

Aula 3 – Concepção estrutural

PROF^a M. SC. ENG^a CIVIL PATRÍCIA DOS SANTOS ANDRADE

O que é concepção estrutural?

Conjunto de regras e medidas que permitem dimensionamento da estrutura portante “o esqueleto” de edificações e obras de arte especiais, por meio do posicionamento de pilares, lajes, vigas... Etc.



Dados iniciais

Dimensões dos vãos de ambientes e espaços definidos no projeto arquitetônico

Definir o modelo estrutural que atende a obra

Escolher um modelo estrutural que utiliza materiais disponíveis na região

Escolher um sistema de menor custo ou que melhor se adeque à requisitos de projeto ou do cliente

Elementos estruturais

São peças, geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais que compõem a estrutura

Lajes

Vigas

Pilares

Fundações

Cargas em edificações

Determinadas a partir da NBR 6120/2019 e das combinações de ações segundo os Métodos de cálculo no ELU e ELS

O vento nas estruturas de concreto armado

Os ventos são absorvidos pelas paredes externas que levam esforços para estruturas de contraventamento rígido

Pórticos (pilares+vigas)

Paredes estruturais

Núcleos estruturais (poço de elevador, escada)

Pilares de menor rigidez não contribuem para a resistência a esforços laterais

Sistemas estruturais

Podem ser:

Pré-moldados;

Moldados in loco;

Montados;

Ou mistos



Lajes

Elementos planos que possuem uma dimensão (espessura) muito menor que as demais

As lajes podem ser:


Maciças: Armadas em uma direção ou em duas direções

Nervuradas Cogumelo;

Pré-moldadas

protendidas

A escolha do sistema estrutural está ligado à fatores operacionais, econômicos, intempéries ... etc



Lajes, principalmente as maciças e cogumelo, são importantes elementos de contraventamento

Lajes maciças

São lajes com espessura constante, moldada *in loco* a partir do lançamento do concreto fresco sobre um sistema de formas planas.

Pontos positivos:

Gera uma estrutura de pouca espessura resistente aos esforços impostos;

Facilidade de execução;

Acabamento liso no teto.

Pontos negativos:

Custo alto com grande consumo de concreto e aço;

Baixo potencial sustentável com alto consumo de madeira;

Pelo maior peso de concreto, a laje exige mais dos elementos de apoio.



Laje Nervurada

As lajes nervuradas também são moldadas **no local** da obra

A estrutura é constituída de nervuras interligadas por uma capa ou mesa de compressão

Essa laje elimina o concreto desnecessário da região de tração

Com altura maior que a laje maciça, o uso de ferragem é minimizado, criando uma estrutura mais leve, que proporciona custos reduzidos na estrutura e fundações, permitindo vencer grandes vãos com menor consumo de materiais

A concretagem é realizada sobre fôrmas que moldam as nervuras

Na parte inferior, pode ter um forro para ter um acabamento liso, ou manter as nervuras aparentes, como tem se tornado tendência na arquitetura e decoração contemporânea.

Laje Nervurada

Pontos positivos:

Grande economia de concreto e aço;

Minimização dos gastos com madeira;

Menor peso da construção;

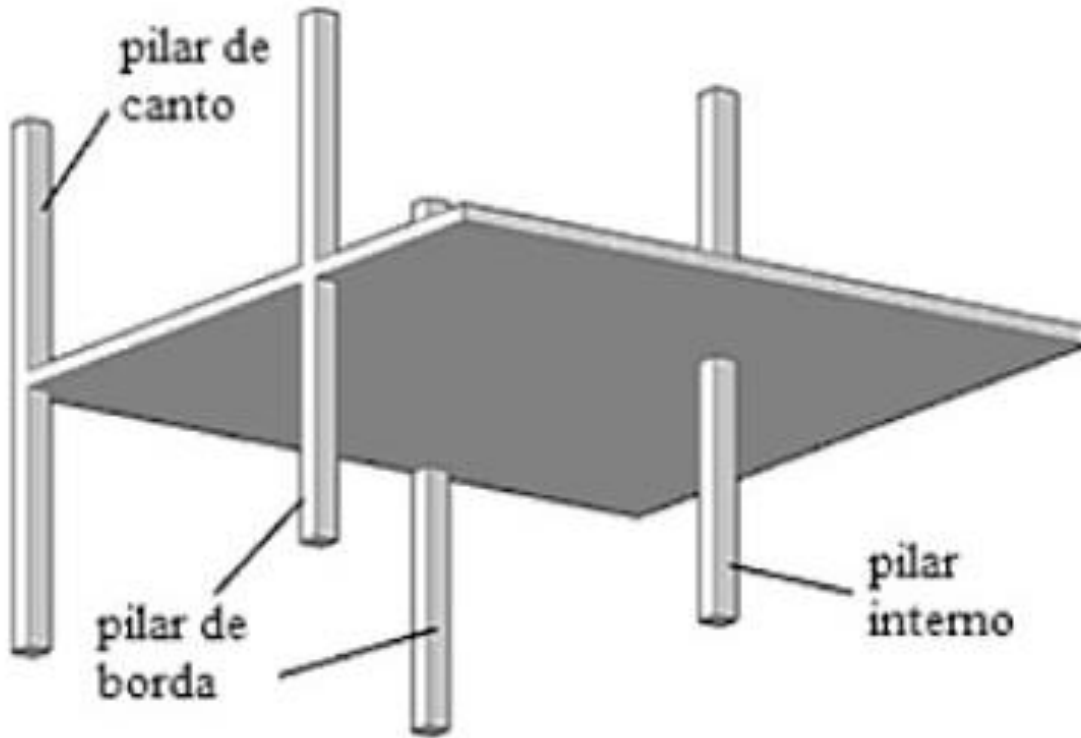
Não precisa de mão-de-obra especializada;

Pontos negativos:

Maior espessura

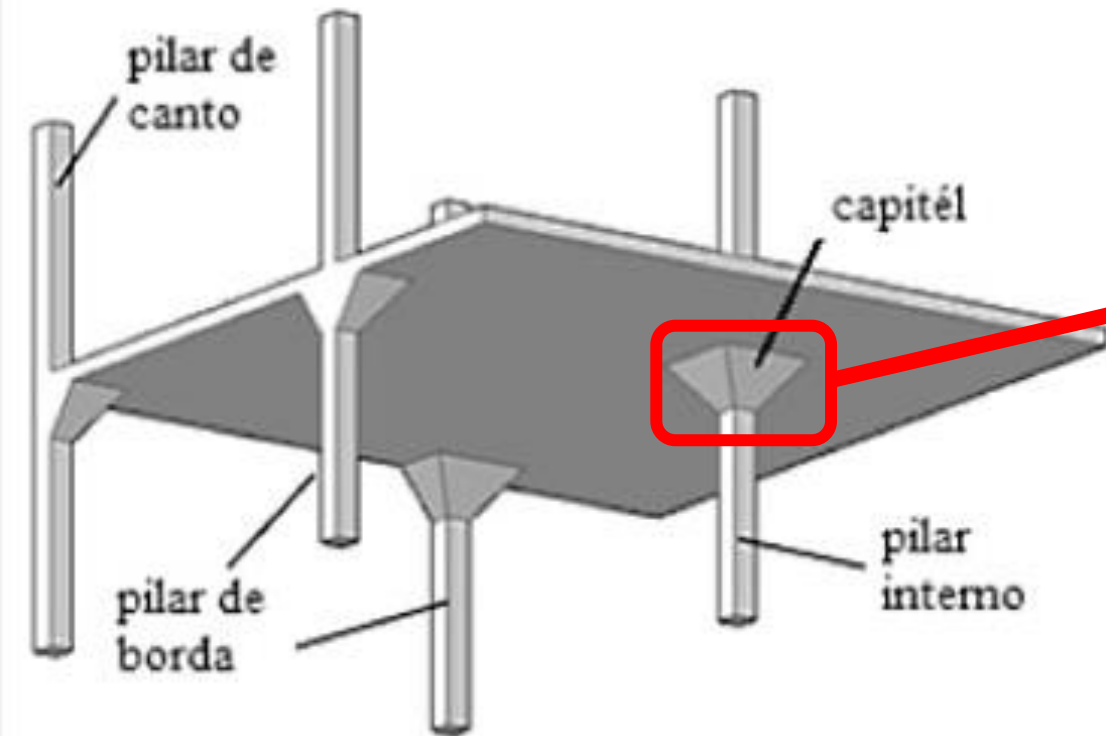
Sistemas de lajes sem vigas

LAJES LISAS



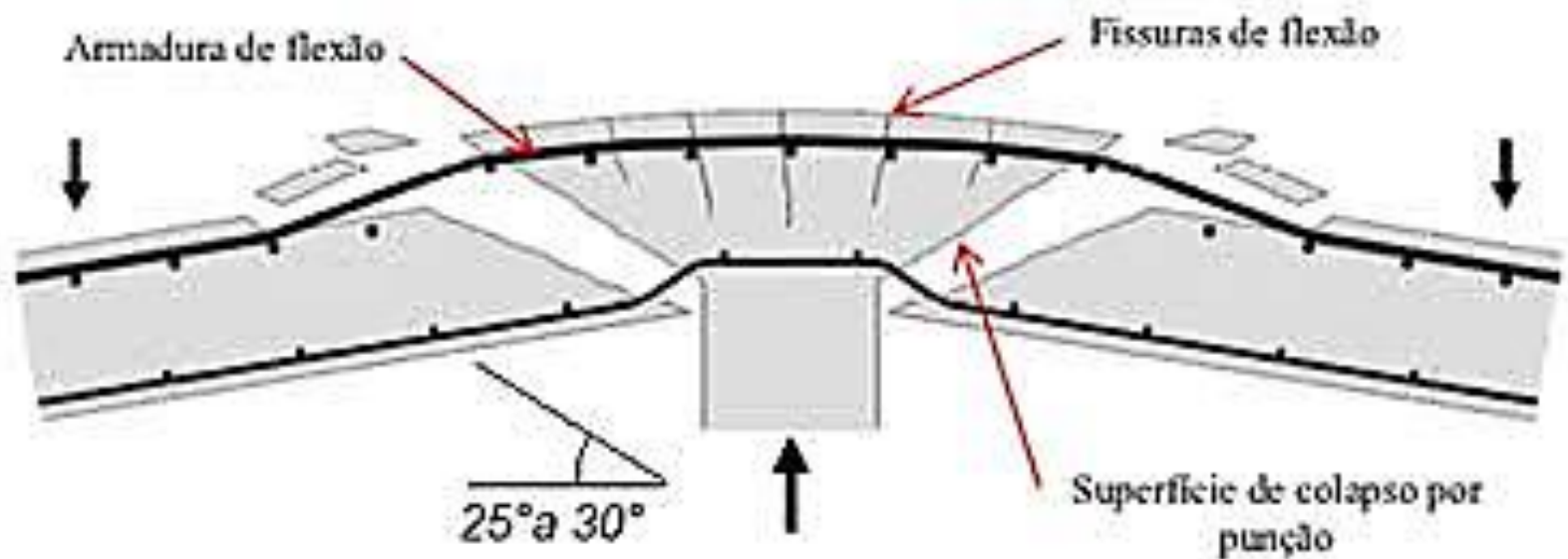
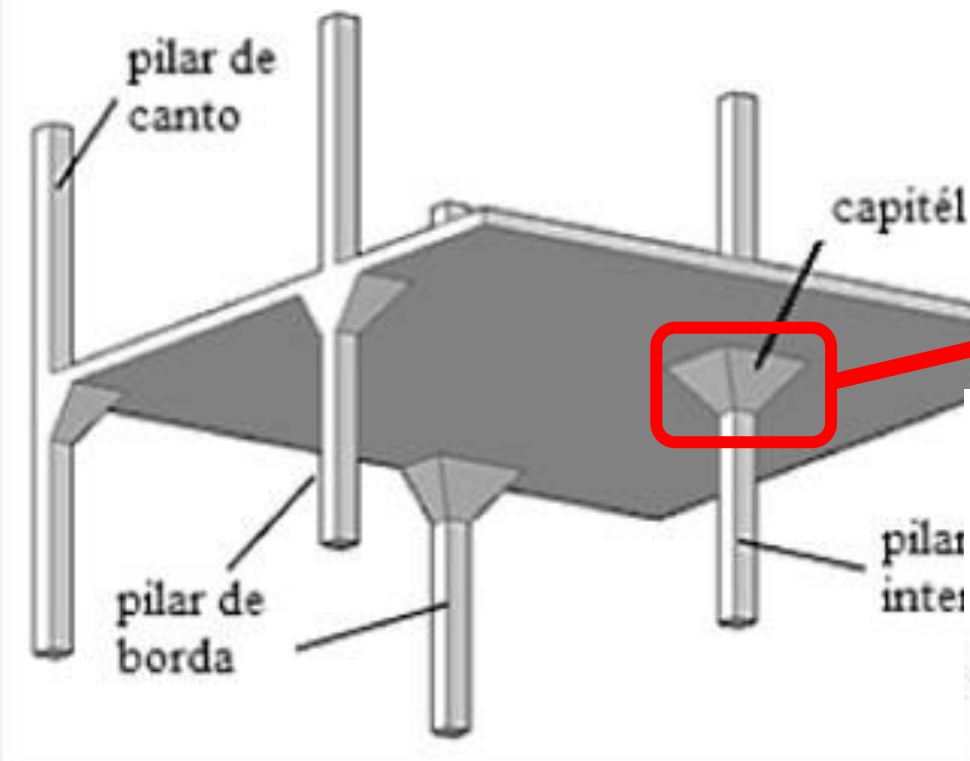
Sistemas de lajes sem vigas

