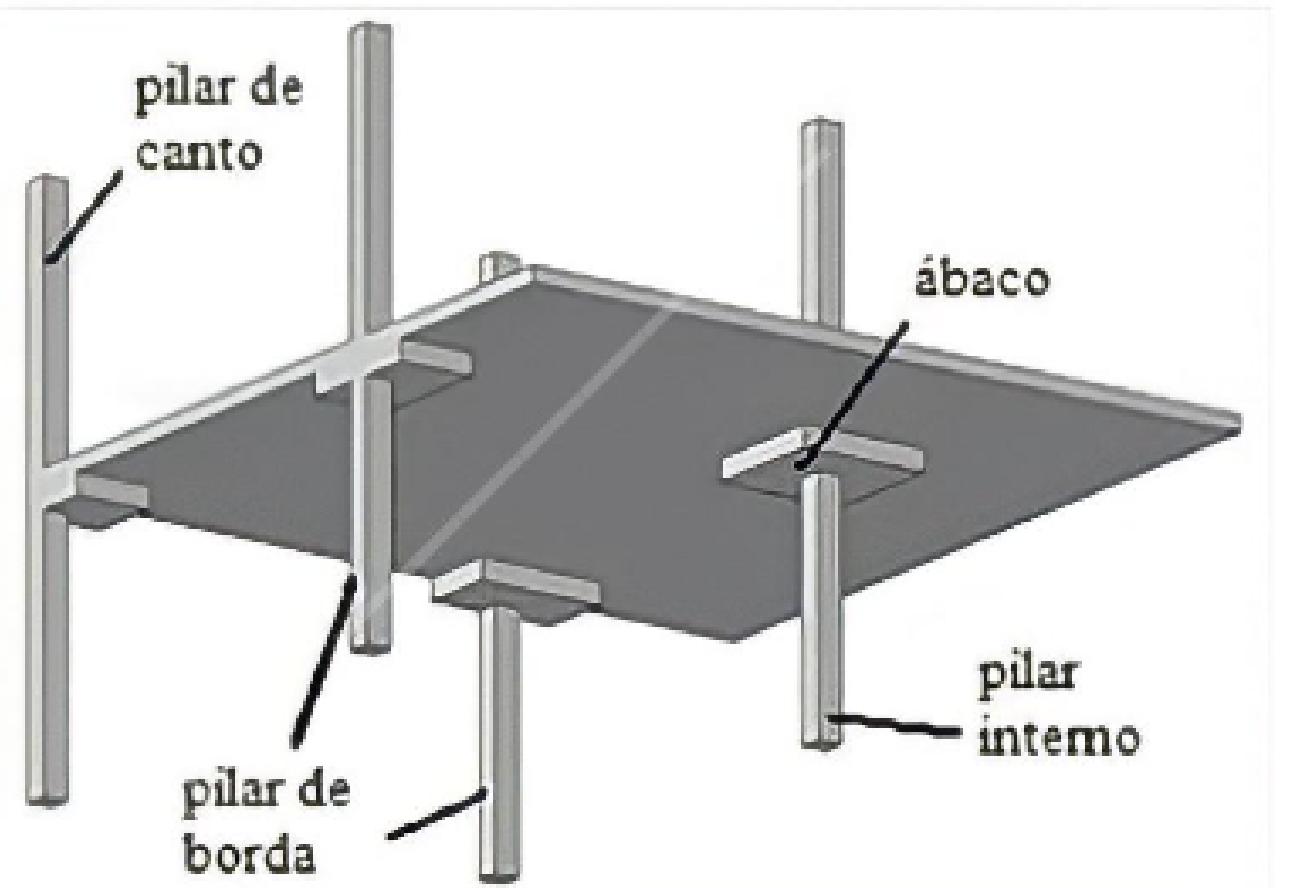
FIGURA 9



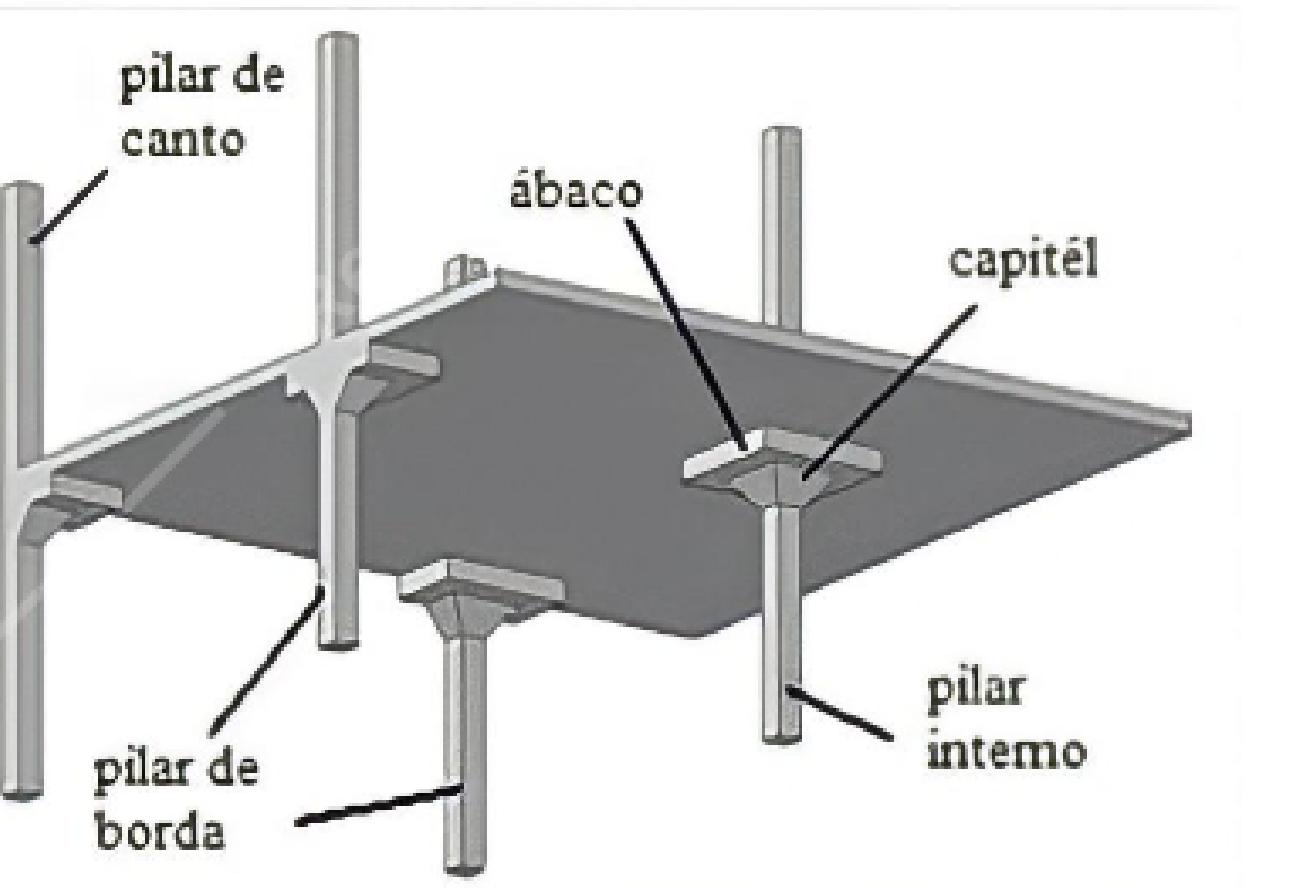
A) Laje lisa



B) Laje cogumelo (capitel)



C) Laje cogumelo (ábaco)



D) Laje cogumelo (ábaco + capitell)

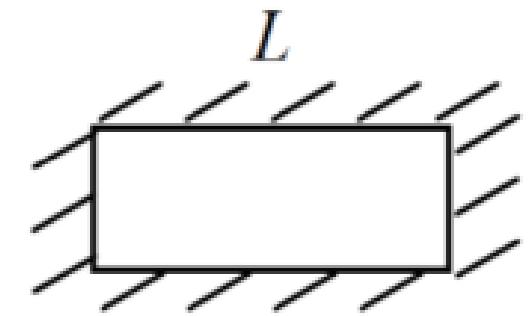
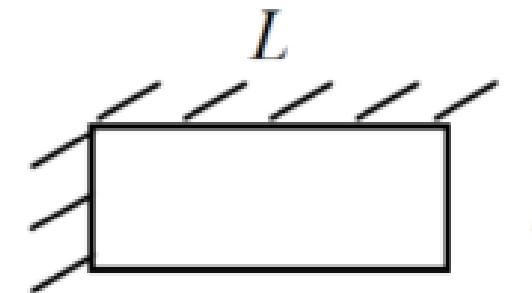
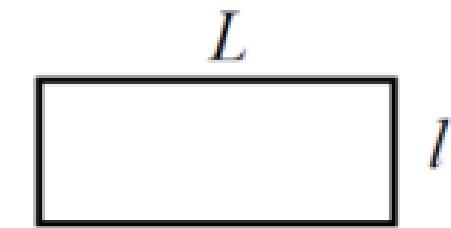
FIGURA 12



FIGURA 10



FIGURA 11



$$h \geq l/35$$

$$h \geq l/42$$

$$h \geq l/50$$



Laje com os quatro bordos simplesmente apoiados;



Laje com dois bordos possuindo continuidade (engastados);



Laje com os quatro bordos contínuos.