LAJES COGUMELO COM CAPITEL



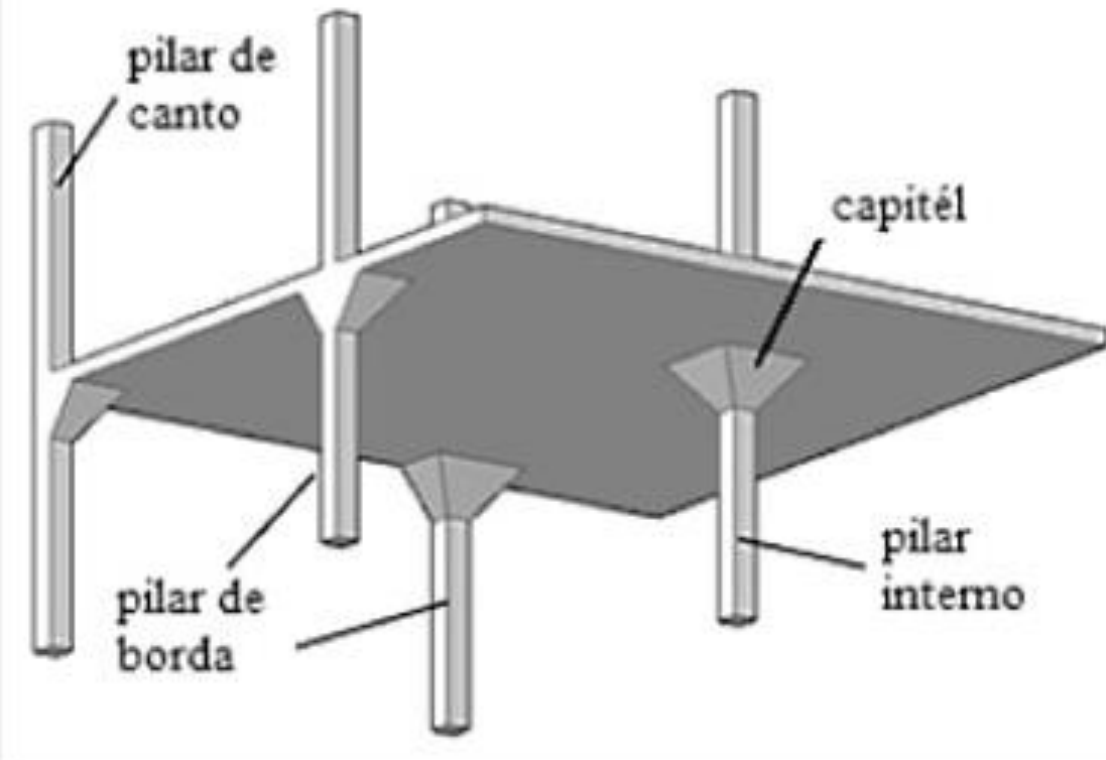
Sistemas de lajes sem vigas

LAJES COGUMELO COM CAPITEL



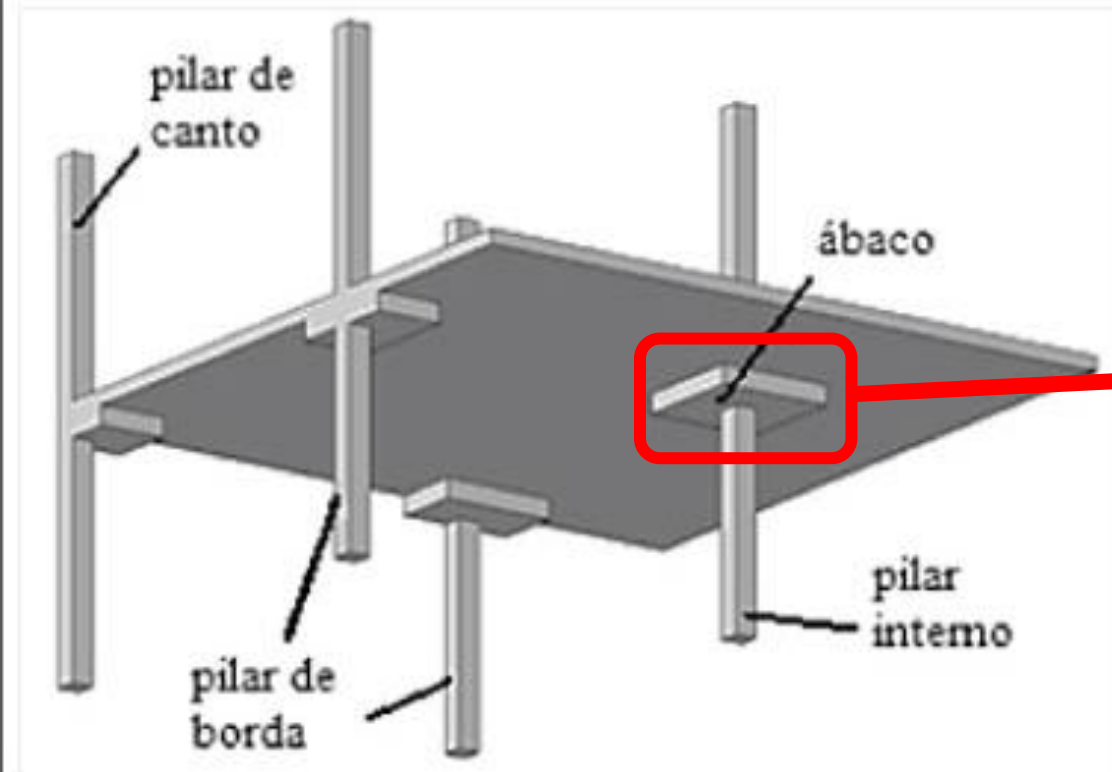
Sistemas de lajes sem vigas

LAJES COGUMELO COM CAPITEL



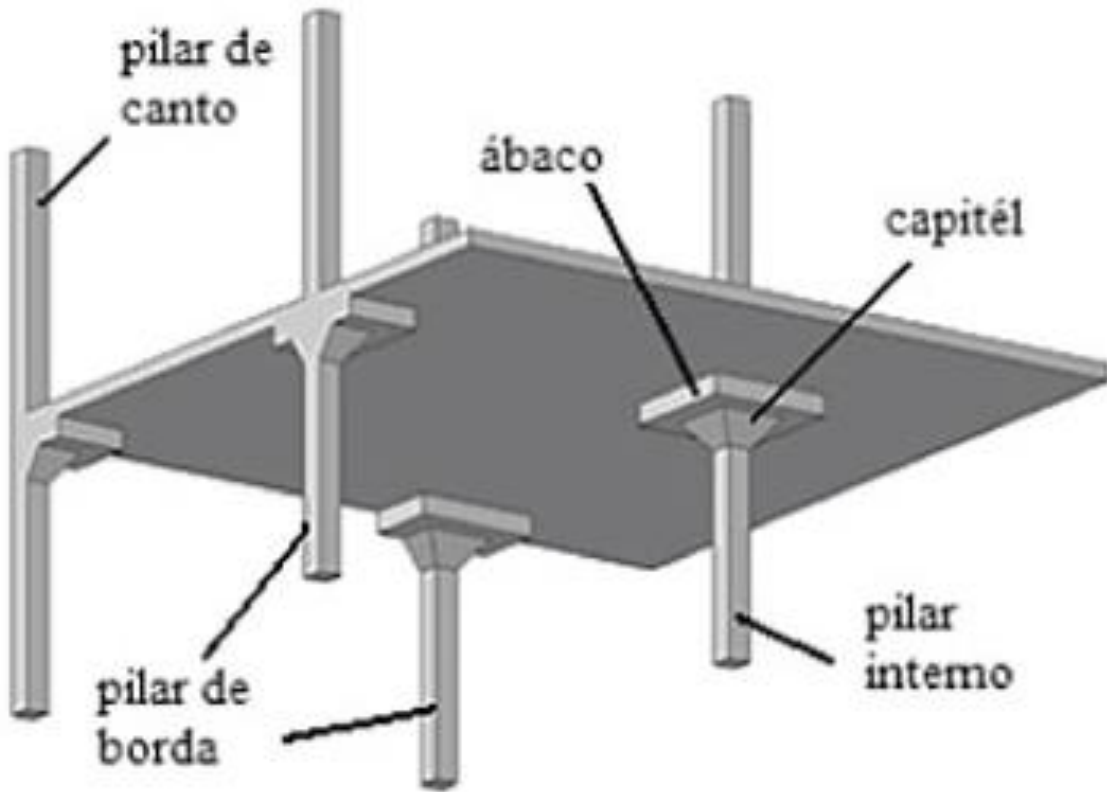
Sistemas de lajes sem vigas

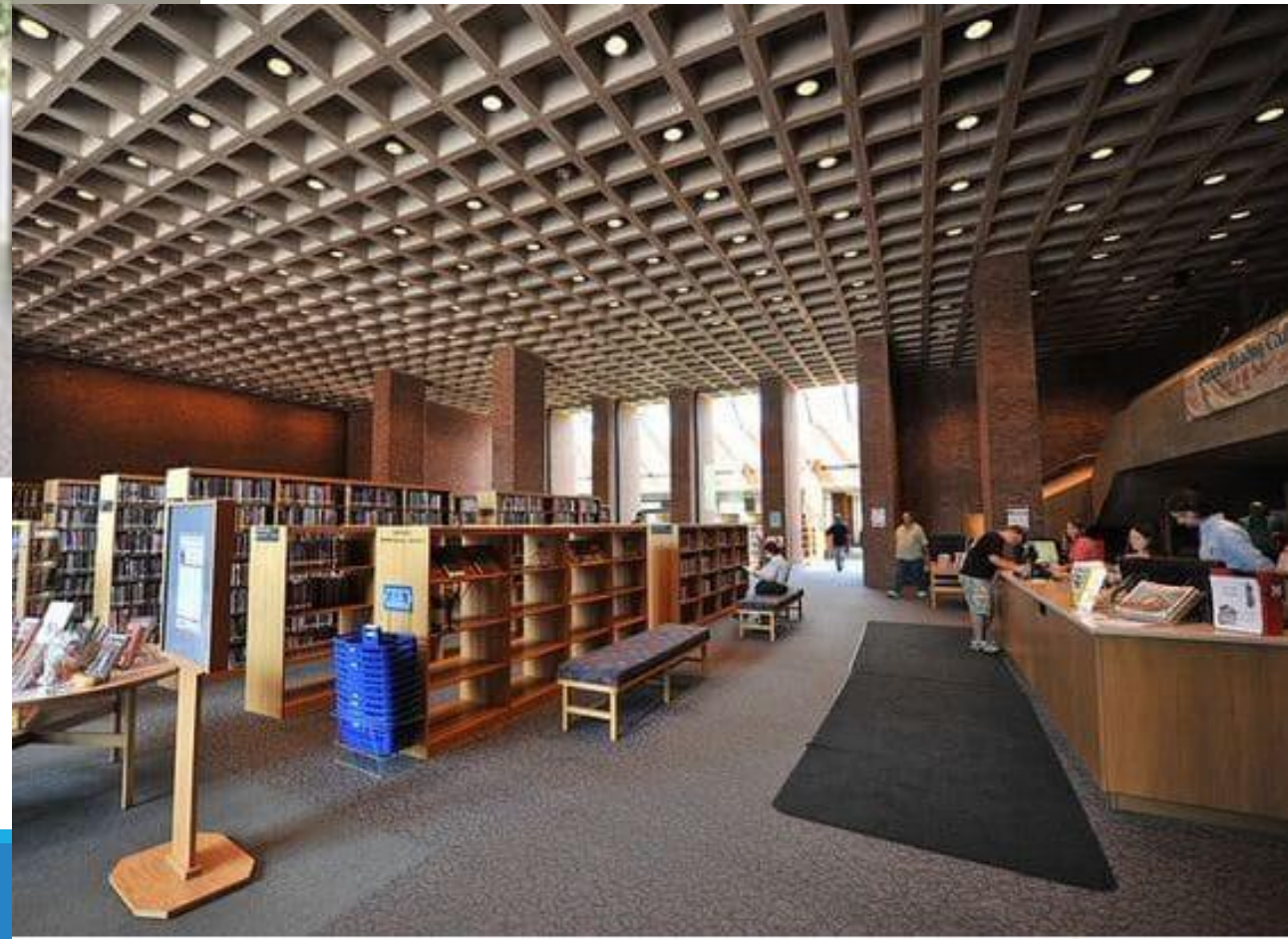
LAJES COGUMELO COM ÁBACO



Sistemas de lajes sem vigas

LAJES LISA OU COGUMELO COM CAPITEL E ÁBACO





FONTE: <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/laje-nervurada/>



Lajes pré-moldadas

lajes com estruturas prontas na estrutura da obra

Este modelo de produção pode utilizar diferentes materiais para formar as placas de concreto.

Geralmente, o método tem baixo custo, diminui o uso de madeira e é de fácil montagem. Contudo, podem ser mais propensos a trincas.

Lajes pré-fabricadas com poliestireno expandido(EPS)

As lajes pré-fabricadas com poliestireno (EPS) expandido são formadas por vigotas de concreto que têm o espaço entre elas ocupados com blocos de EPS

A leveza do EPS – isopor – garante facilidade no manuseio e na instalação da laje

Durante a concretagem, é essencial que o EPS não seja colocado a força, nem mesmo a pisadas, já que podem gerar a quebra do material e exigir a remontagem



Lajes pré-fabricadas com poliestireno expandido(EPS)

Pontos positivos:

Laje leve, de rápida montagem;

O EPS não absorve a água e por ser facilmente recortável, tem instalação de encanamento facilitada;

Bom desempenho térmico e acústico

Maior eficiência estrutural em comparação com as lajes pré-moldadas de cerâmica

Pontos negativos:

Em algumas regiões, tem custo mais elevado;

Exige mais gastos adicionais com material de acabamento;

Exige reforço para instalação de estruturas na parte inferior da laje;

Possui limitações de vãos e cargas.

Lajes pré-fabricadas de cerâmica

As formas que usam lajotas de cerâmica são mais adequadas para vencer pequenos vãos – por isso é comum em pequenas residências

O modelo consiste na instalação de vigotas de concreto colocadas lado a lado, com as lajotas entre os espaços

Essa montagem é coberta de concreto

As lajotas devem ser conduzidas com muito cuidado no canteiro de obra, já que são pouco resistentes e podem quebrar durante transporte, montagem e concretagem com pequenos choques



Lajes pré-fabricadas de cerâmica

Pontos positivos:

Vence vãos menores, apropriado para pequenos ambientes;

Baixo custo.

Pontos negativos:

Material é frágil;

Inadequado para vencer vãos maiores.

Pré-fabricada de painéis treliçados

Os painéis treliçados têm vigotas mais largas que os outros tipos

os painéis de concretos encostam uns nos outros

Na parte superior, a estrutura conta com vigotas treliçadas de metal que garantem maior resistência, e EPS como enchimento

Este conjunto é envolvido pelo concreto que finalizará a laje.

Com maior resistência estrutural, esse tipo de laje permite vencer vãos médios, mas é mais indicado para construções menores

Como a disposição inferior dos painéis é bem aceita por arquitetos, esse tipo de laje dispensa gastos com acabamento



Pré-fabricada de painéis treliçados

Pontos positivos:

Resistência superior aos outros modelos pré-fabricados;

Fácil transporte;

Dispensa acabamentos;

Menor uso de madeira no escoramento.

Pontos negativos:

Mais caro que os outros modelos pré-fabricados;

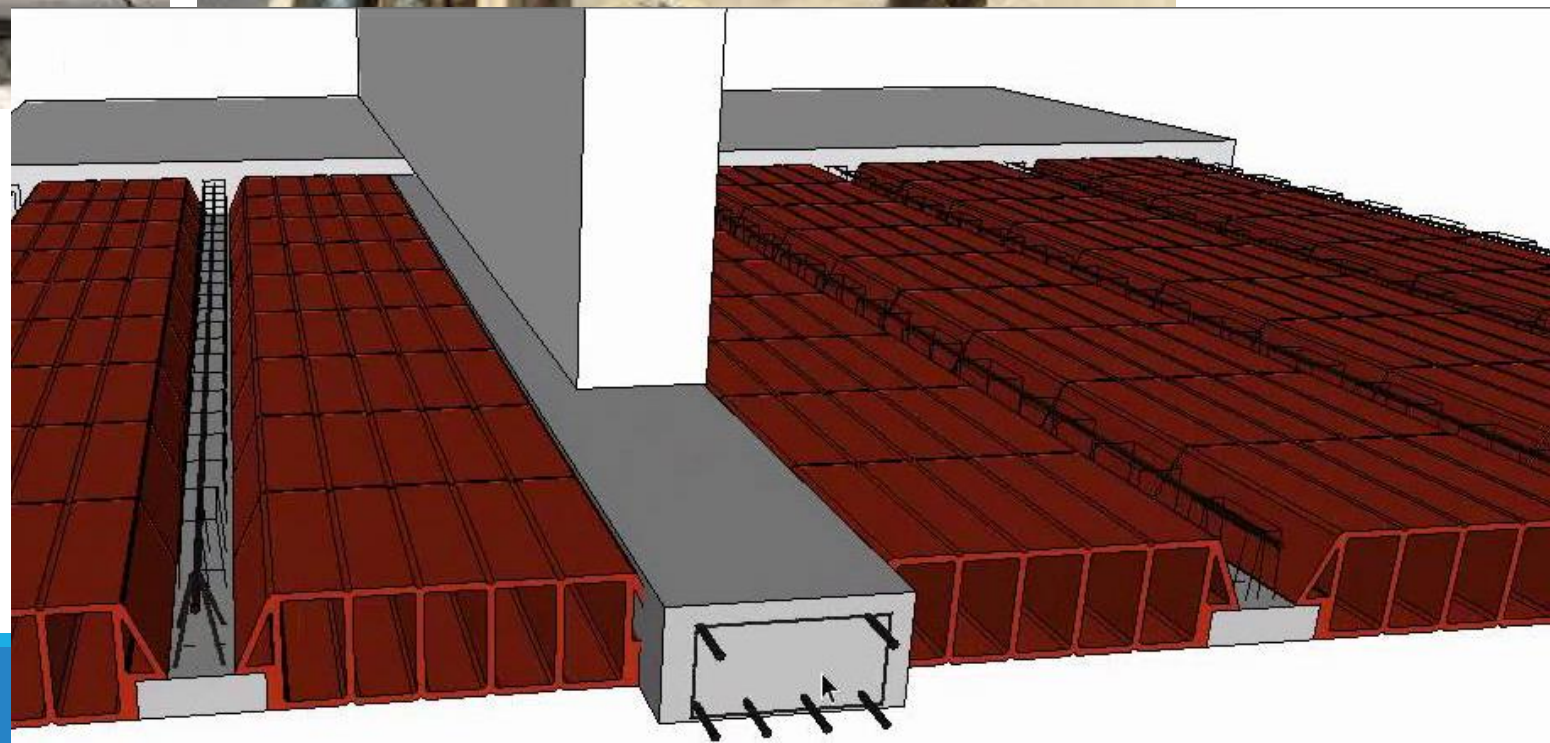
Maior custo entre as opções pré-fabricadas



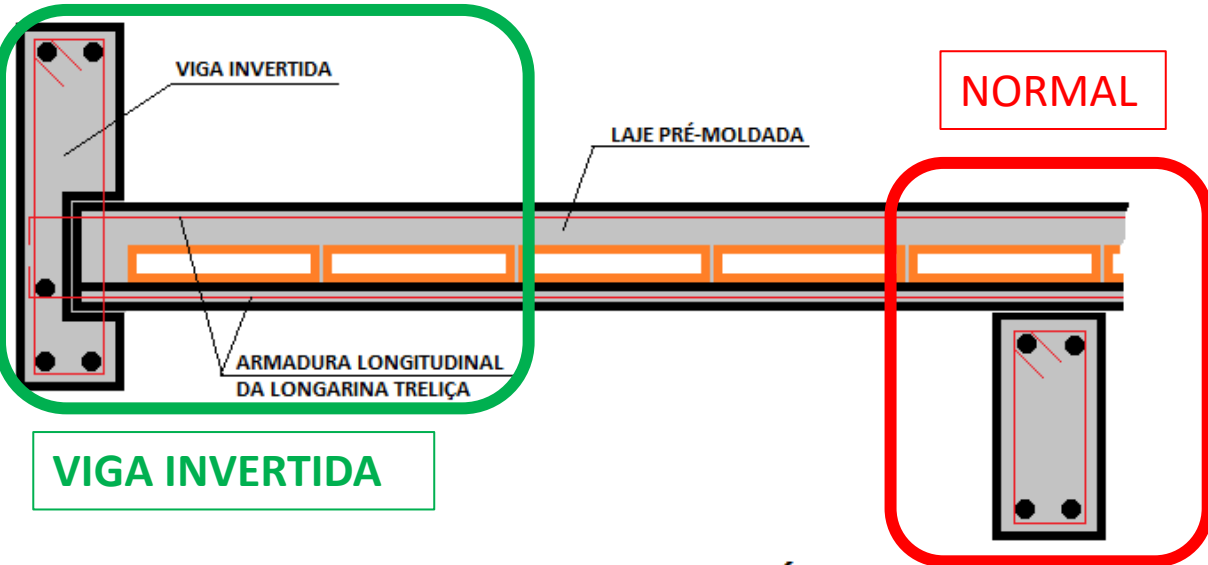
Sistema de lajes com vigas

Para efeitos estéticos, podem ser usadas vigas invertidas ou vigas embutidas na laje, também chamadas de vigas chatas, cuja espessura é igual a da laje;

LAJES COM VIGA CHATA

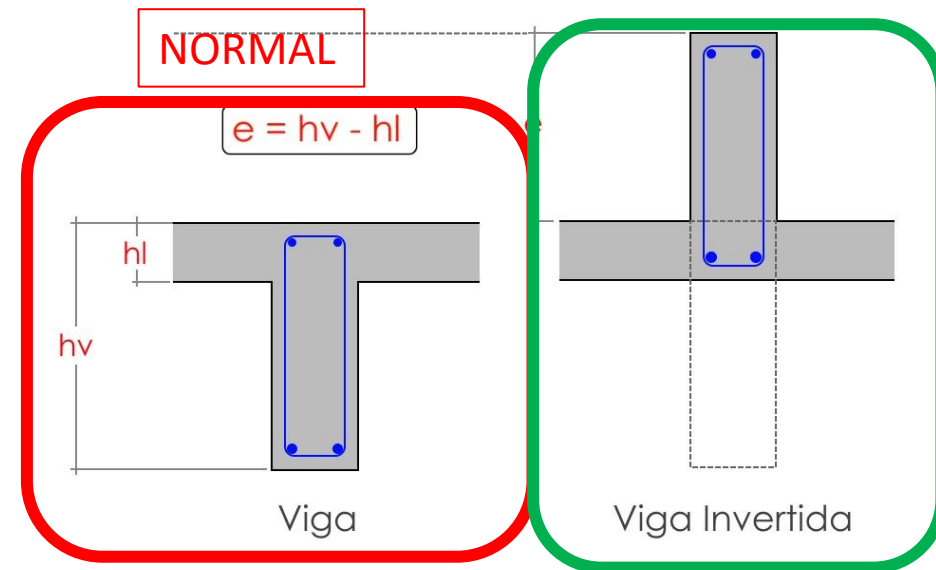


LAJES COM VIGA INVERTIDA



VIGA INVERTIDA

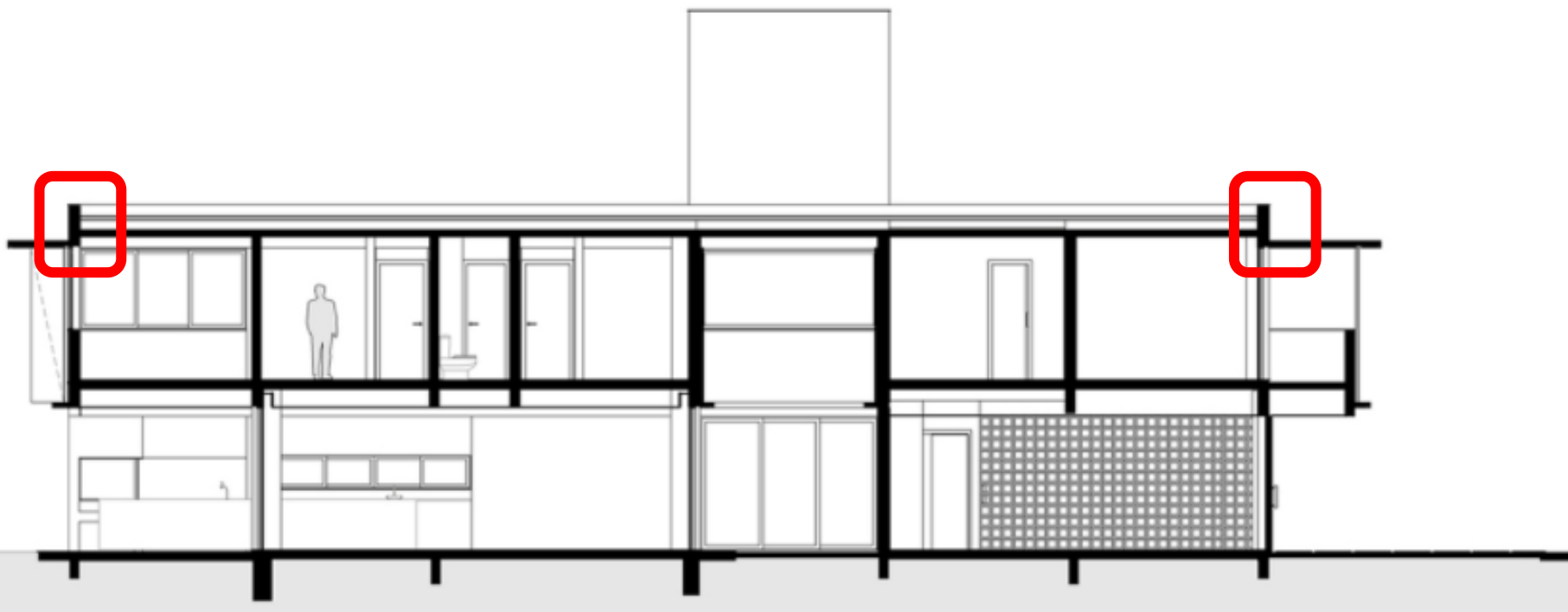
VIGA INVERTIDA EM LAJE PRÉ-MOLDADA
CORTE



VIGA INVERTIDA EM LAJES MACIÇAS
CORTE







Como lançar/conceber/dimensionar uma estrutura?