Quando houver laje com bordo livre a flecha máxima deverá ser verificada.

A NBR 6118 (antiga) - item 4.2.3.1.C - em estruturas de edifícios - limitava as flechas, considerando cargas de cálculo, como a seguir:

- 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;
- O deslocamento causado pelas cargas acidentais não será superior a 1/500 do vão teórico e 1/250 do comprimento teórico dos balanços.

Recomendações Práticas - Vigas Retangulares

Vigas

Altura da seção (h) - Vigas de vão único:

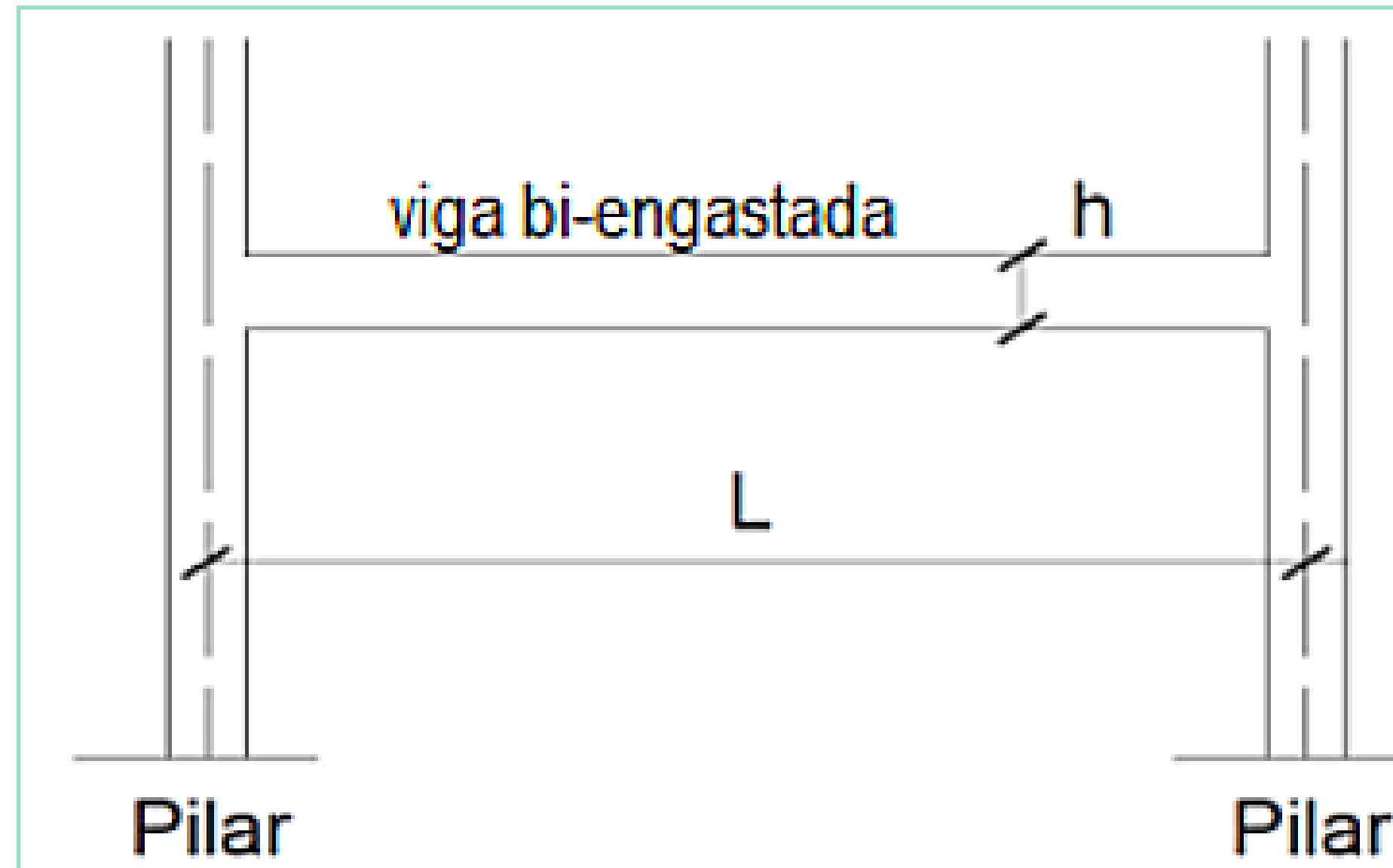


FIGURA 13

* Utilizar valores intermediários múltiplos de 5cm

$L/10 \leq h \leq L/8$

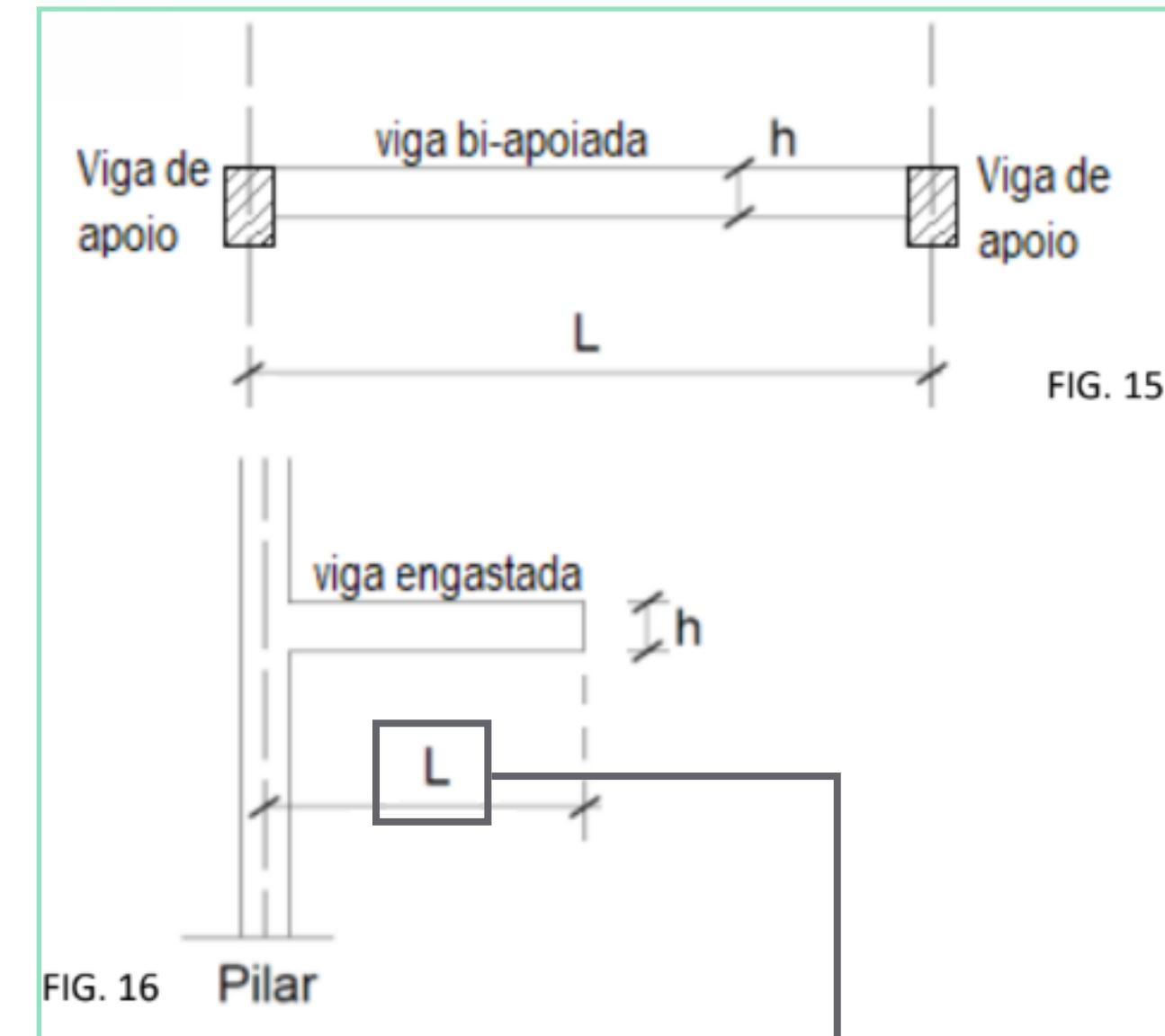
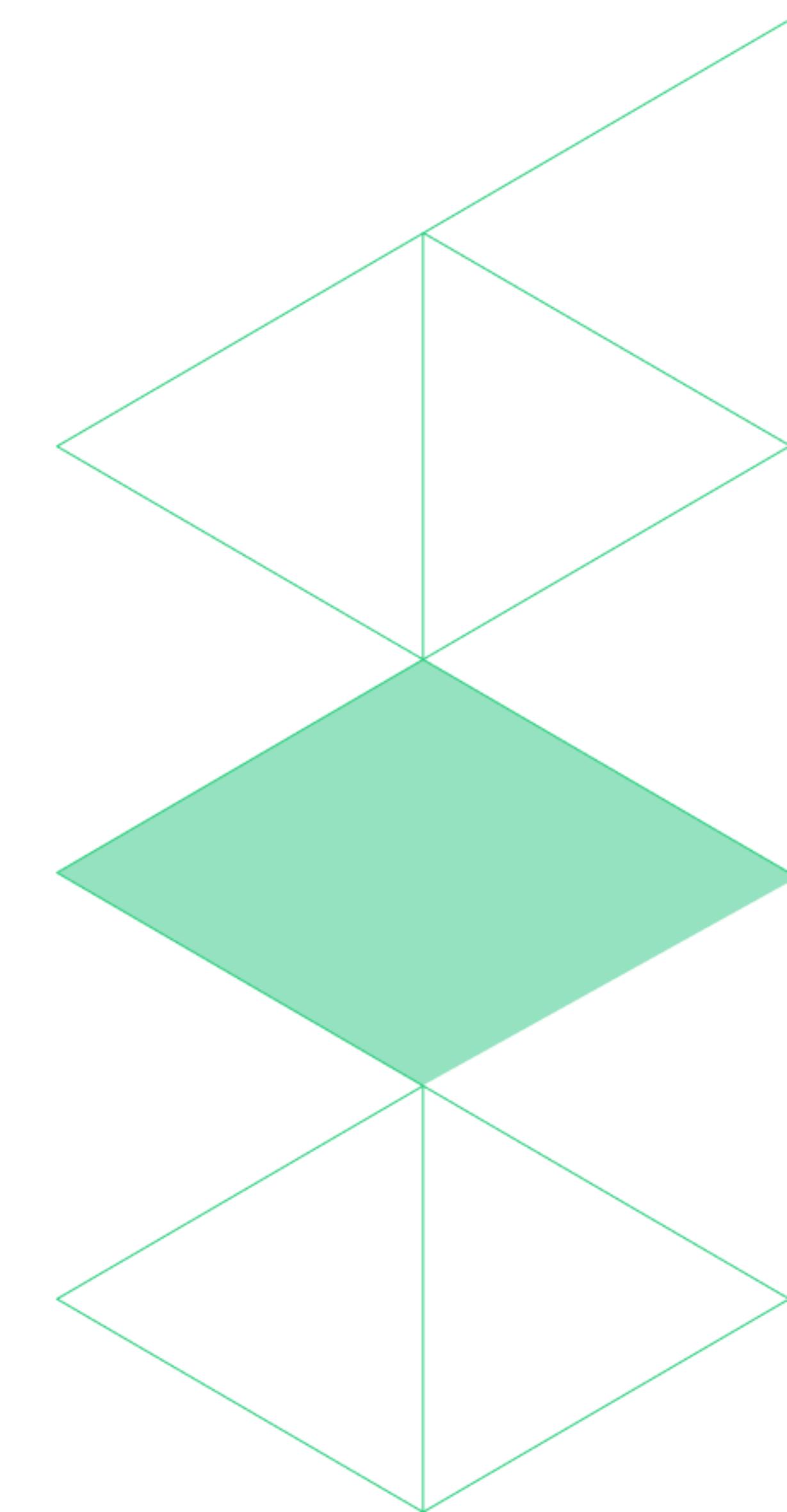