Primordialmente, deve-se observar a disponibilidade de materiais, transporte e mão-de-obra na região →viés econômico

Lançamento da estrutura: indicação da posição de cada elemento estrutural

Pré-dimensionamento: determinação das dimensões iniciais dos elementos estruturais

Dimensionamento de fato: determinação da área de aço necessária e da armadura. Nessa fase, as vezes é necessário a mudança de dimensões de alguns elementos estruturais para que estes atendam a requisitos da NBR 6118/2014

Por onde começar o lançamento da estrutura?

O lançamento da estrutura é a indicação **da posição de cada elemento estrutural**

Pelos pilares do pavimento-tipo, seguido pelos pavimentos abaixo (térreo, garagens, playground...) e acima (duplex, casa de máquinas, cobertura).

No pavimento tipo, lança-se os pilares de canto, depois os de extremidade e os diversos pilares internos

Em seguida, lança-se as vigas

E por fim, lajes

Como lançar/conceber/dimensionar uma estrutura?

Primordialmente, deve-se observar a disponibilidade de materiais, transporte e mão-de-obra na região → viés econômico

alocação dos elementos estruturais:

Pilares → vigas → lajes

Pré-dimensionamento

Lajes → vigas → pilares

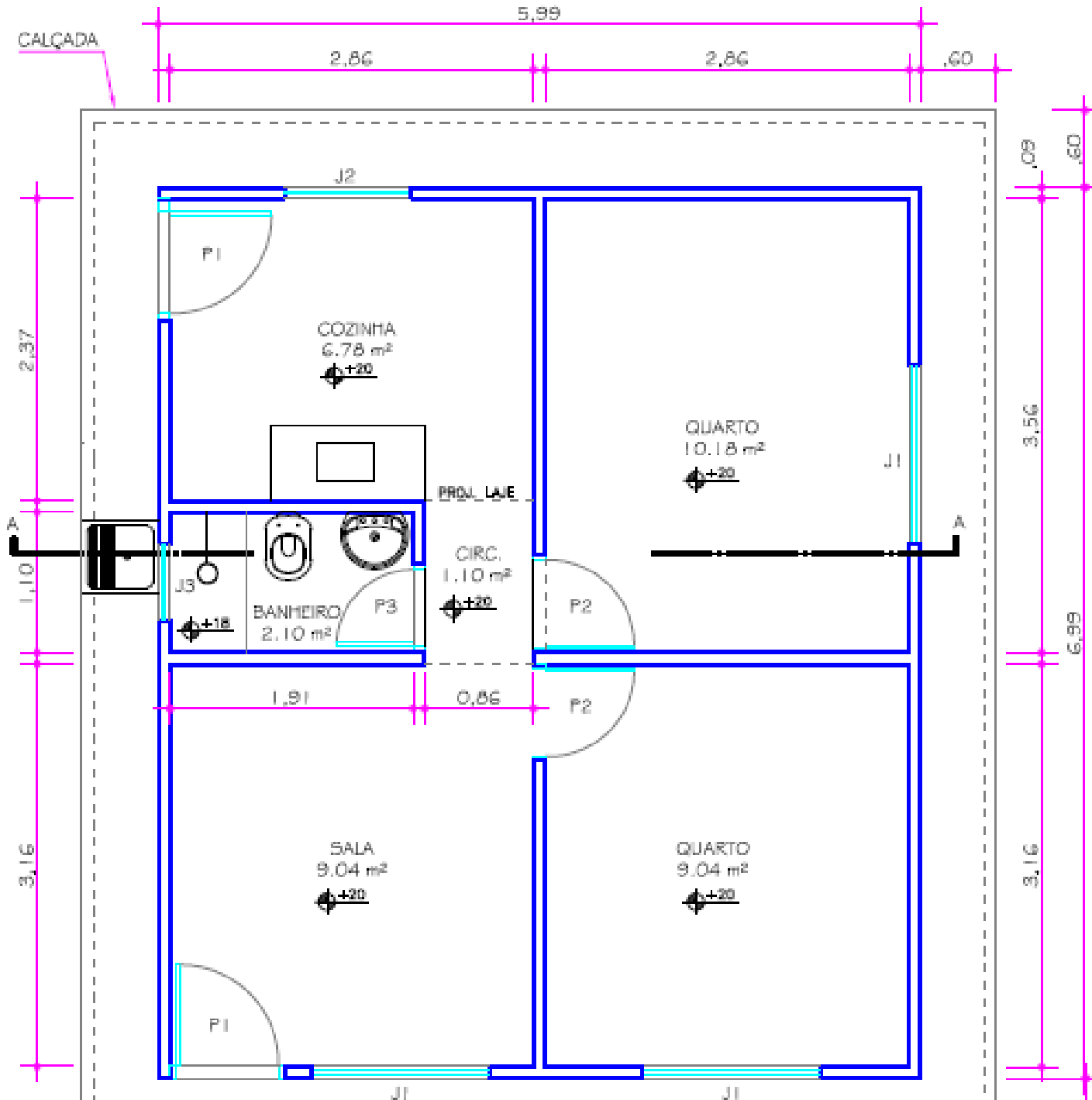
Lançamento (posição) de pilares

Pilares de canto

**Pilares internos
comuns a todos
os pavimentos
(escadas e
elevadores)**

**Os pilares de
extremidade**

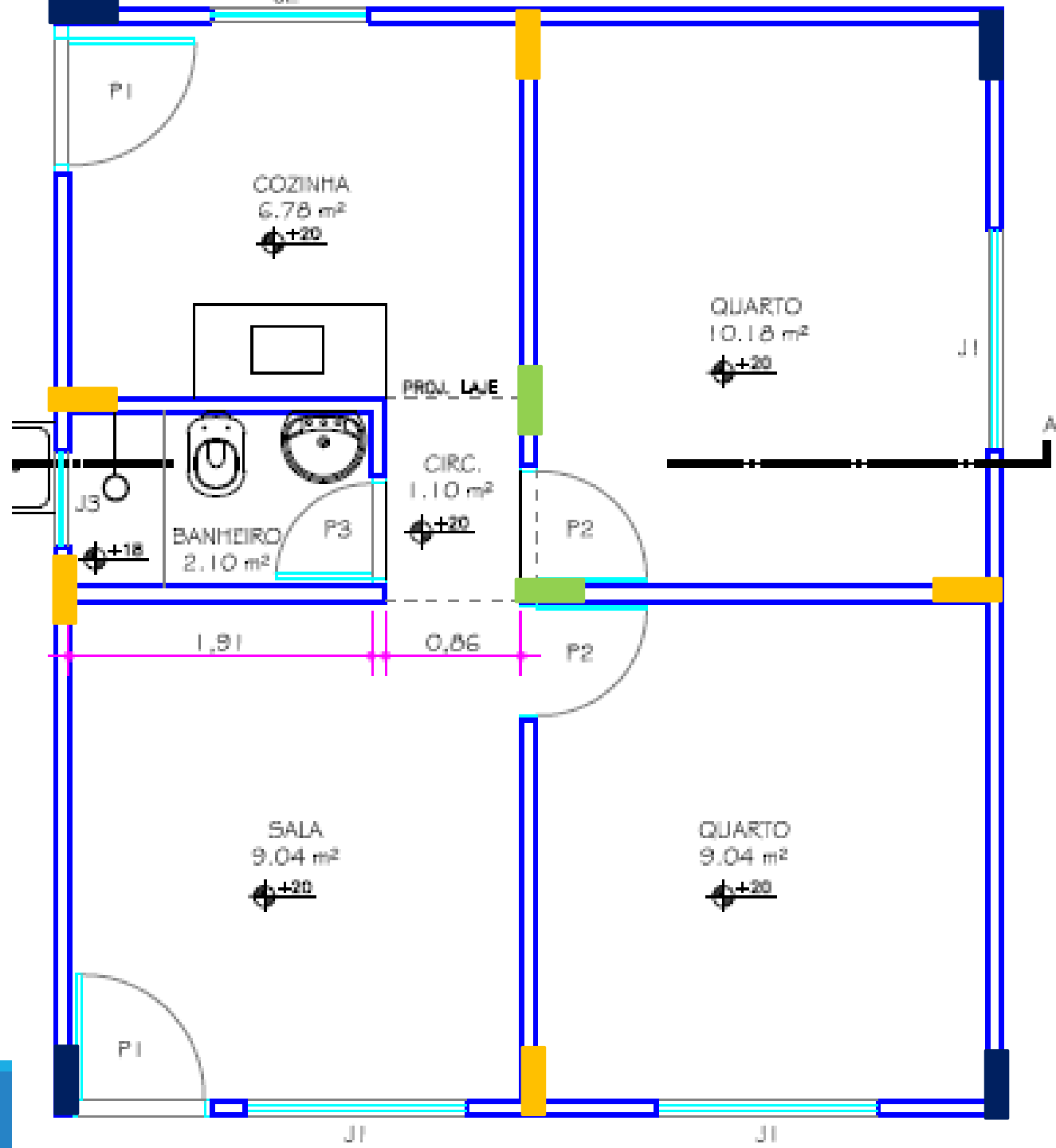
**Os pilares
internos**



Pilares de canto

Pilares de extremidade

Pilares internos



Recomendações pilares (posicionamento)

Normalmente, as dimensões dos pilares são maiores que a espessura das paredes não sendo possíveis embuti-las nelas

Deve-se evitar a formação de dentes de pilares em áreas sociais e comuns na arquitetura

A distância ideal entre pilares é de 4 a 6 m

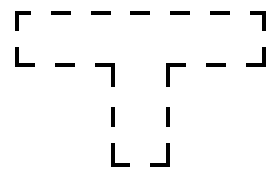
Distâncias maiores implicam em vigas de seções maiores e lajes espessas

Distâncias menores pode haver sobreposição de fundações

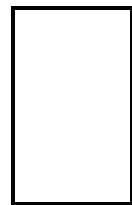
Verificar possíveis interferências com outros pavimentos

Pilares: simbologia de projeto

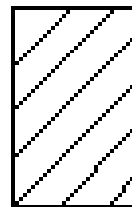
Vista em planta baixa



Pilar nascendo



Pilar passando



Pilar morrendo

Posição de vigas e lajes

Além de vigas que unem pilares, são necessários vigas intermediárias para evitar painéis de lajes muito grandes ou para receber a carga de uma parede divisória que se apoiaria na laje

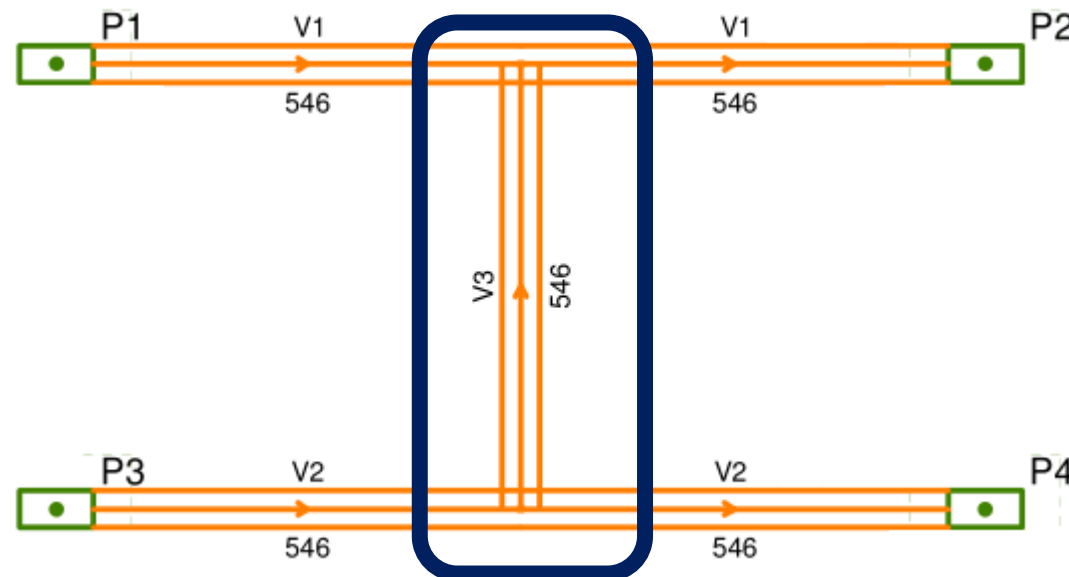
É comum utilizar vigas com largura das paredes e altura máxima condicionada a altura de aberturas (portas, janelas etc)

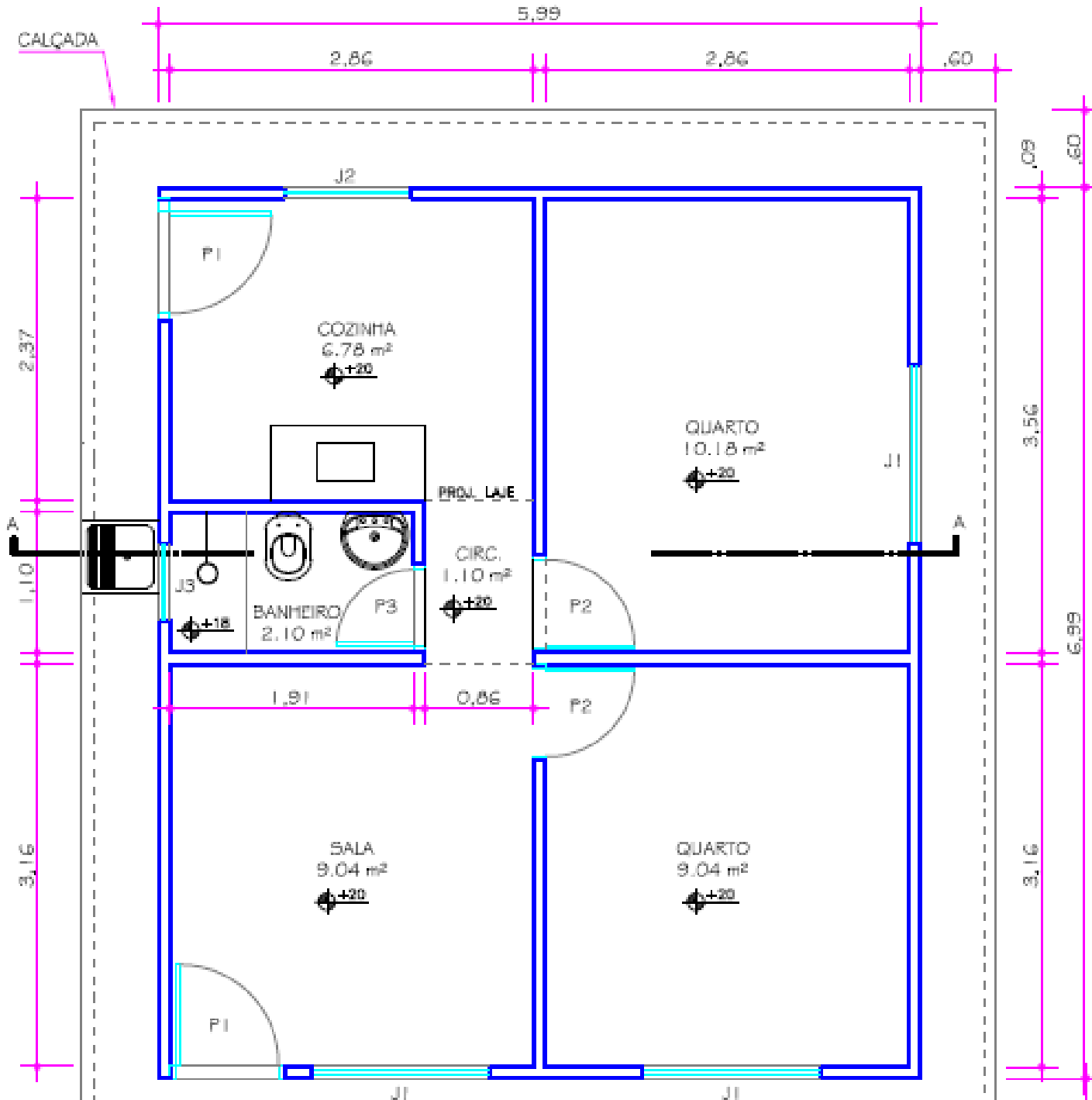
Posição de vigas e lajes

As vigas devem ser arranjadas de modo que a menor dimensão da laje esteja entre 3 a 5 m

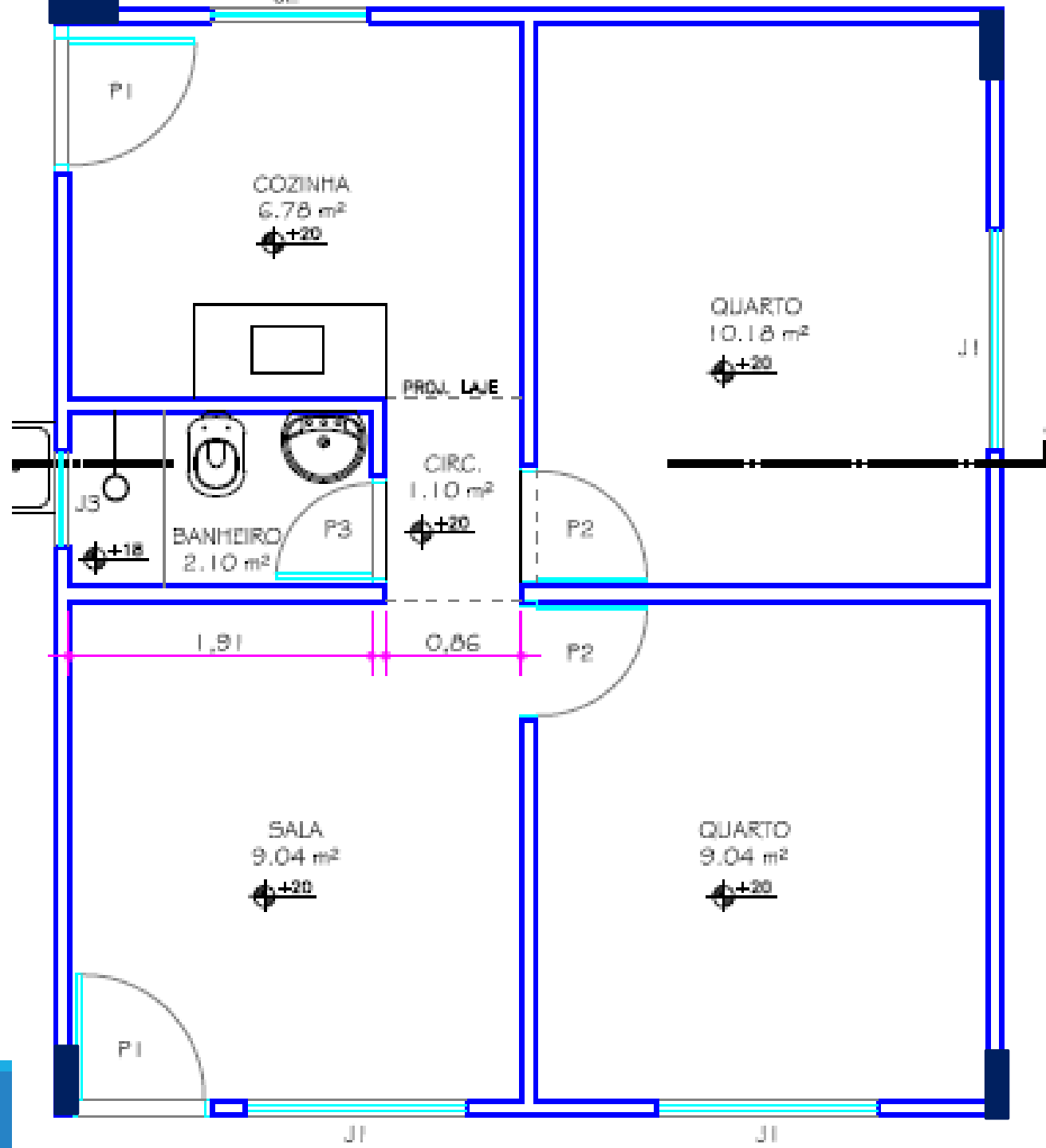
No modelo estrutural, deve-se rotular as vigas que se apoiam em outra viga, afim de se evitar que a viga de apoio receba esforços de torção

Lajes, preferencialmente, deverão ter em planta baixa formas retangulares ou quadráticas



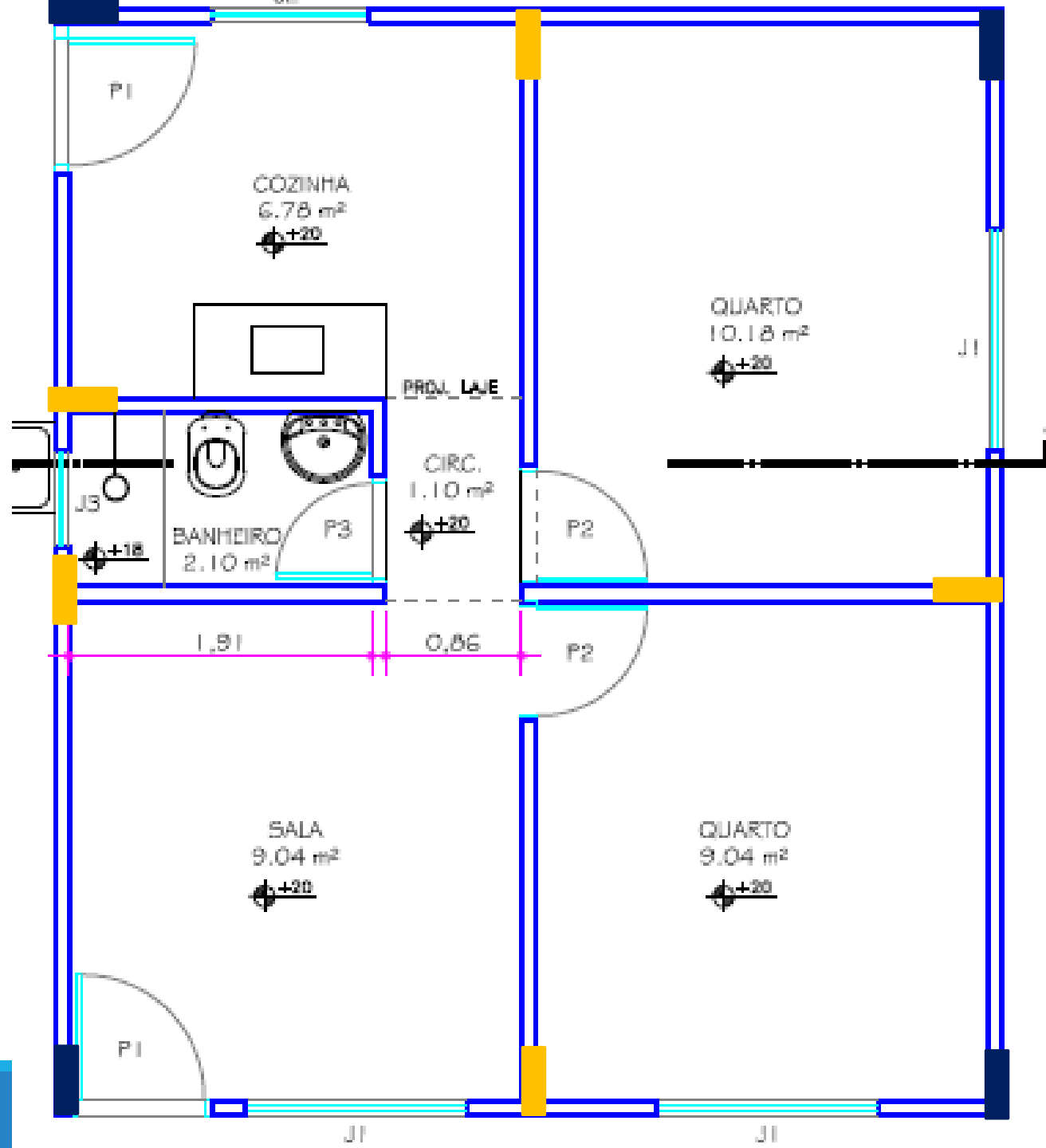


Pilares de canto



Pilares de canto

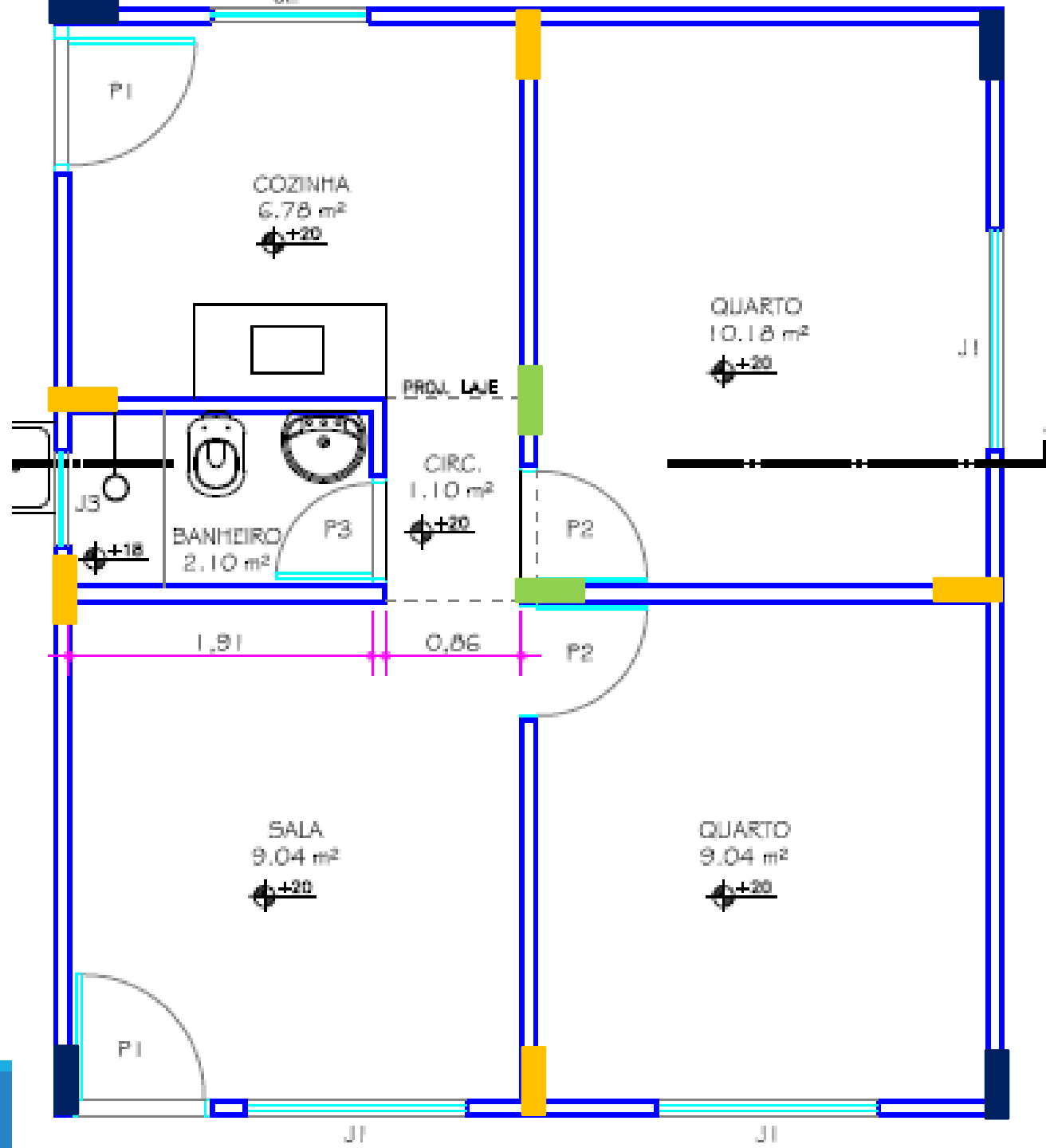
Pilares de extremidade



Pilares de canto

Pilares de extremidade

Pilares de extremidade

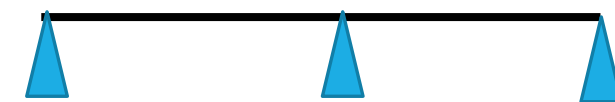
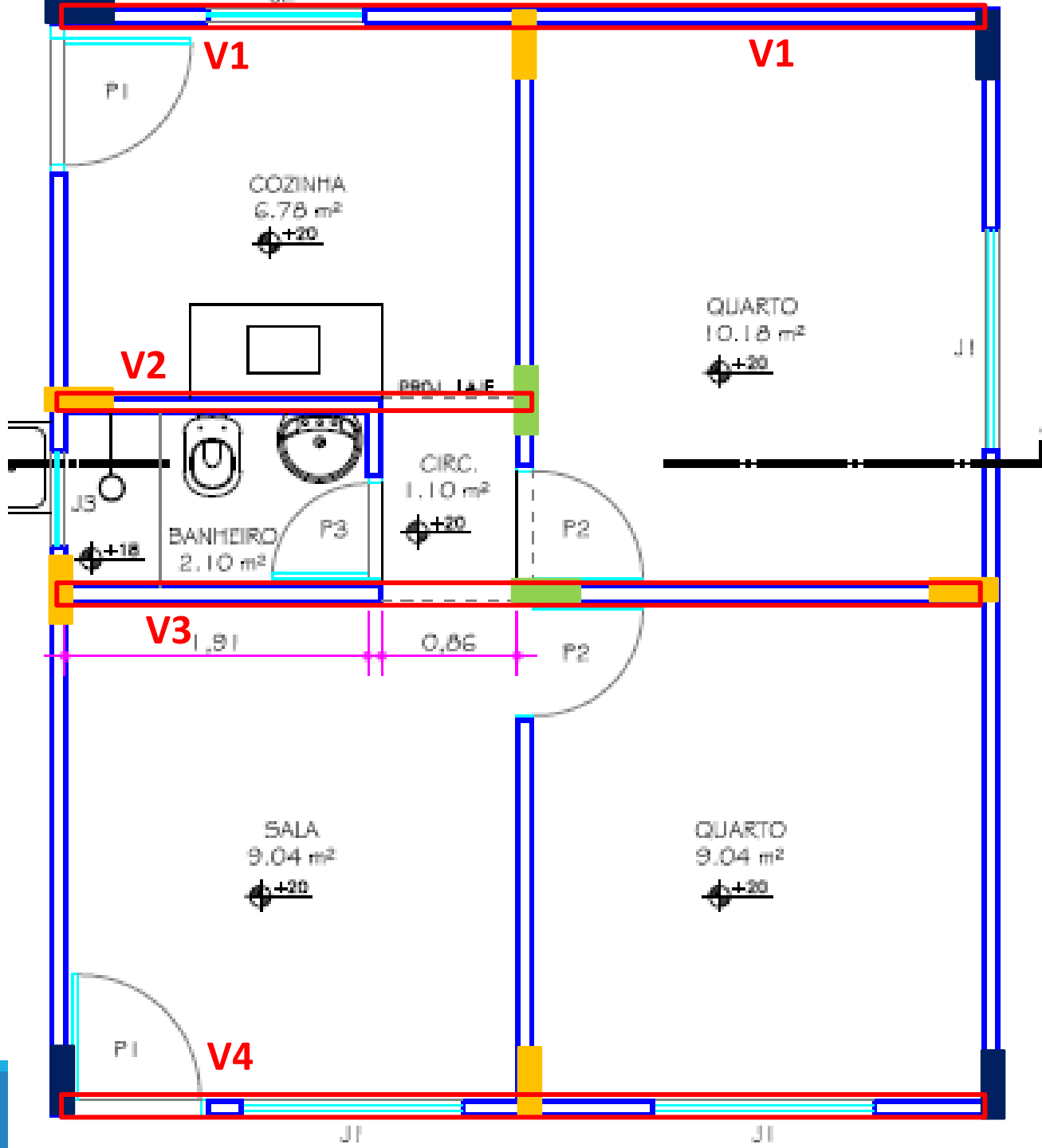


Pilares de canto

Pilares de extremidade

Pilares de extremidade

Vigas

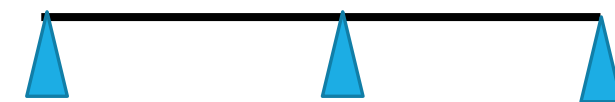
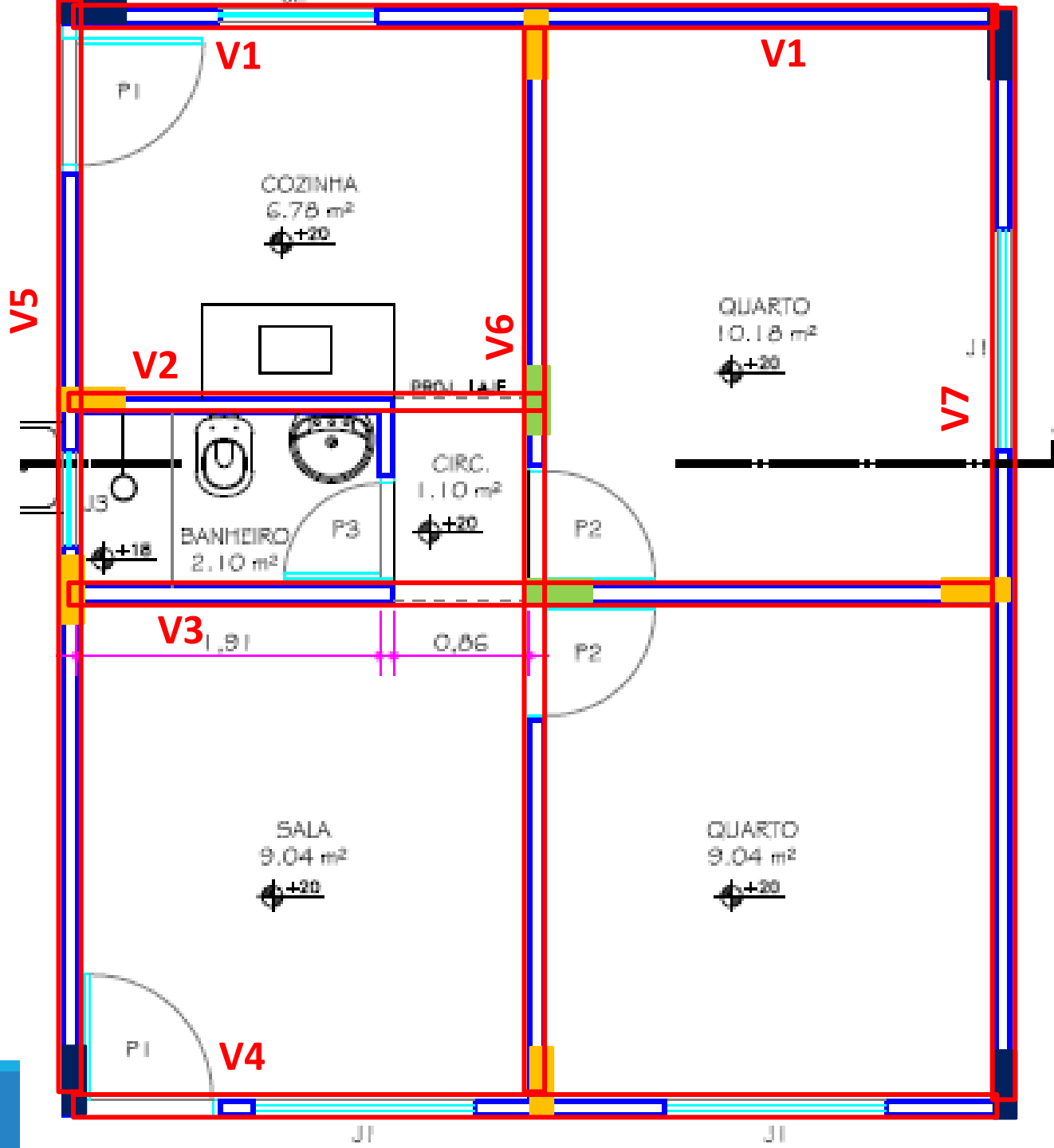