FIGURA 14

Vigas em balanço: $Lx2$



Vigas

Altura da seção (h) - Vigas contínuas:

$$\frac{L_m}{12} \leq h \leq \frac{L_m}{10}$$

Comparar os vãos:

$$\frac{L_n}{L_{\max}} \geq 0,7$$

$$L_m = \frac{L_1 + L_2 + L_3 \dots + L_n}{n_L}$$

Se atender!

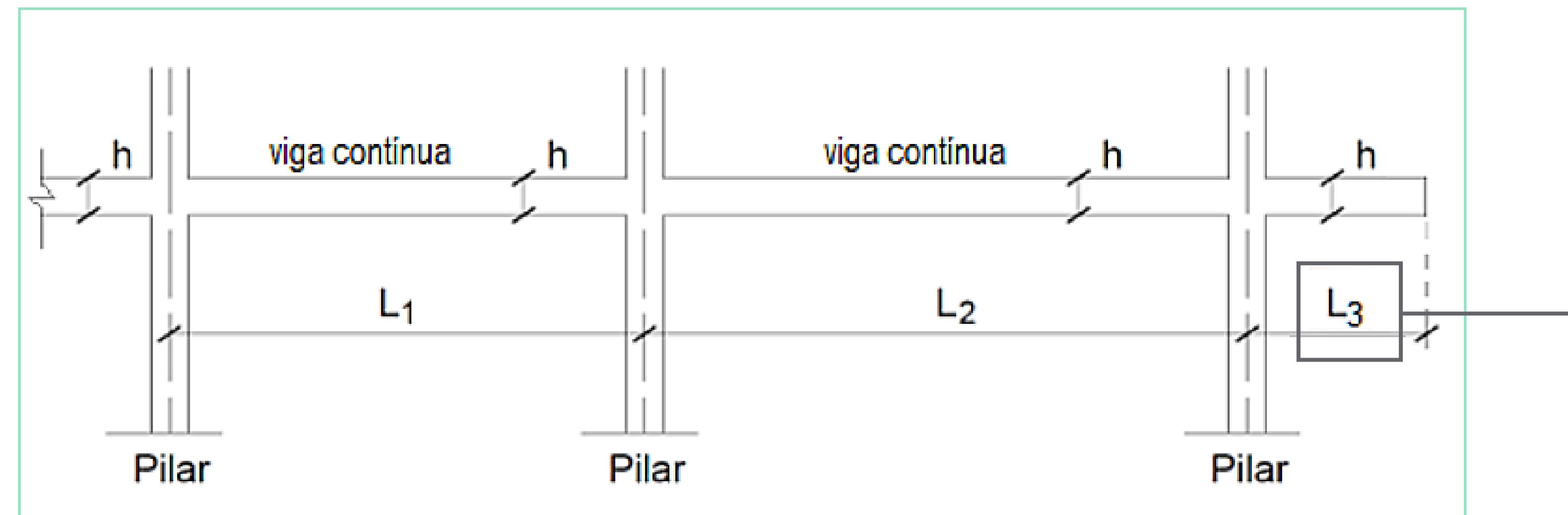


FIGURA 15

* Utilizar valores intermediários múltiplos de 5cm

Vigas em balanço: $L \times 2$

A altura máxima da seção da viga em edifícios está condicionada ao pé-direito.

Para vão em torno de 6 m e pé-direito de 2,80 m (edifícios usuais).

Largura da seção (bw: nervura):

Em geral, definida pelo projeto arquitetônico e pelos materiais e técnicas utilizados pela construtora (espessura alvenaria, blocos, tijolos).