Pilares de canto

Pilares de extremidade

Pilares de extremidade

Vigas



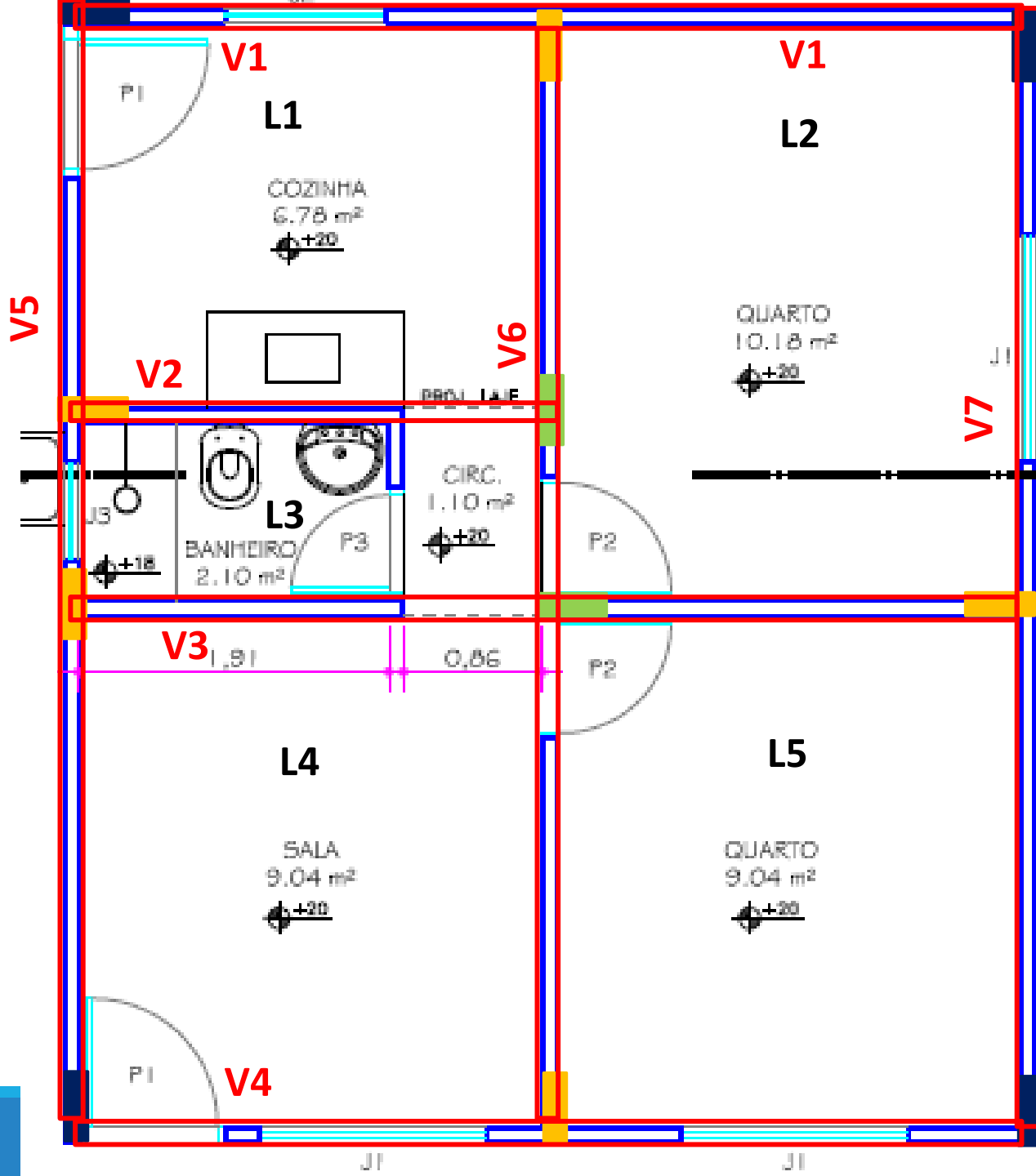
Pilares de canto

Pilares de extremidade

Pilares de extremidade

Vigas

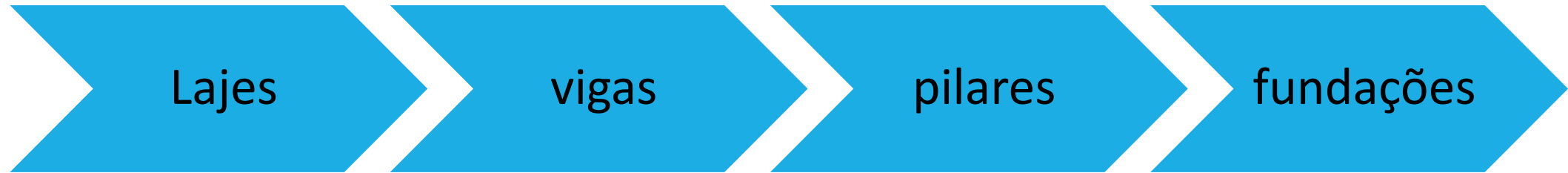
Lajes



PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Transmissão dos Esforços nas estruturas

Estrutura com vigas






Obs.: eventualmente, vigas menores descarregam em vigas maiores, nunca o contrário

Estrutura sem vigas

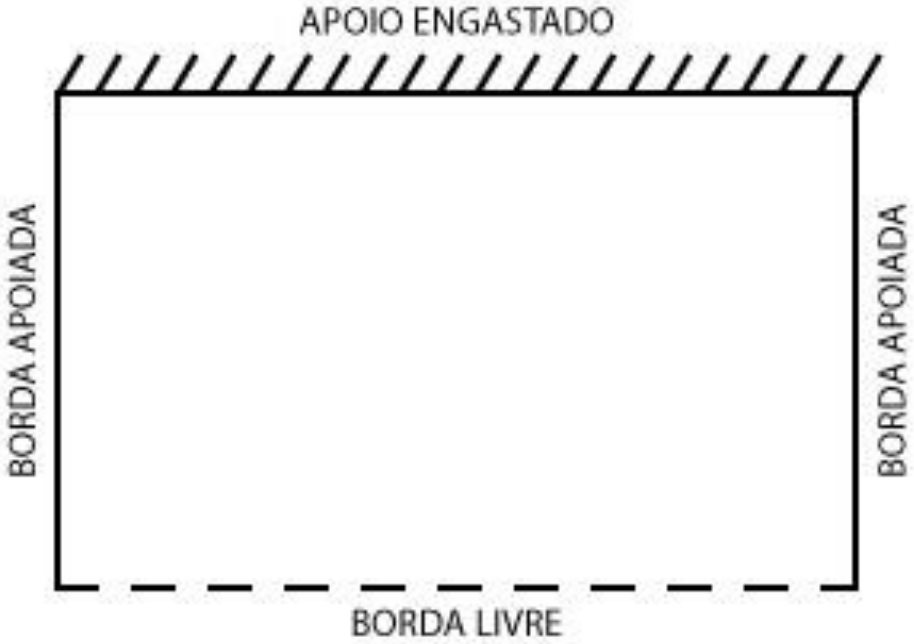
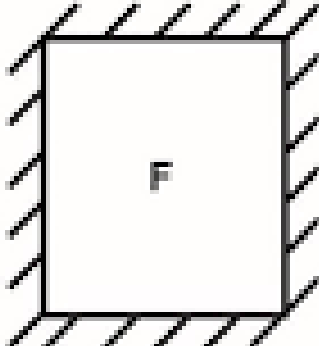
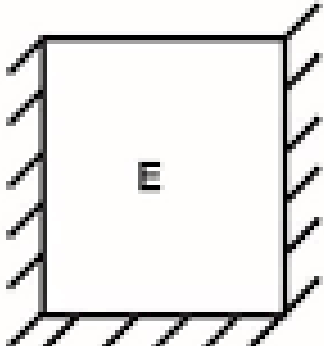
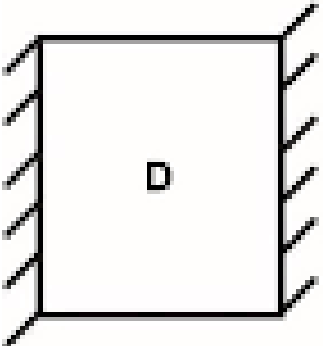
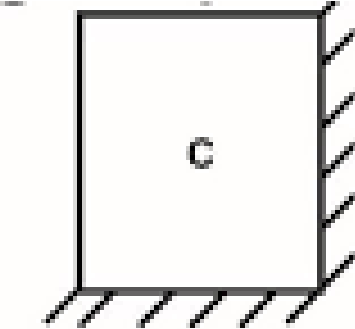
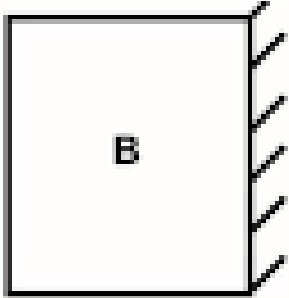
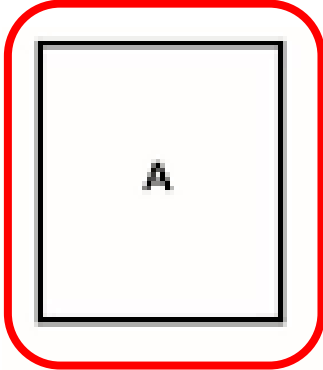


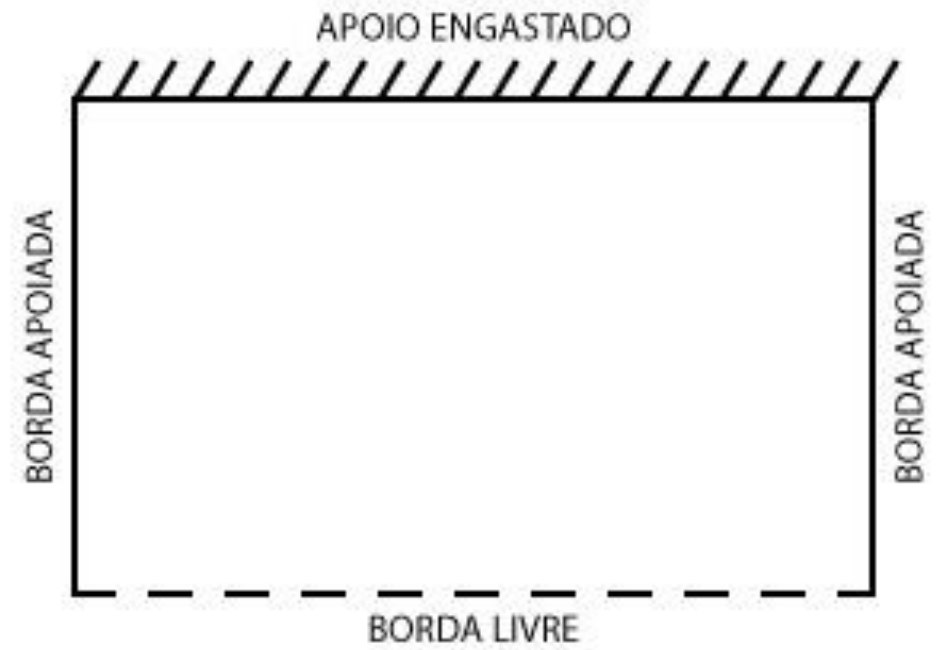
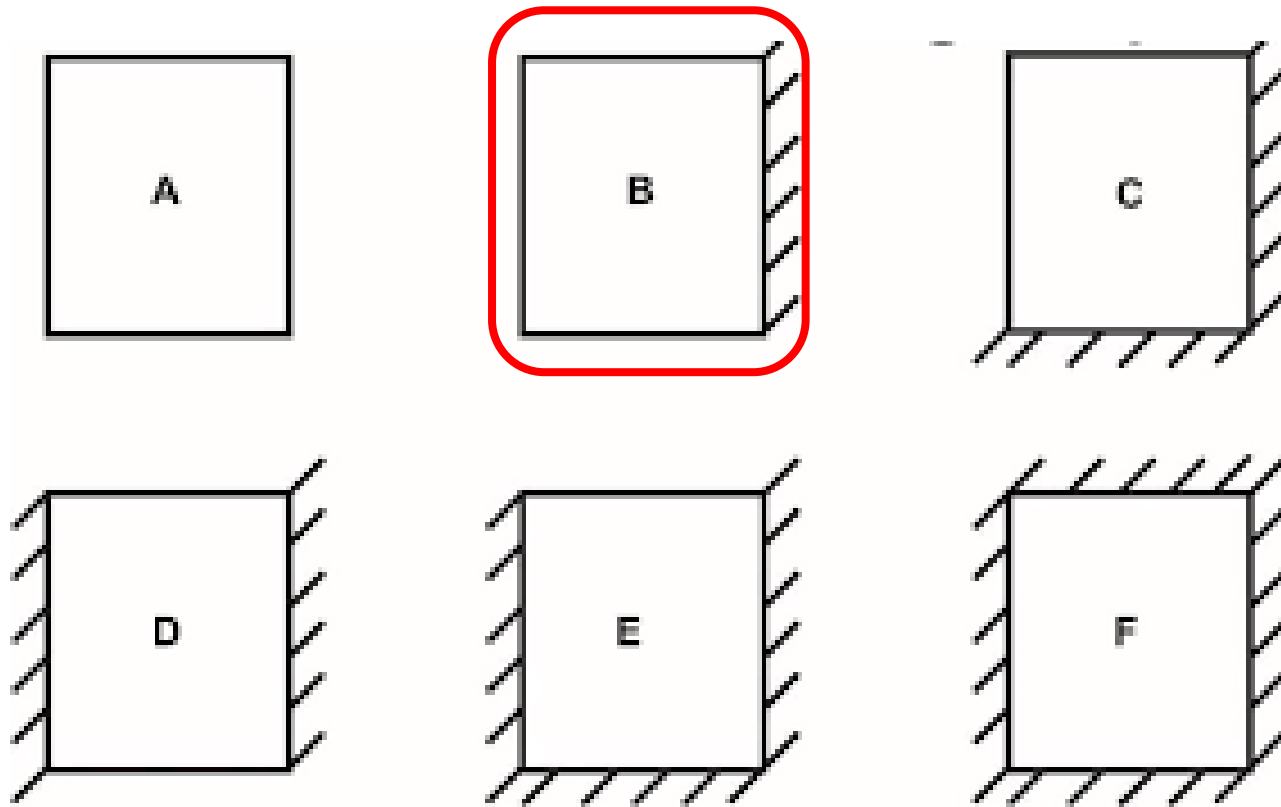
LAJES

Vinculações em lajes maciças

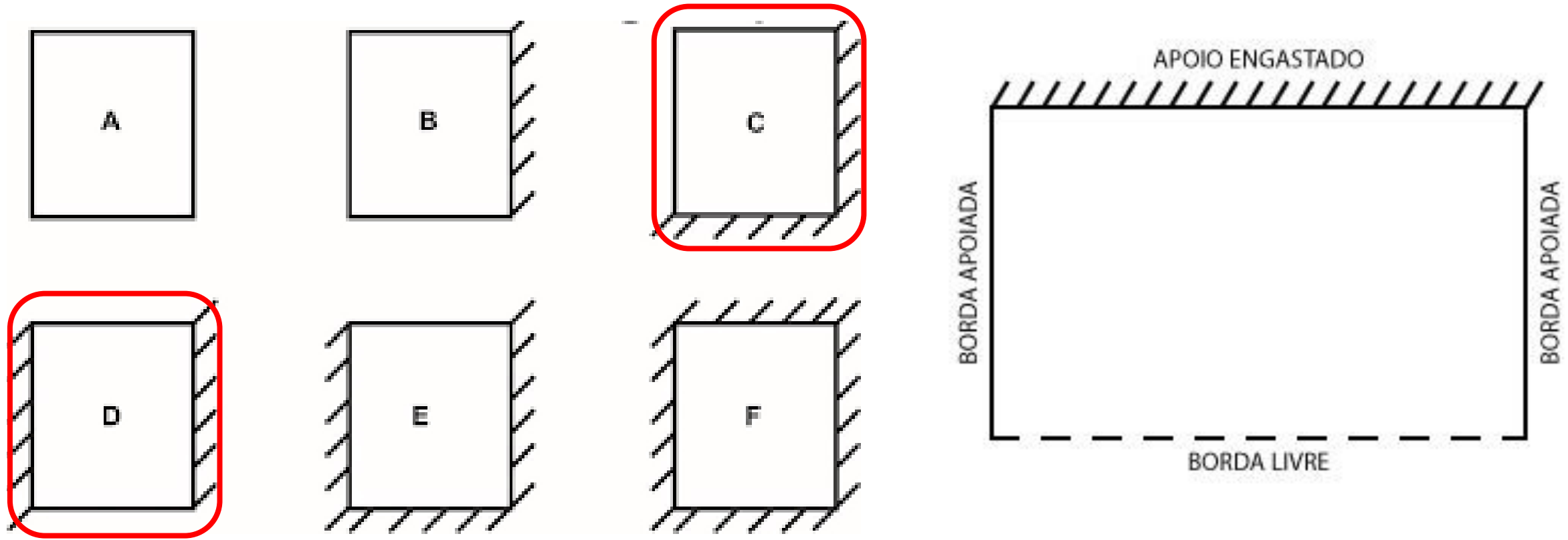
Borda livre	Borda simplesmente apoiada	Borda engastada
		