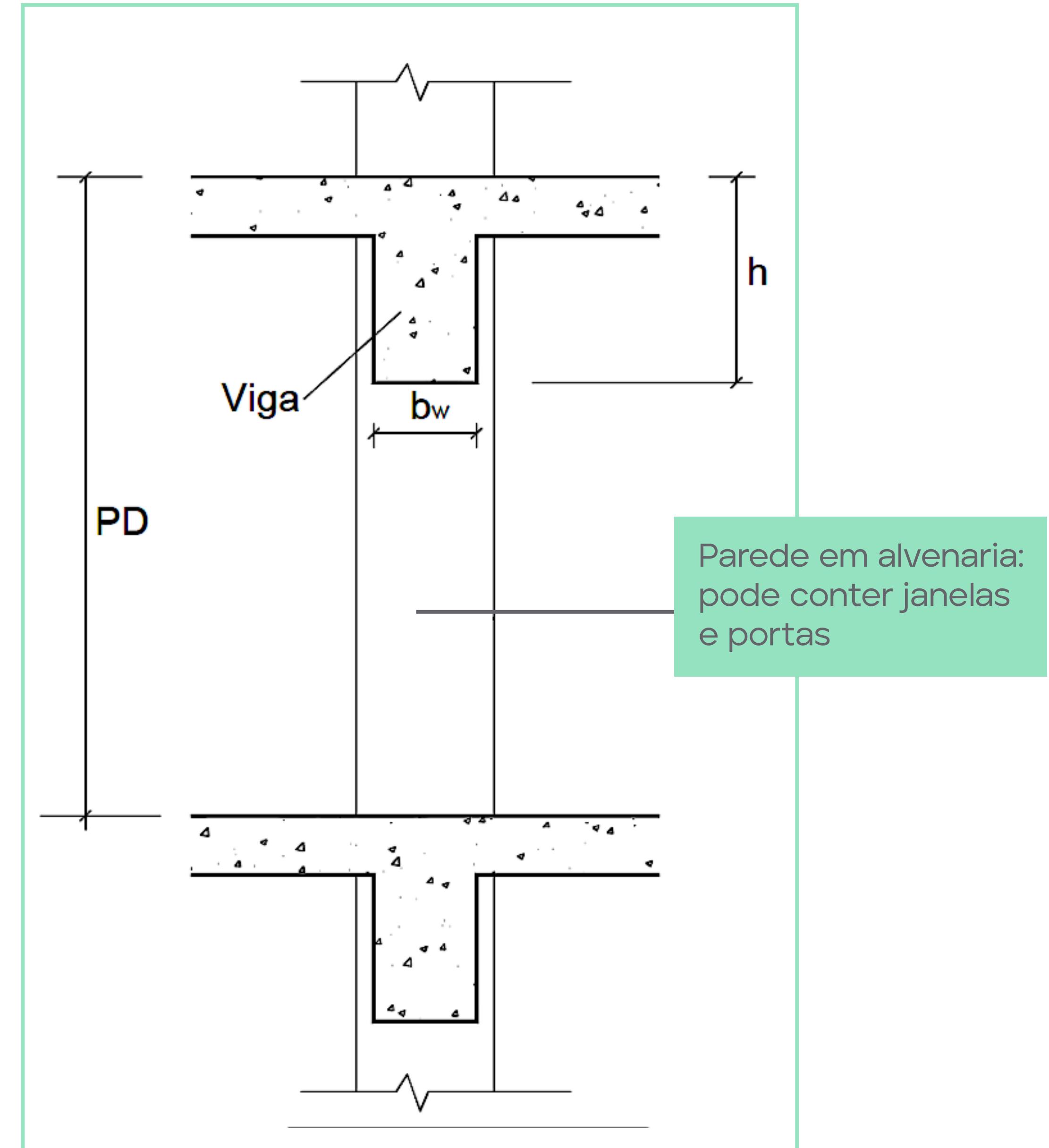


FIGURA 16

Larguras mínimas segundo a NBR 6118/2014 (item 13.2.2):

12 cm para vigas
15 cm para vigas parede ($H \geq L/2$)
10 cm em casos excepcionais
(ver recomendações NBR 6118/2014)

Algumas situações corriqueiras:

Ex: $c = 3,0$ cm
 $\phi_t = 5,0$ mm de diâmetro
 $3\phi 12,5$ mm
 $a_h = 2,5$ cm



Avaliar a mínima largura requerida

Entretanto, deve-se respeitar:

- Cobrimento mínimo (c)
- Espaçamento mínimo entre barras (a_h)

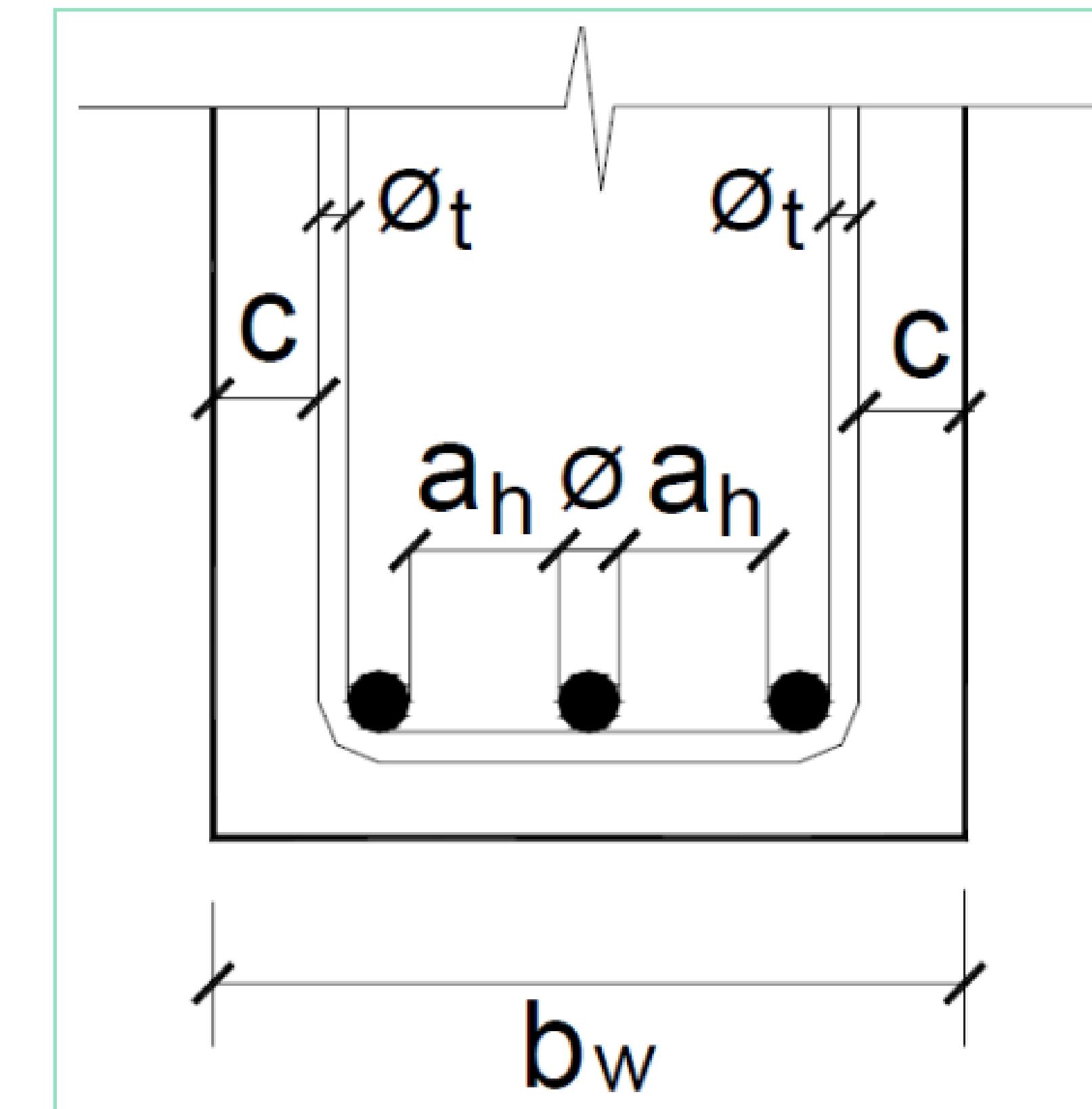


FIGURA 17

Recomendações Práticas - Pilares Retangulares

Pilares

Dimensão mínima e área mínima
(item 13.2.3 da NBR 6118/2014):

Dimensão mínima = 19 cm
Entre 19 cm e 14 cm → majoração por Y_n

Área mínima da seção bruta = 360 cm²

$$Y_n = 1,95 - 0,05 \cdot b$$

Menor dimensão → Muitas vezes decidida em função da arquitetura
Maior dimensão → Em função das cargas verticais (estimadas)

Processo das áreas
de influência

b = menor dimensão em cm
Observações: **dimensões maiores** que as mínimas podem ser requeridas

Facilidade de execução: concretagem, colocação de armaduras,
interseções viga-pilar

Processo das áreas de influência

Processo geométrico para estimar as cargas verticais (força normal) nos pilares.