Laje Simplesmente apoiada

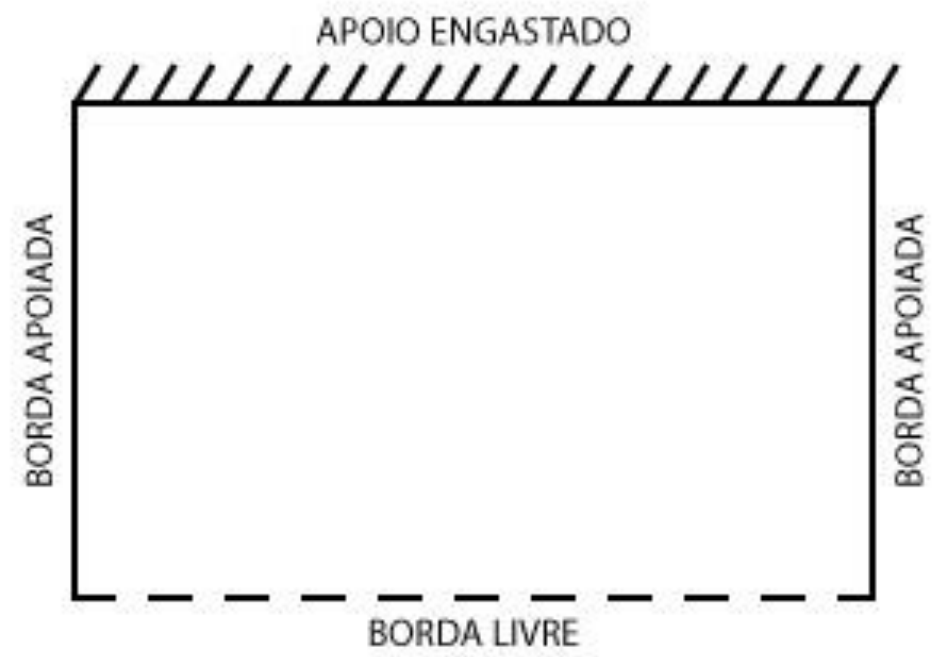
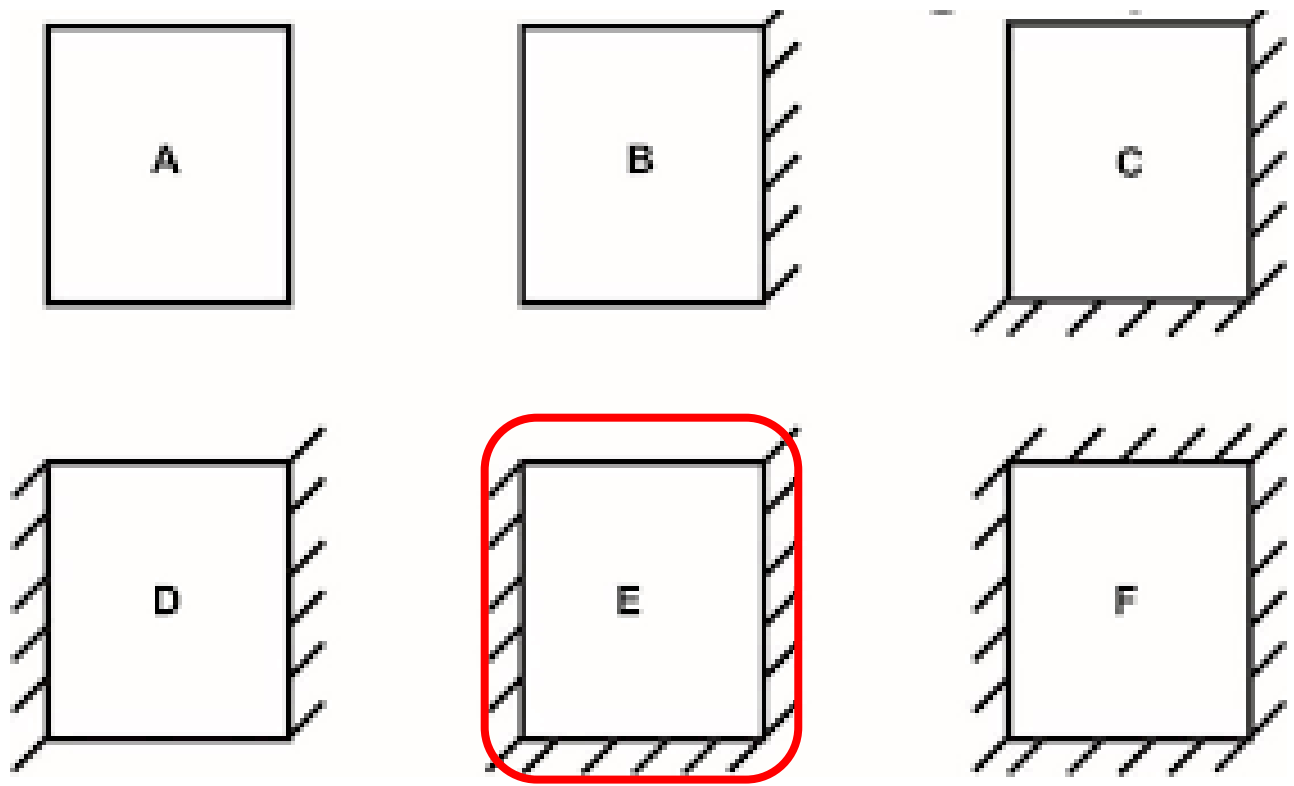




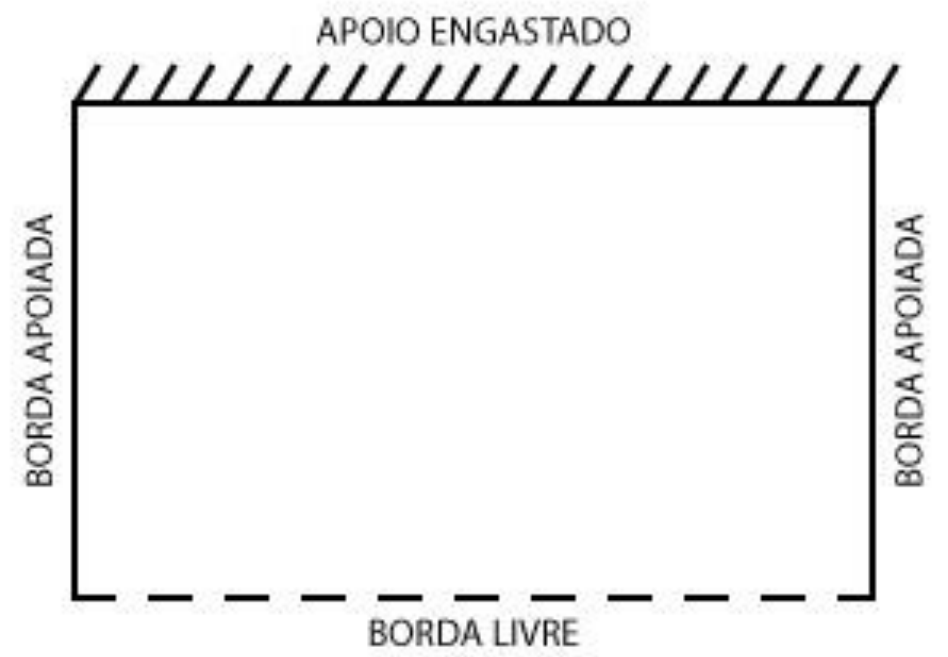
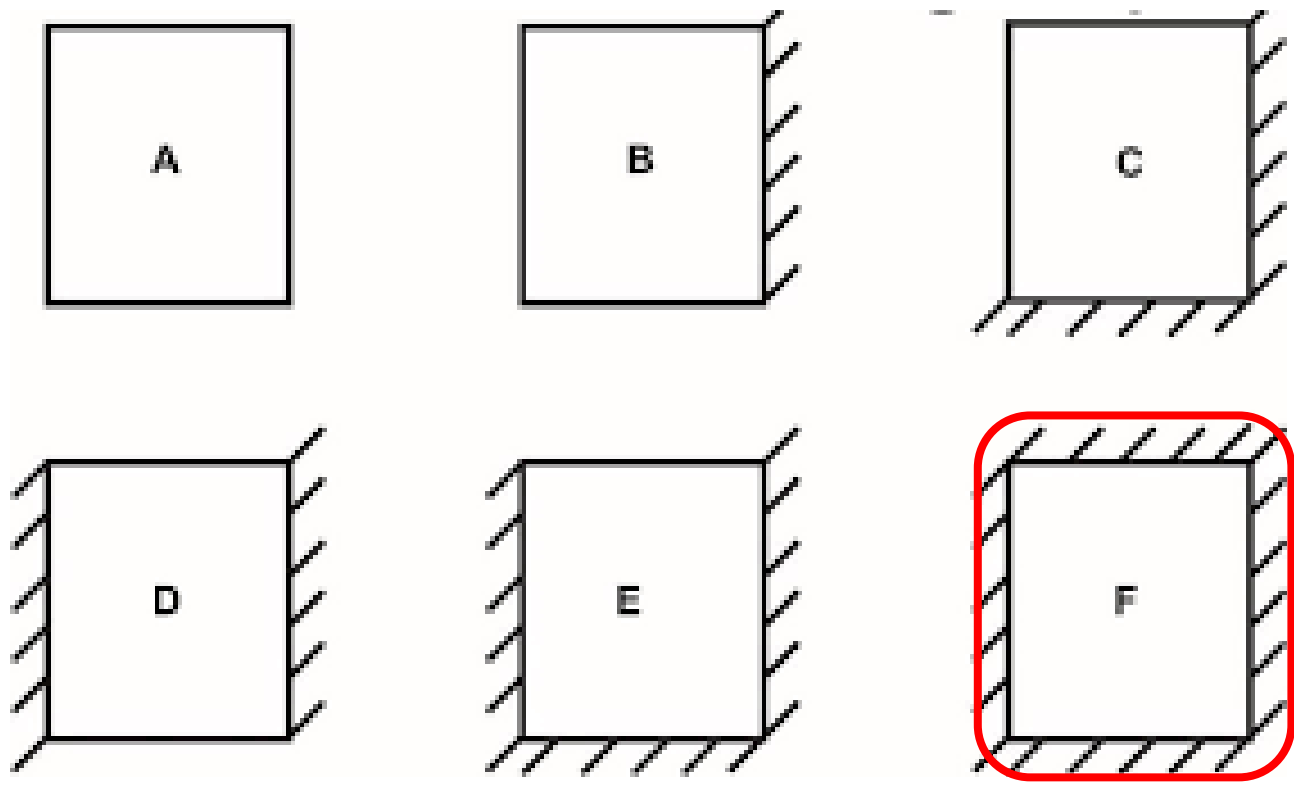
Laje com um engaste e demais bordo simplesmente apoiados



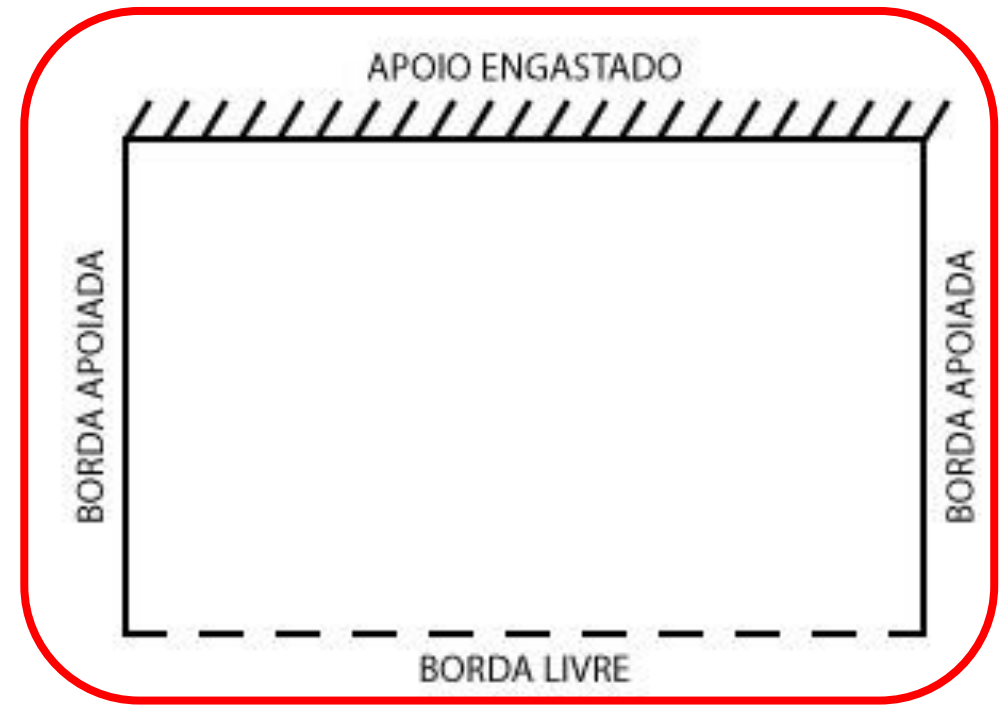
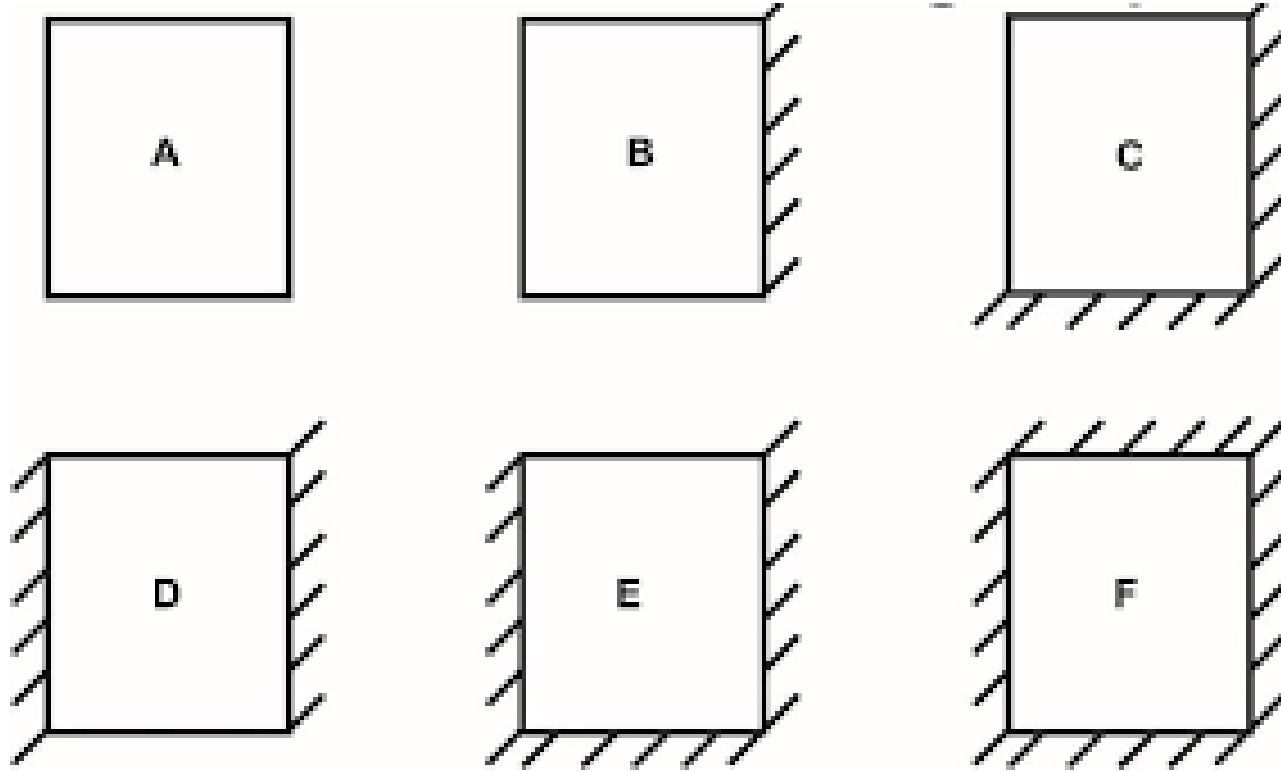
Laje com dois engastes e demais bordo simplesmente apoiados



Laje com 3 engastes e um bordo simplesmente apoiados



Laje totalmente engastada



Laje com um engaste, dois bordos apoiados e um bordo livre

Pré-dimensionamento de lajes maciças

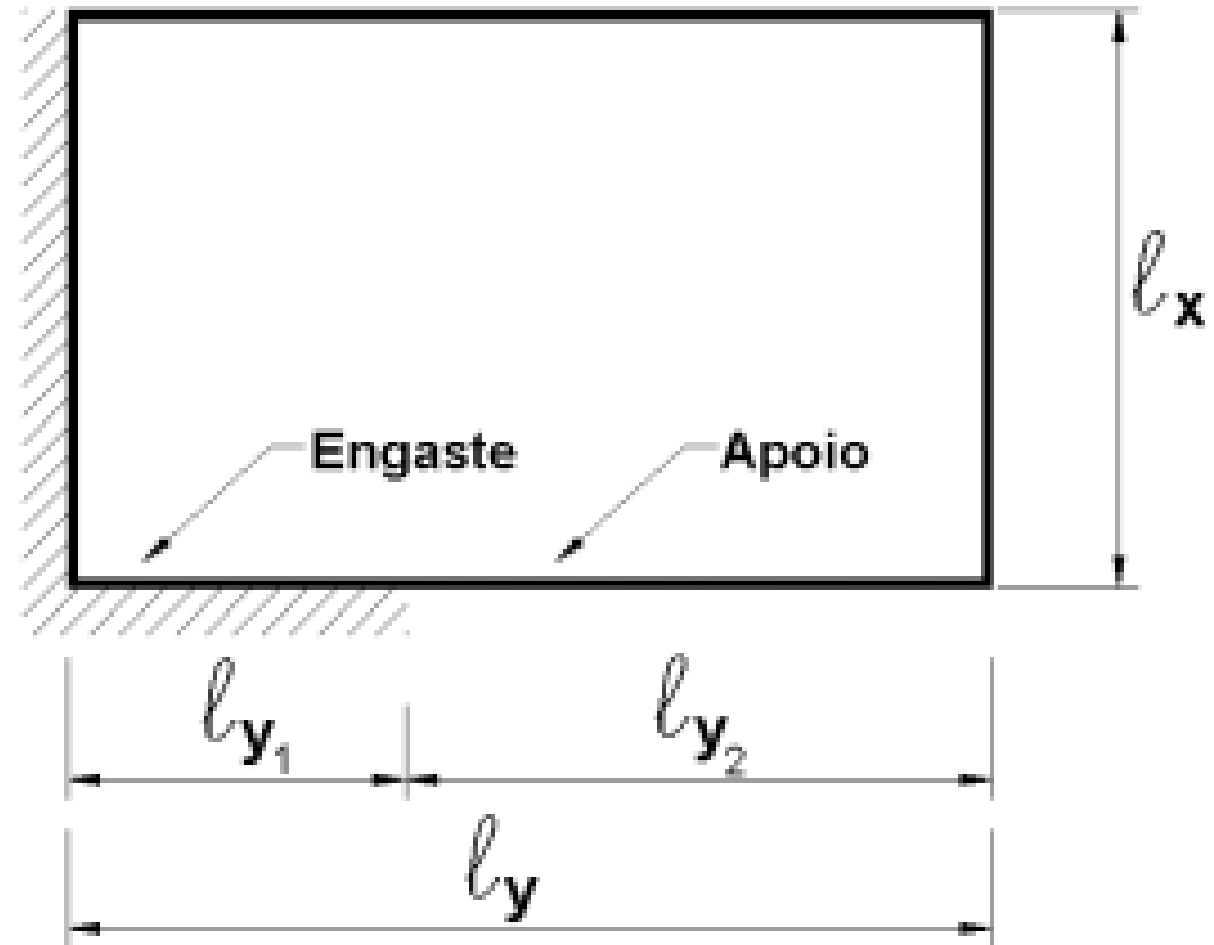
$$d \geq \frac{(2,5 - 0,1 * n) * l}{100}$$

d : altura útil da laje

n : número de engastes

l : menor valor entre:

$$l \begin{cases} l_x \\ 0,7 * l_y \end{cases}$$



Altura da laje

EM QUALQUER SITUAÇÃO:

$$h_{laje} = d + \frac{\phi_{arm.long.}}{2} + c$$

h_{laje} é a altura ou espessura da laje em cm

d é a altura útil da laje maciça (distância entre o centro de gravidade da armadura longitudinal da laje e a fibra mais comprimida)