A cada pilar está associada uma área de influência (A_i) → "Quinhão de carga"

Definição das áreas de influência (A_i):

Traçar mediatrizes dos segmentos que unem os pilares

É necessário conhecer (ter ideia) a carga vertical por unidade de área

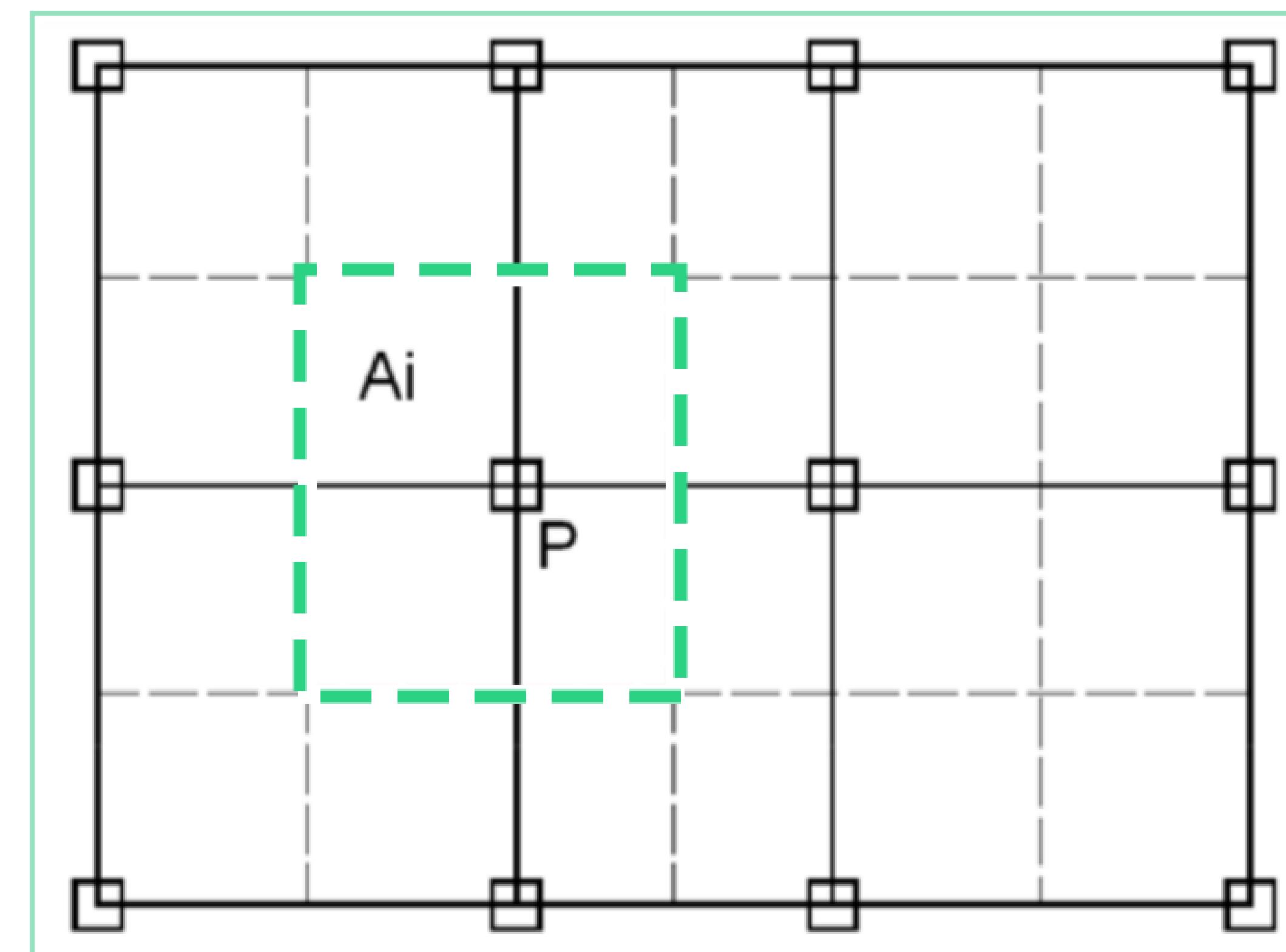


FIGURA 18

Carga vertical em edifícios residenciais usuais

$$10 \leq g + q \leq 12 \text{ kN/m}^2$$

(por pavimento)

Valor orientativo ("termômetro")



Outras situações:

Escritórios → de 12 a 13 kN/m²

Comércio e depósitos → 12 a 14 kN/m²

Garagens: 12 a 16 kN/m²

Força normal (estimada) no pilar

$$N_k = (g + q) \cdot A_i \cdot n$$

Pré-dimensionamento da seção do pilar

Flexão composta (N, M_x, M_y)
(situação real)



Compressão concentrada (N)
(situação equivalente)

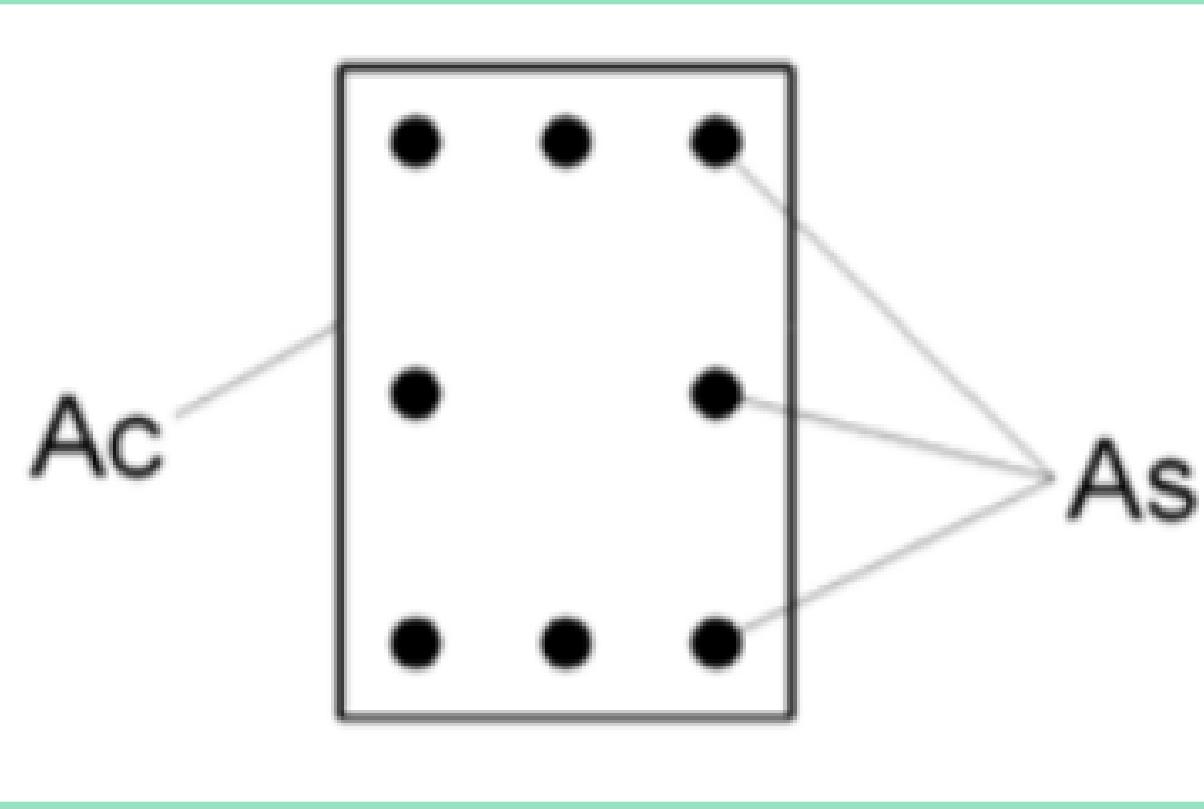


$$N_d = \gamma \cdot N_k$$

$\gamma = 1,8$ para pilares internos

$\gamma = 2,2$ para pilares de extremidade

$\gamma = 2,5$ para pilares de canto



A_c = área da seção bruta de concreto
 A_s = área total de armadura na seção

$$p = \frac{A_s}{A_c}$$

(taxa de armadura)
 p = adotar (sugestão: 0,015 a 0,02) → 2%

Na compressão centrada:

Domínio 5 (Reta b) $\rightarrow \varepsilon_{cc} = \varepsilon_s = 0,002$

$\sigma_s 0,002$ = tensão no aço para a deformação 0,002
 Para aço CA-50 $\rightarrow \sigma_s 0,002 = 21000 \cdot 0,002 = 42 \text{ kN/cm}^2$

$$A_c = \frac{N_d}{0,85 \cdot f_{cd} + p \cdot \sigma_s 0,002}$$

em cm^2

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$

em kN/cm^2

$$N_d = \gamma \cdot N_k$$

em kN

Desta forma: $A_s = p \cdot A_c$

Observações Gerais

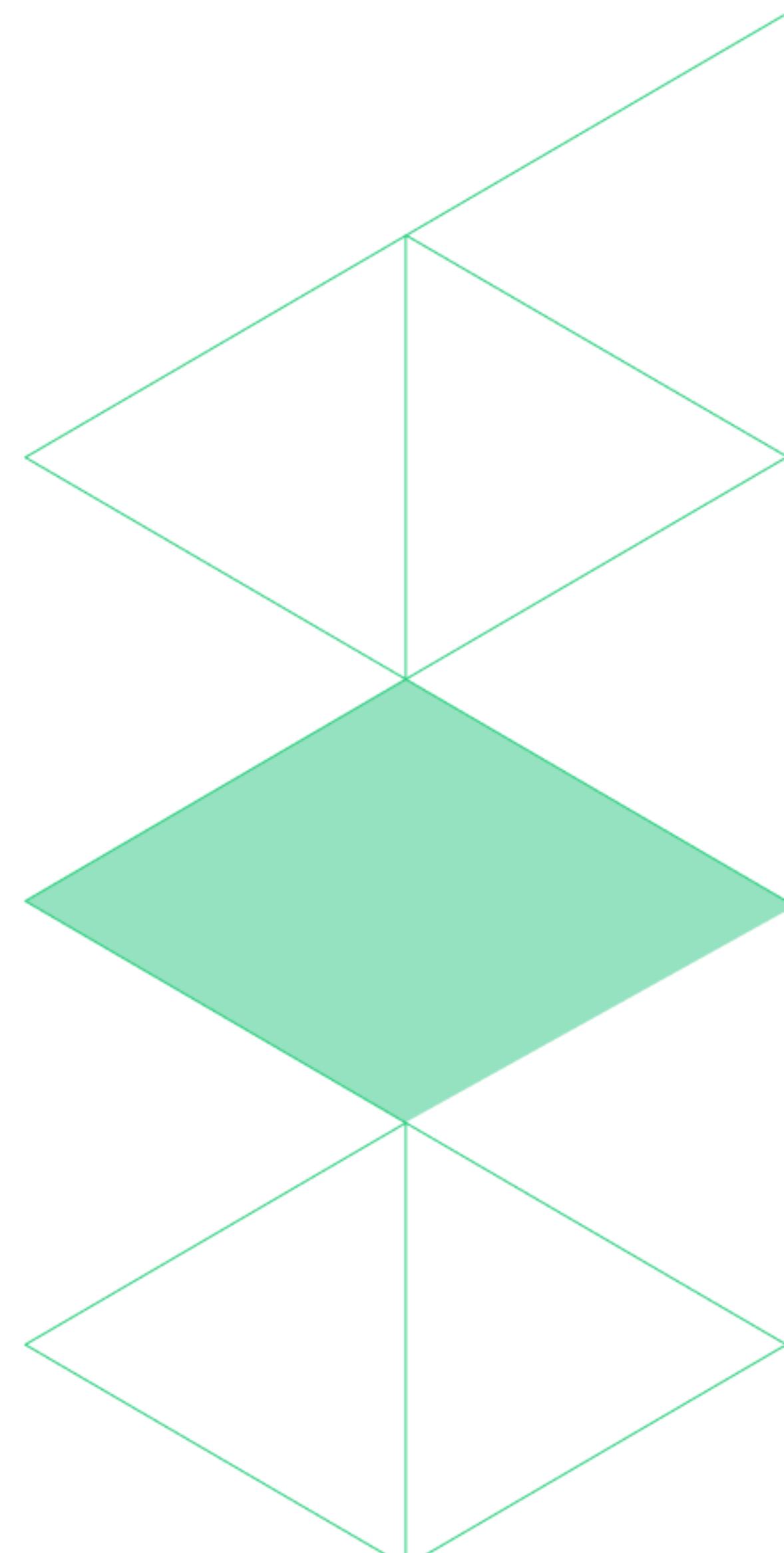
Observações sobre o pré-dimensionamento

- 1) Pode-se dizer que um bom pré-dimensionamento é o que resulta em **dimensões de seções e em taxas de armadura finais (após dimensionamento) próximas às adotadas inicialmente no pré-dimensionamento.**
- 2) Durabilidade e classe de resistência do concreto:

Espessura das lajes }
Largura das vigas } **Condicionado à durabilidade
(cobrimentos mínimos)**

Área dos pilares → **Condicionado ao fck especificado
(conhecer CAA para especificar pelo menos o mínimo)**

A **qualidade de uma estrutura** também está associada à sua **durabilidade**.

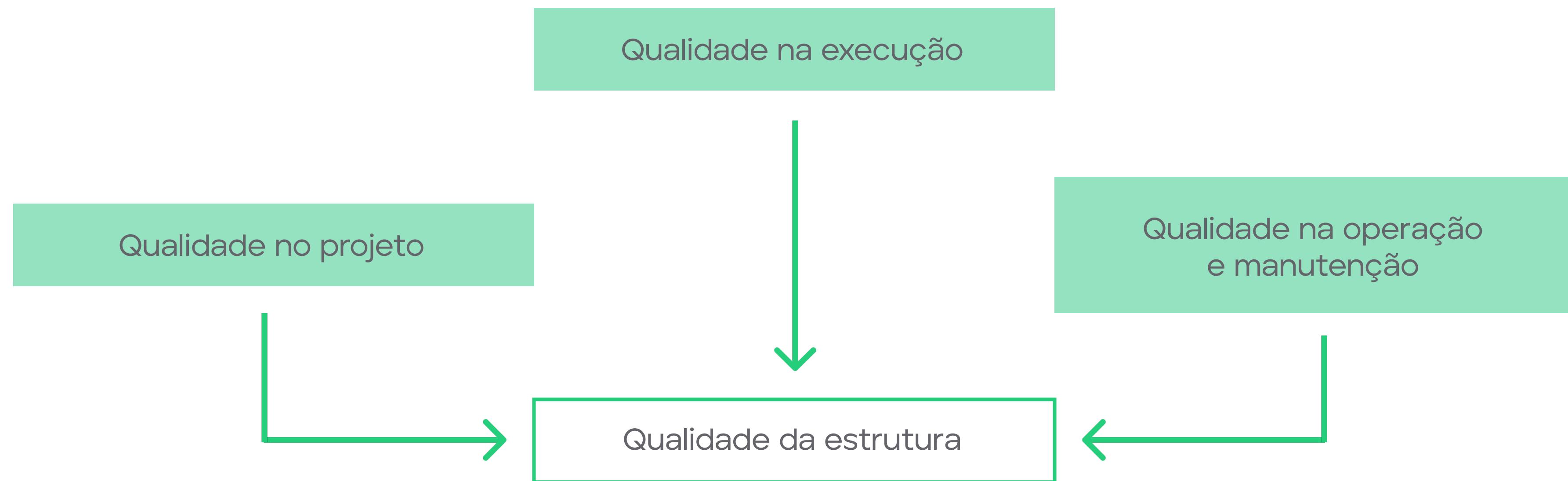


Requisitos gerais de qualidade das estruturas de concreto

(item 5 da NBR 6118)

Requisitos de qualidade da estrutura:

- Possuir capacidade resistente (E.L.U.)
- Bom desempenho de serviço (E.L.S.)
- **Durabilidade**



Requisitos de qualidade do projeto estrutural:

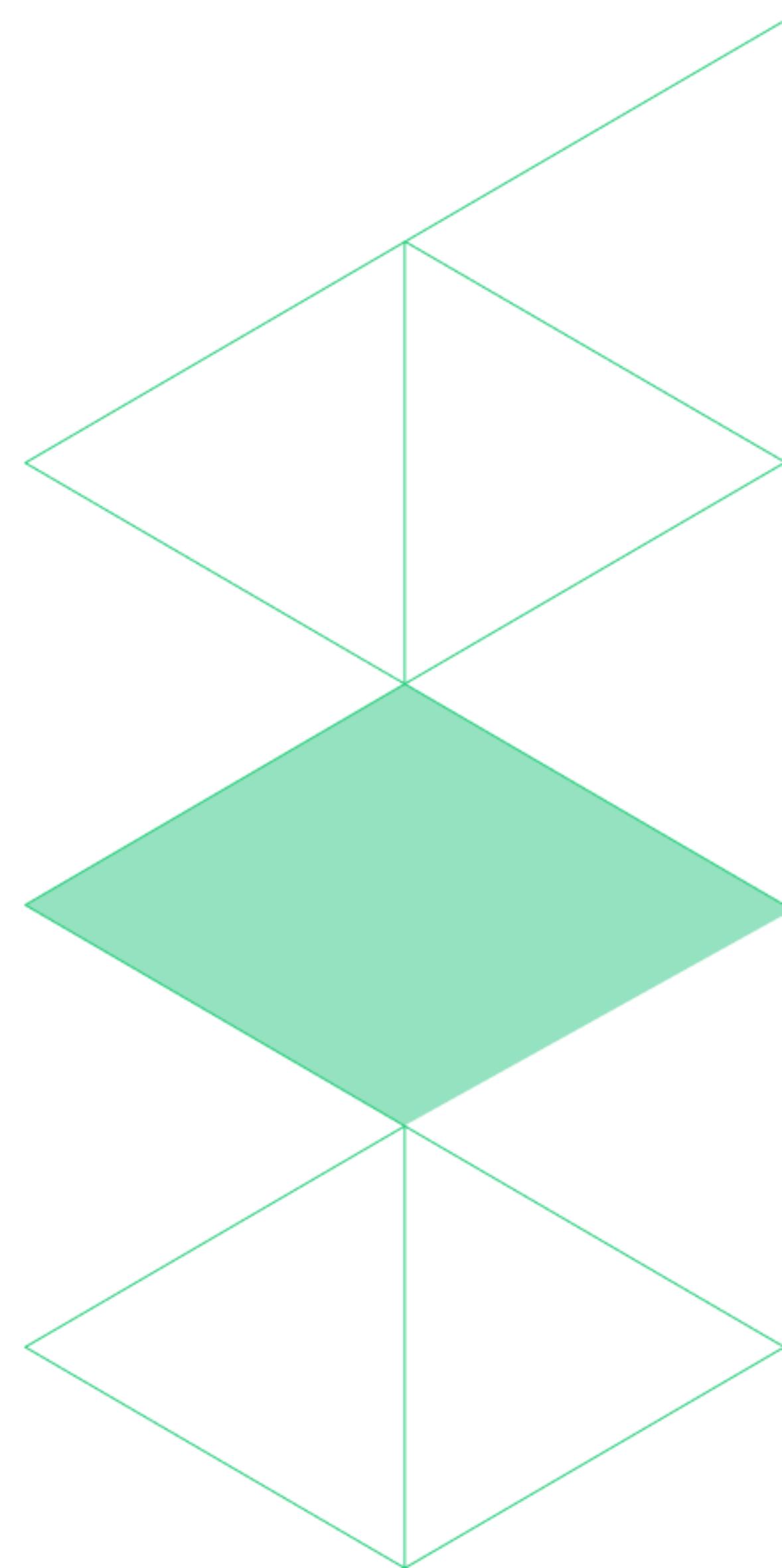
→ Qualidade da solução adotada

- Atendimento dos requisitos impostos pela arquitetura;
- Compatibilização com os demais projetos (hidráulicos, elétrico, etc.);
- Segurança, economia, durabilidade, sustentabilidade;
- Requisitos funcionais (função e bom desempenho em serviço).

→ Atendimento às normas técnicas

Exemplos

- } NBR 8681/2003: Ações e segurança nas estruturas
NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto
NBR 6123/1988: Forças devidas ao vento em edificações
NBR 15575/2021: Norma de desempenho para edificações



Documentação da solução adotada

- Desenhos: bom detalhamento
 - Especificações (no próprio desenho inclusive)
- { Auxilia execução e construtor

Memorial de cálculo



Revisões no projeto
Consulta para eventuais reformas ou reparos
Sinistros na construção (danos e prejuízos em obras)

Aplicações

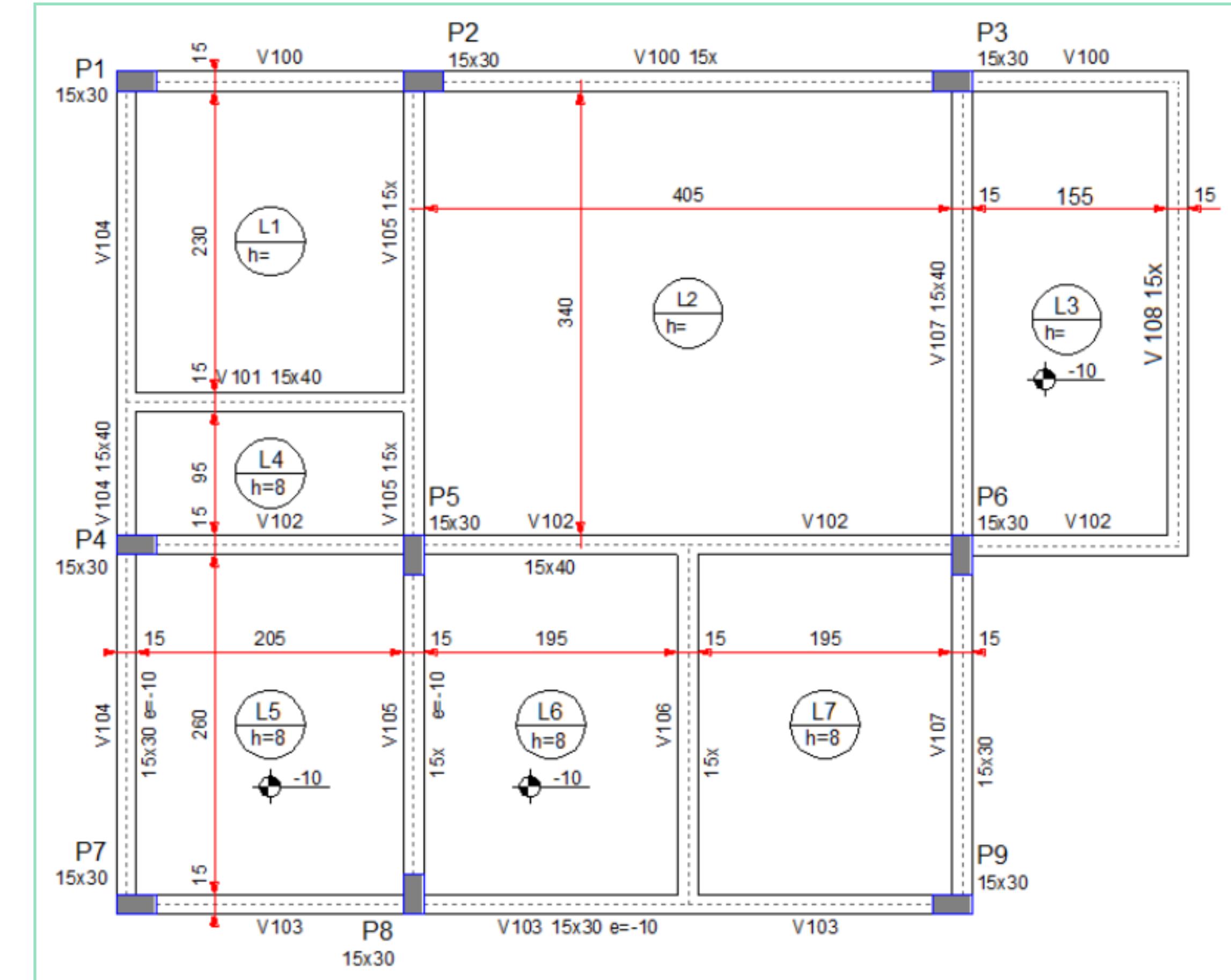
Exercício 1:

Pré-dimensione os seguintes elementos estruturais da planta de formas ao lado:

Dados:

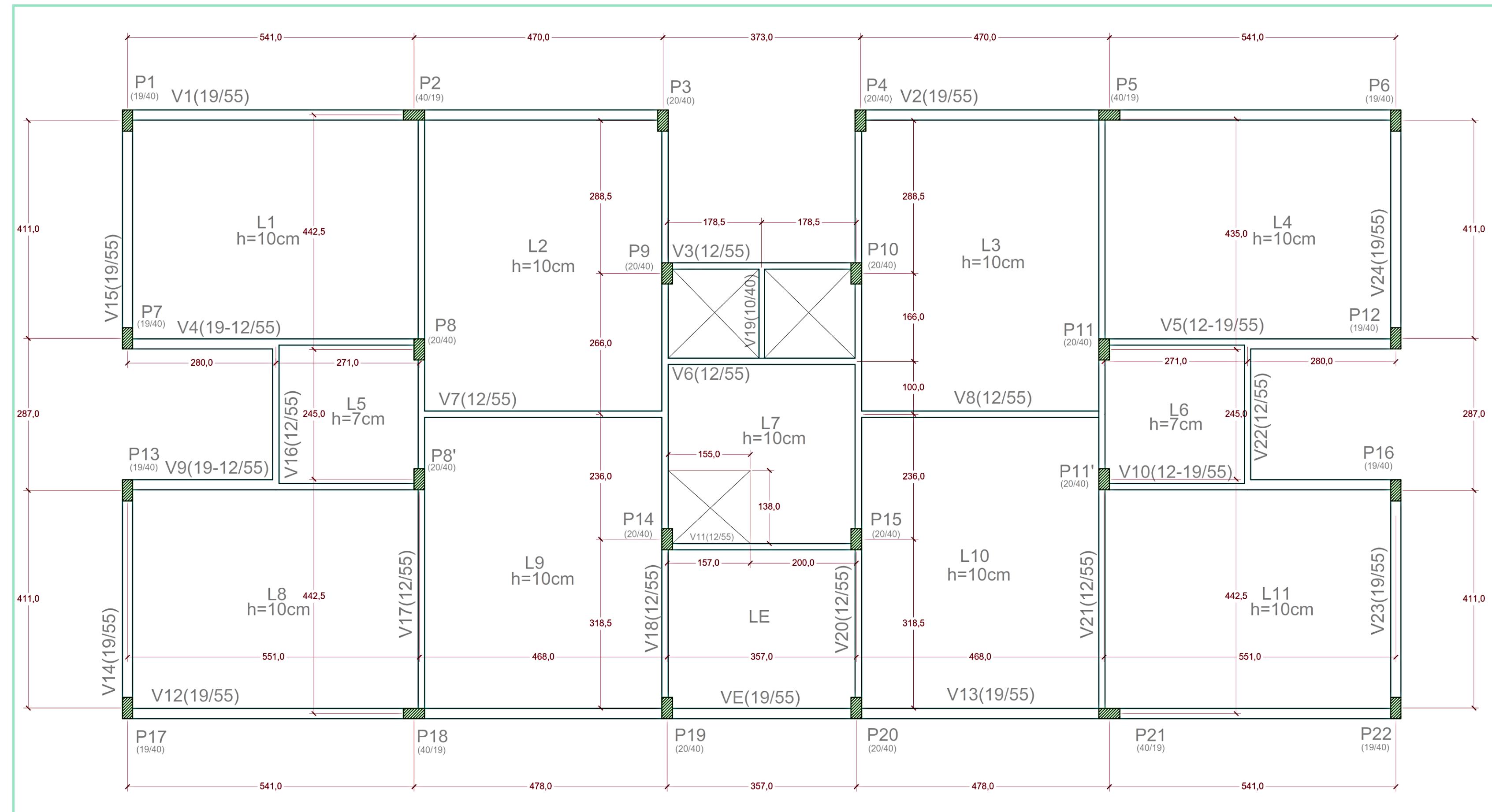
- Edifício de uso residencial com 6 pavimentos tipo + pavimento térreo;;
- f_{ck} concreto de 25 MPa
- Aço CA-50;
- LAJES: L1, L2 e L3;
- VIGAS: V100, V105 e V106;
- PILARES: P1, P5 e P8

[Assista à videoaula aqui](#)



Exercício 2:

Determine as áreas de influência para os pilares do lançamento estrutural ao lado.

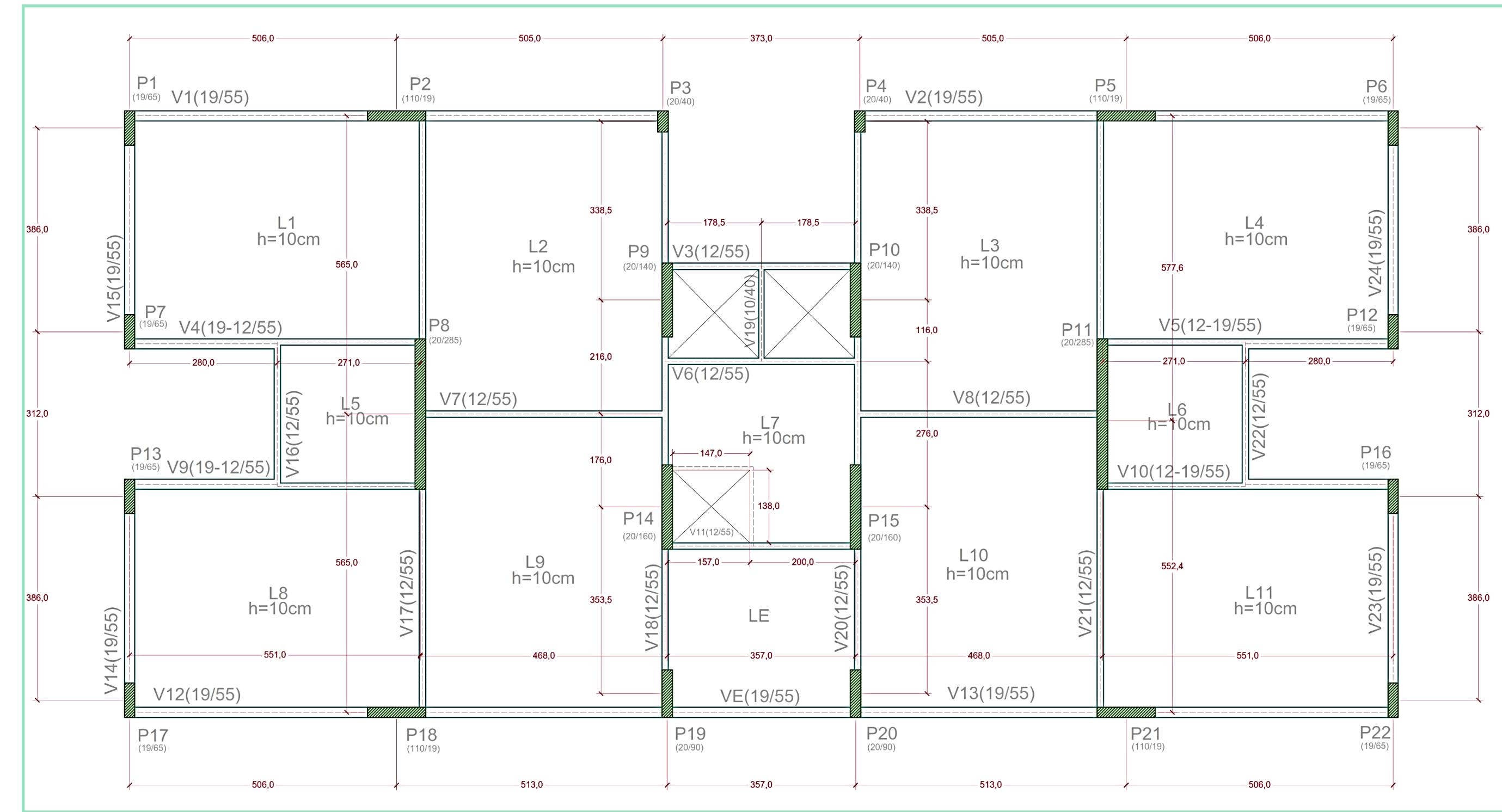


Exercício 3:

Utilizando a pré-forma determinada no exercício 2 verifique a estabilidade global da edificação utilizando o AltoQi Eberick.

Dados:

- Edifício de uso residencial com 15 pavimentos tipo + pavimento térreo + 2 pavimentos garagem;
 - f_{ck} do concreto de 25 MPa;
 - Aço CA-50;



Referências Bibliográficas

Livros, normas e links:

ARAÚJO, José Milton de. **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado: Um exemplo completo.** 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. 318 p.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A Concepção Estrutural e a Arquitetura.** São Paulo: Zigurate, 2007. 95 p
PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Stéfane Gualberto.

Projeto Estrutural de um Edifício em Concreto Armado: Uma abordagem analítica e numérica. Belo Horizonte: Puc Minas, 2014. 112 p.

Notas de aula:

Gerson Moacyr Sisniegas Alva (UFSM-RS)

Apostila:

Icléa Reys de Ortiz (PUC-RJ)

Libânio Miranda Pinheiro (EESC-SP)

Clever Roberto Nascimento (UEMG - MG)