$\phi_{arm.long.}$ é o diâmetro da armadura longitudinal na laje, por se tratar de um pré-dimensionamento esse valor deve ser adotado

c é o cobrimento da laje de acordo com a classe de agressividade ambiental

Valores mínimos de espessura de lajes

Pela NBR 6118:2014, a espessura mínima de lajes maciças deve ser:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço
- b) 8 cm para lajes de piso e não balanço
- C) 10 cm para lajes em balanço
- D) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso menor ou total a 30 kN
- E) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso maior a 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
- H) 14 cm para lajes-cogumelos fora do capitel

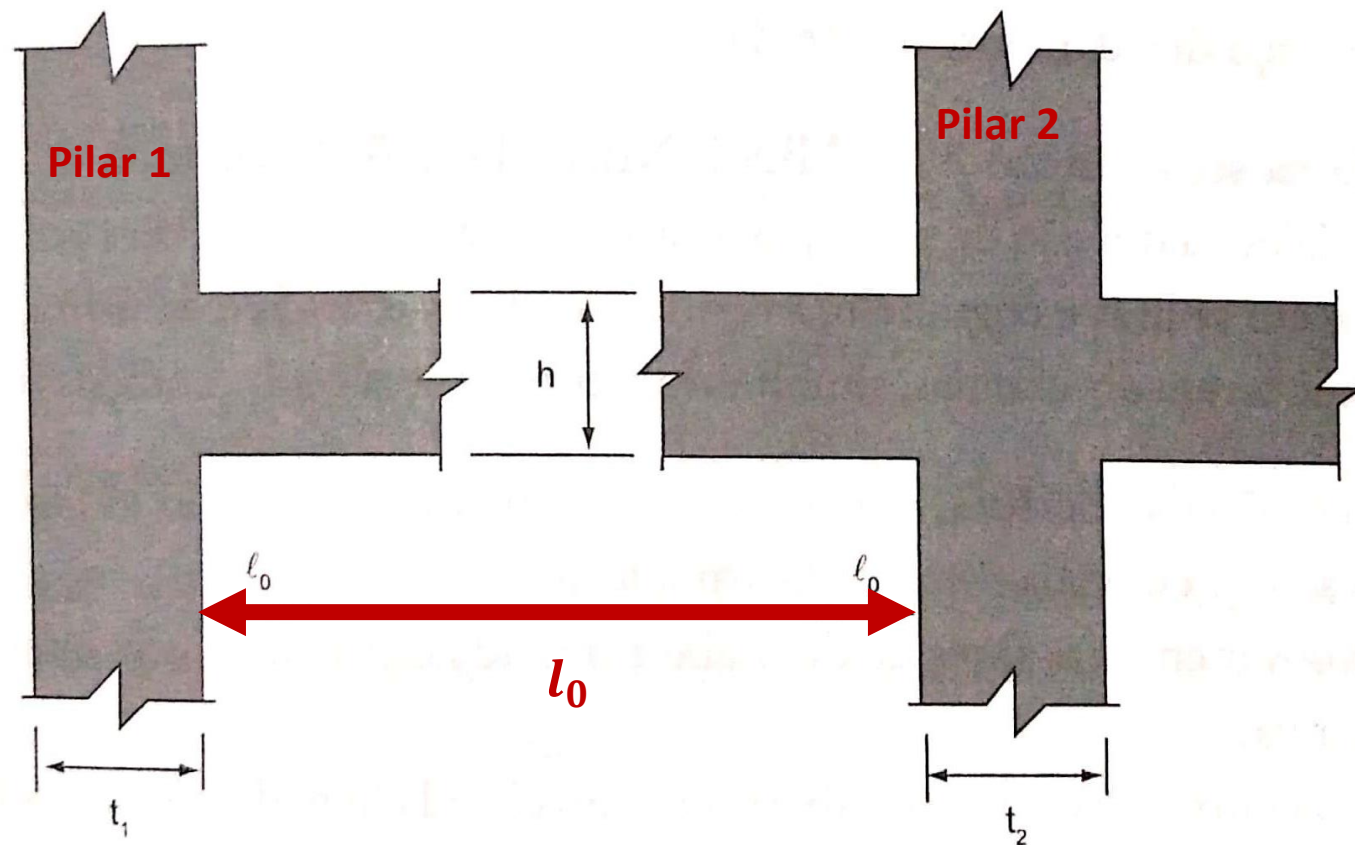
Vão efetivo de lajes e vigas

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2$$

l_0 = a distância entre duas faces internas de dois apoios consecutivos

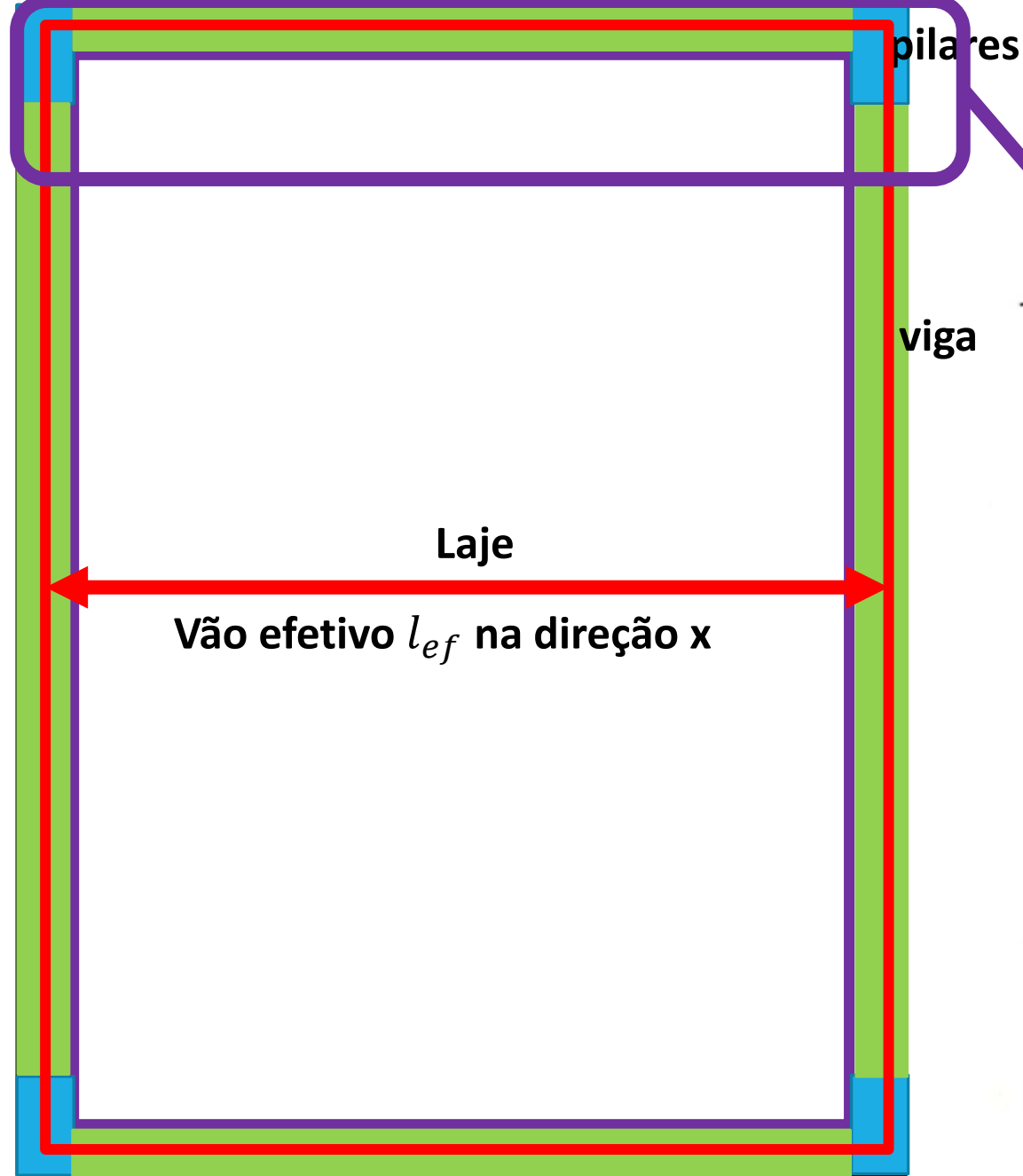
a_1 = é o menor valor entre $t_1/2$ e $0,3 \cdot h$

a_2 = é o menor valor entre $t_2/2$ e $0,3 \cdot h$

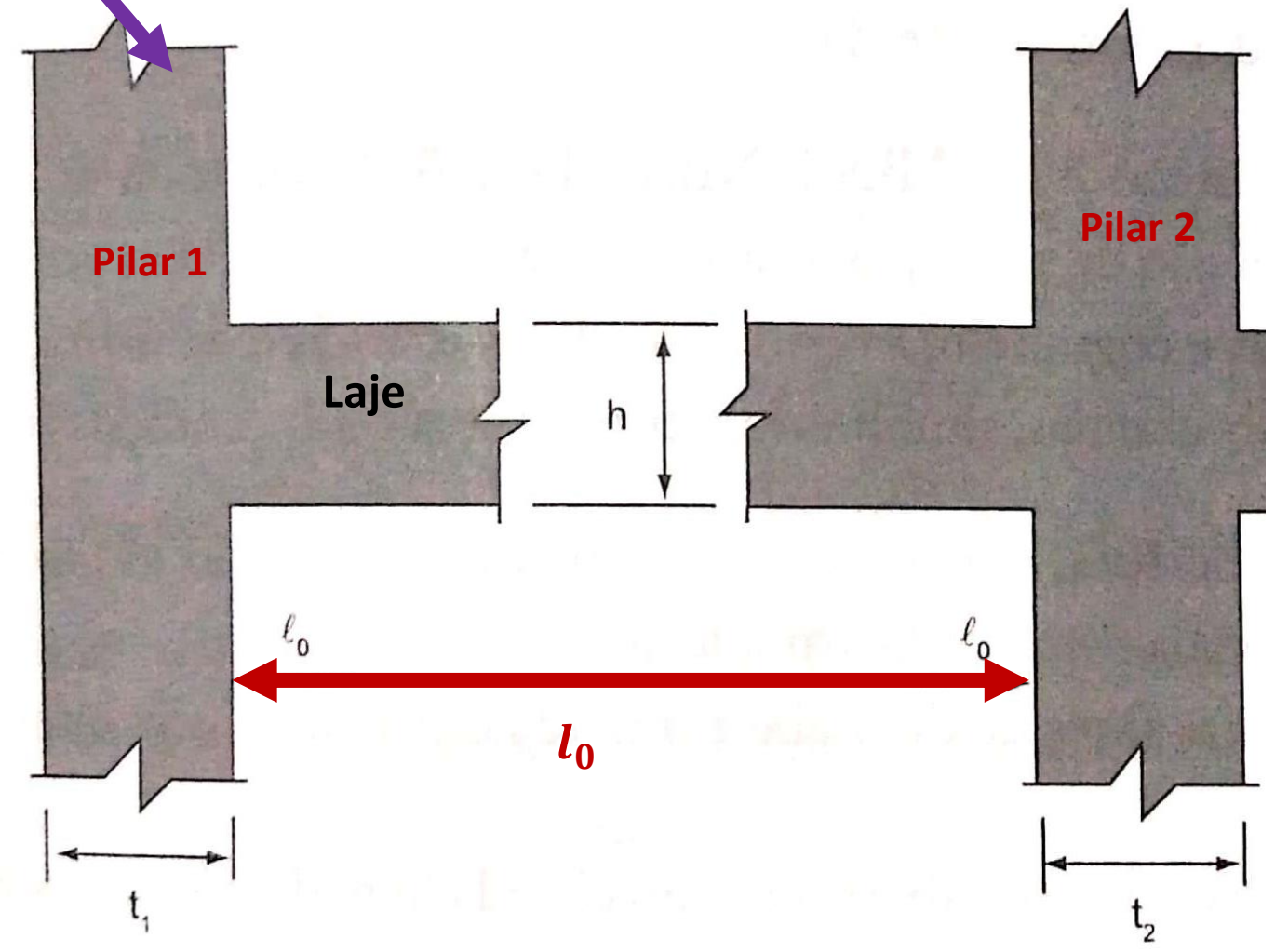


a) Apoio de vão extremo

b) Apoio de vão intermediário

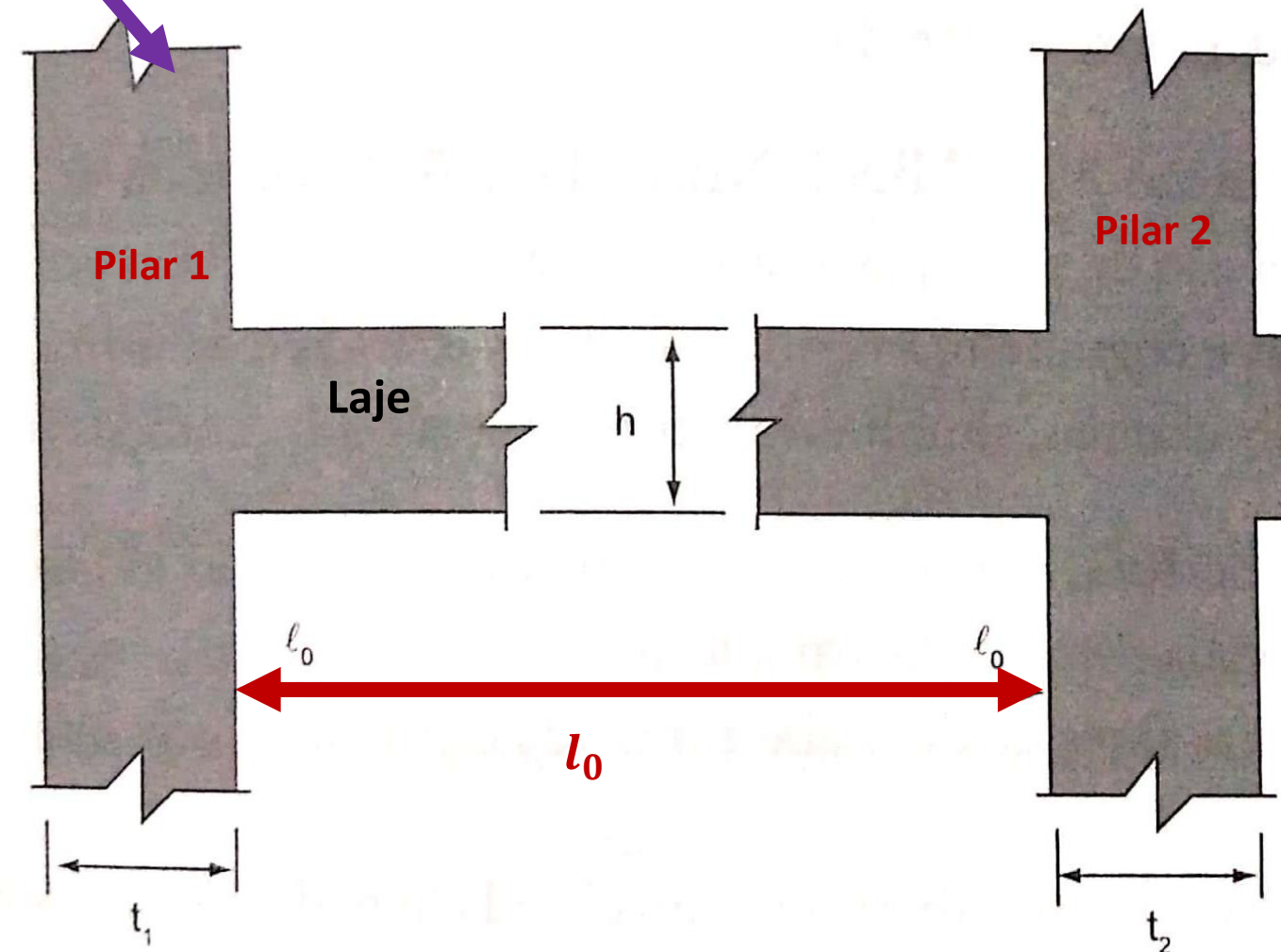
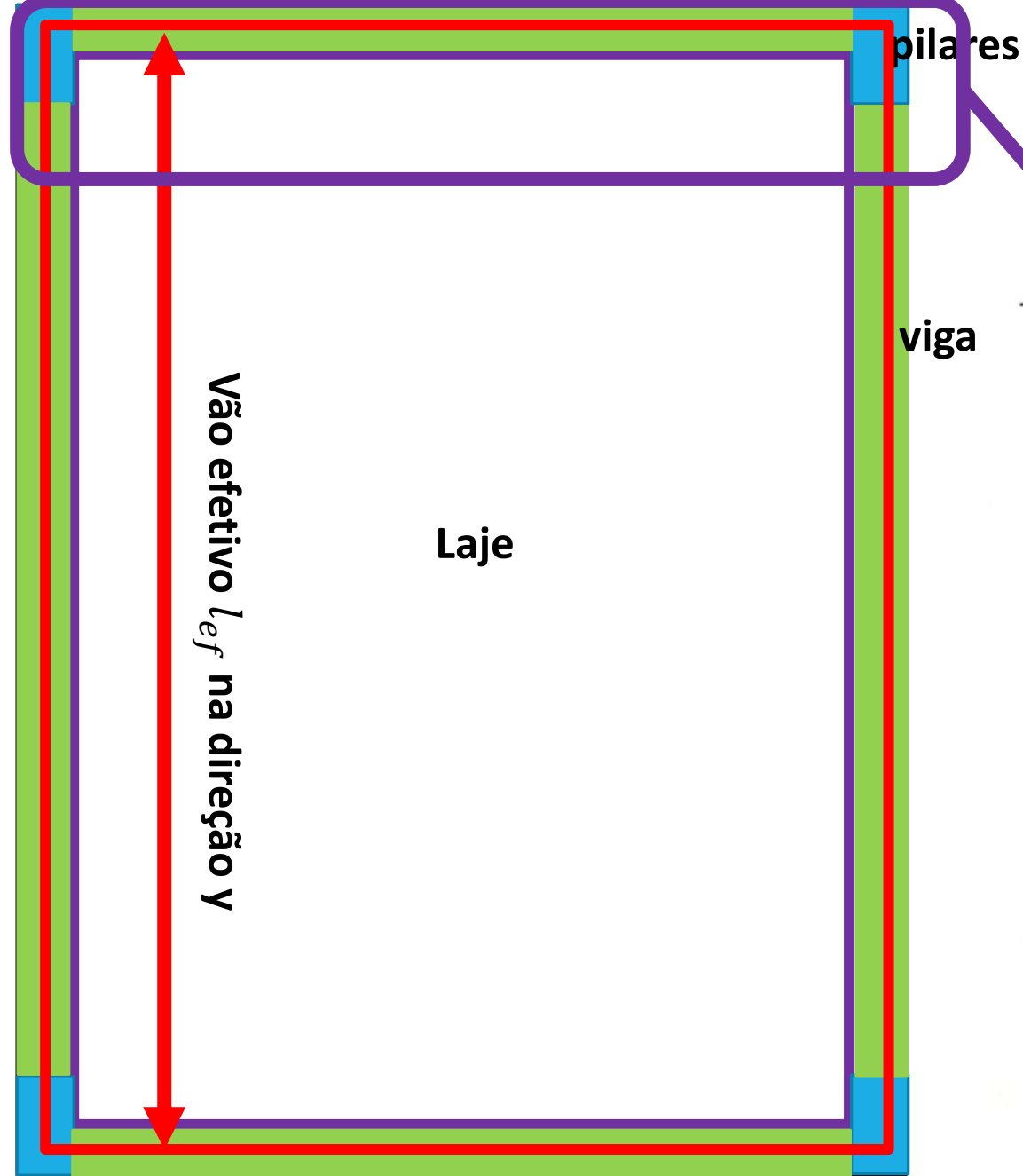


viga



a) Apoio de vão extremo

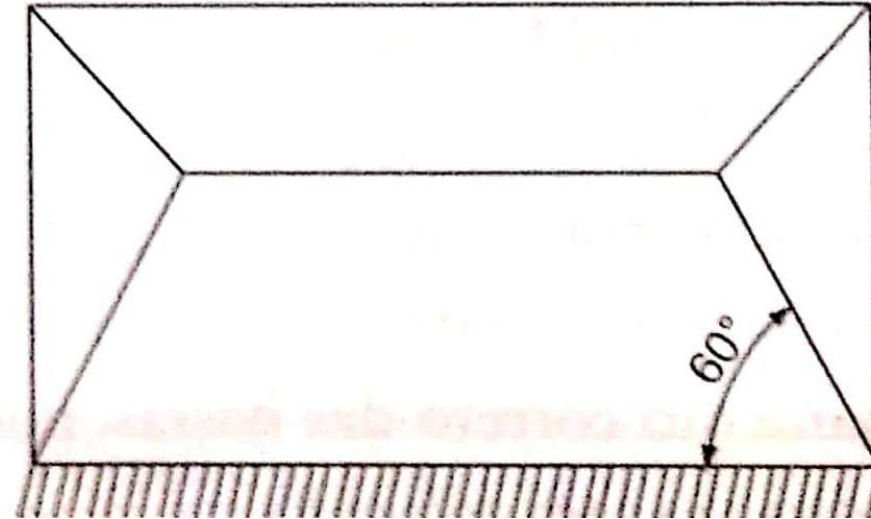
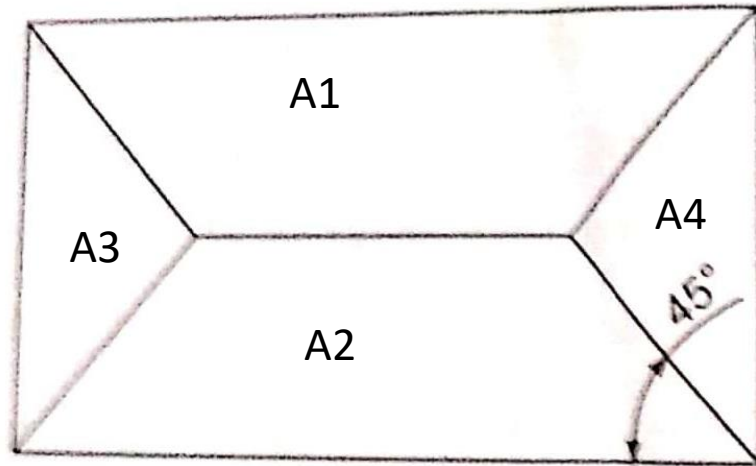
b) Apoio de vão interno



a) Apoio de vão extremo

b) Apoio de vão interno

Reações das lajes maciças nas vigas



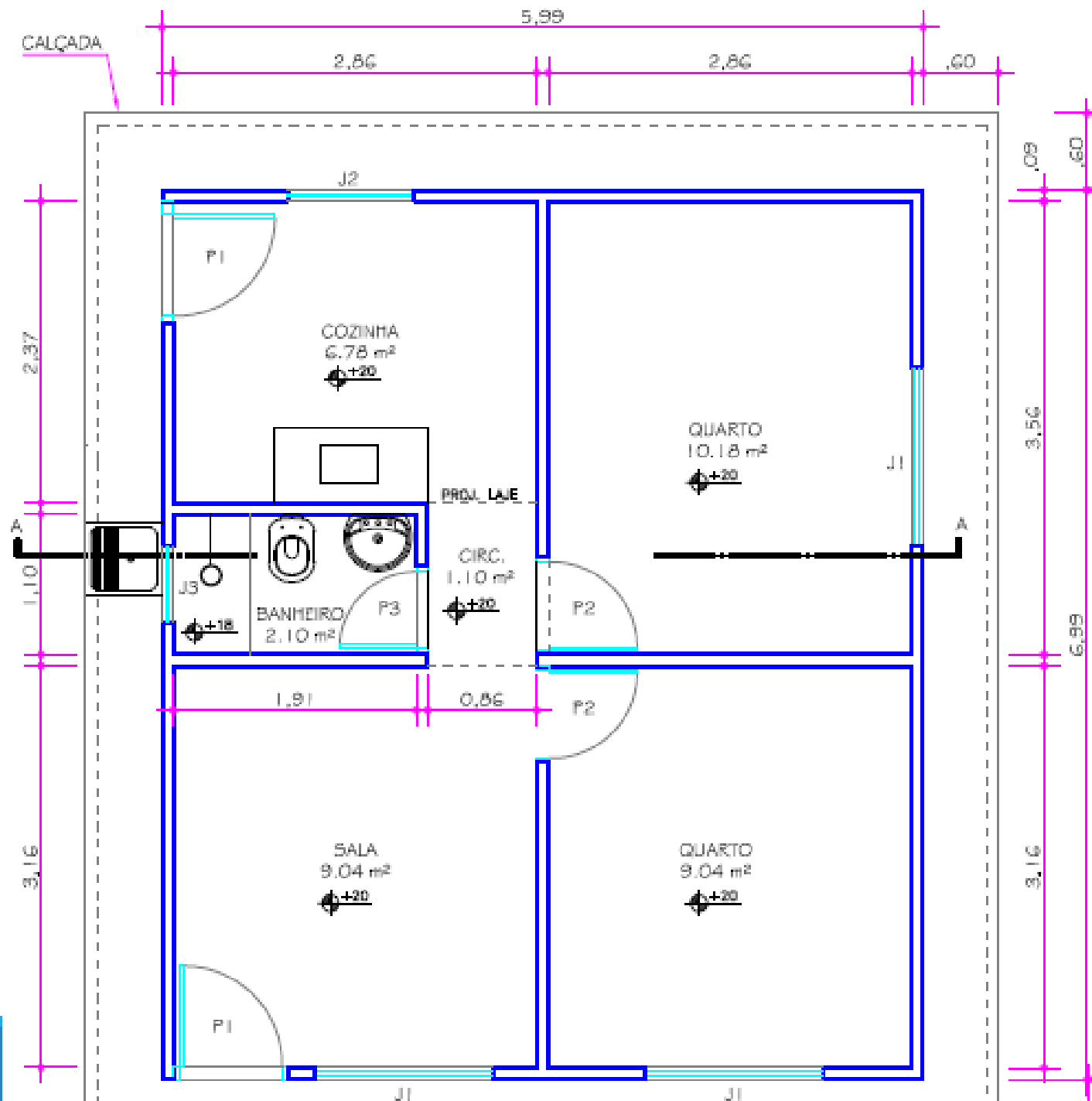
As charneiras são retas aproximadamente inclinadas aplicadas a:
 45° entre apoios iguais
 60° entre apoios engastado e outro simplesmente apoiado
 90° a partir do apoio quando a borda for livre

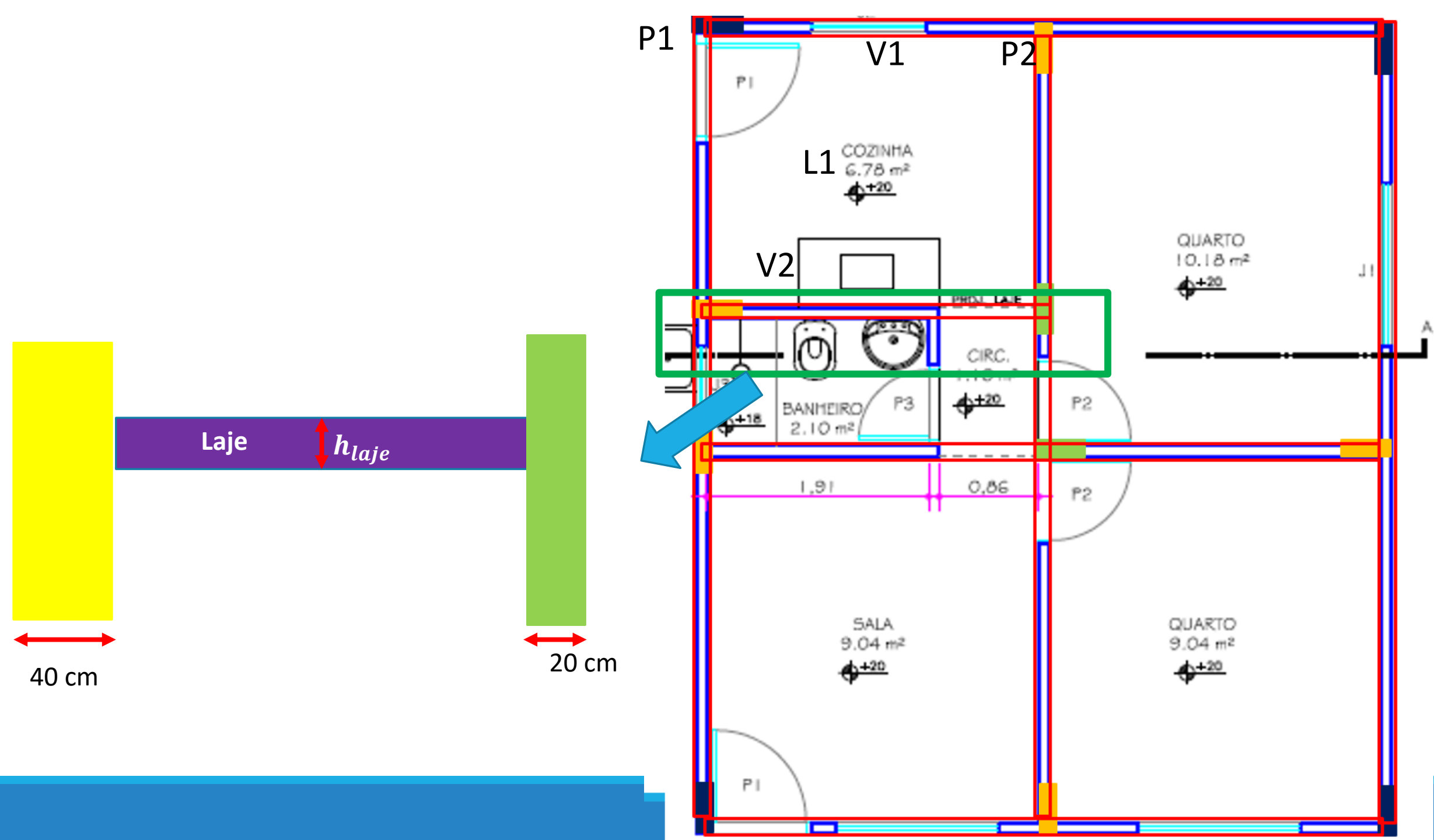


EXEMPLO

1. Da laje L3 determinar as dimensões da laje, adotando cobrimento de 3 cm, diâmetro da barra de 12,5 mm, dimensão dos pilares: P4 (40x20) cm² e P5 (20x40) cm². paredes esp=15cm

2. Determine as reações na viga V2, sabendo que $F_{d \text{ laje } 1} = 7,8$ kN/m² e $F_{d \text{ laje } 3} = 8,05$ kN/m²





RESOLUÇÃO

Altura útil da laje

$$l \leq \begin{cases} l_x = 1,10m \\ 0,7 * l_y = 0,7 * 2,86 = 2,02 m \end{cases} \rightarrow l = 1,10m$$

$$d \geq \frac{(2,5 - 0,1 * n) * l}{100}$$

$$d \geq \frac{(2,5 - (0,1 * 3)) * 1,10}{100}$$

$$d \geq 0,0217 \text{ m}$$

RESOLUÇÃO

Altura da laje

$$h_{laje} = d + \frac{\phi_{arm.long.}}{2} + c$$
$$h_{laje} = 2,17 + \frac{1,25}{2} + 3$$

$h_{laje} = 5,79 \text{ cm} \rightarrow$ adotar valor mínimo de norma 8cm (laje
Que não tem balanço e não é de cobertura

No entanto, a norma de desempenho NBR 15575 determina que lajes devem atender quesitos de isolamento acústico e térmico, para isso a menor espessura/altura de laje deve ser **10 cm**

Portanto, adotar laje com $h_{laje} = 10 \text{ cm}$



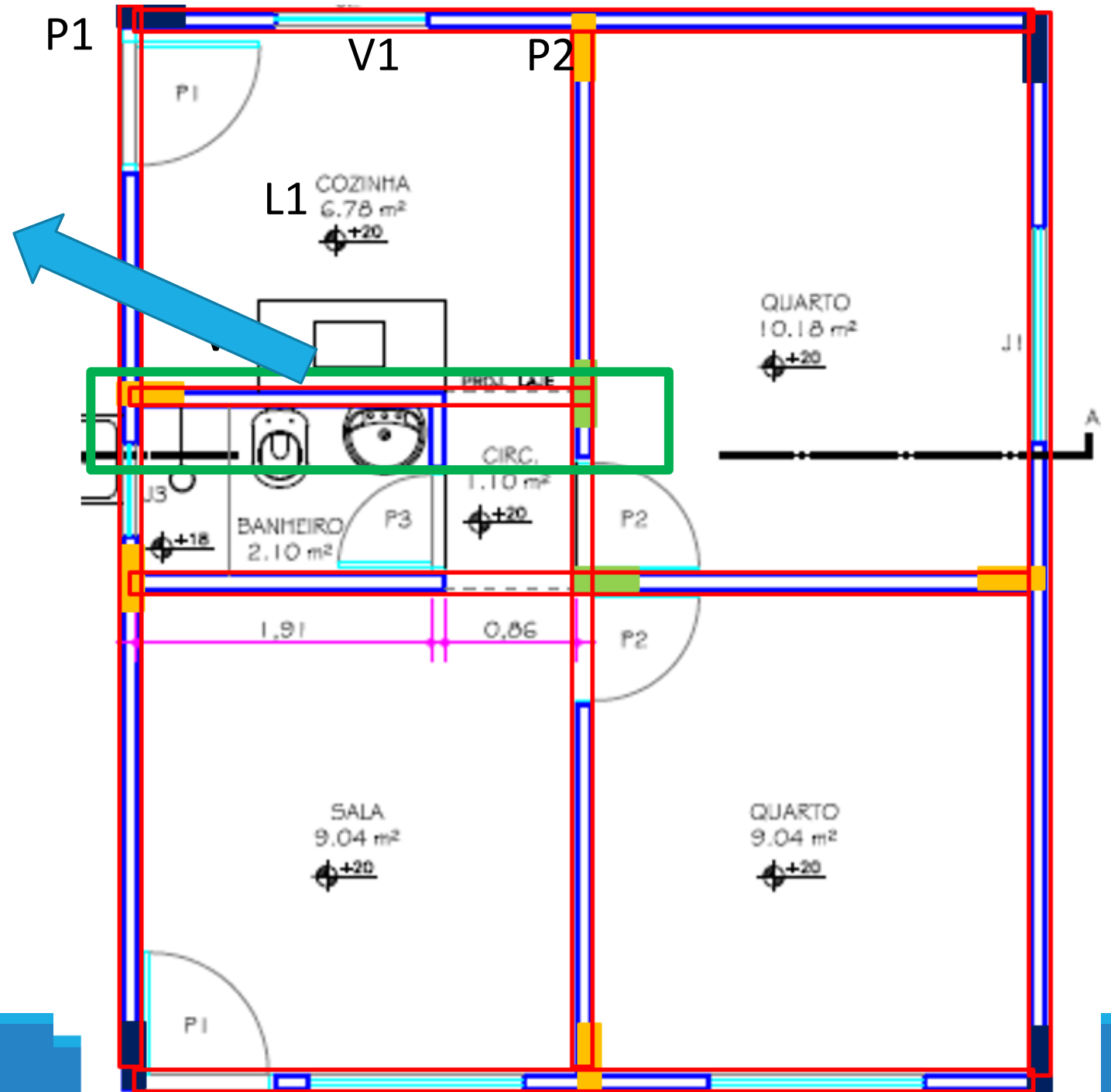
RESOLUÇÃO

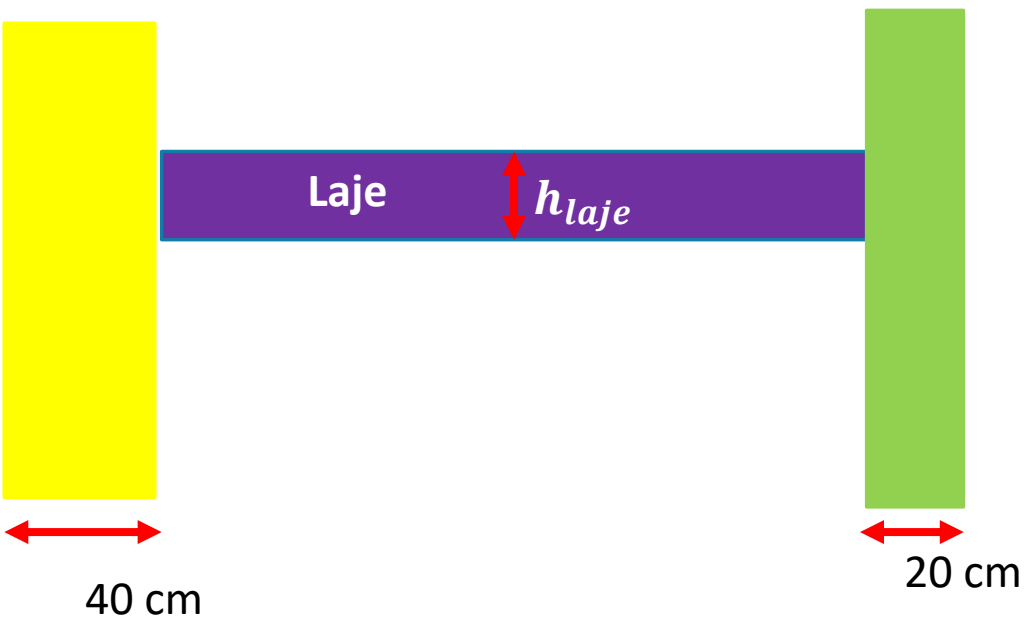
Vão efetivo da laje na direção x
Na região de v2

$t1/2=40/2=20\text{ cm}$

$0,3 \cdot h=0,3 \cdot 10= 3,0\text{ cm}$

$a1= 3\text{ cm}$





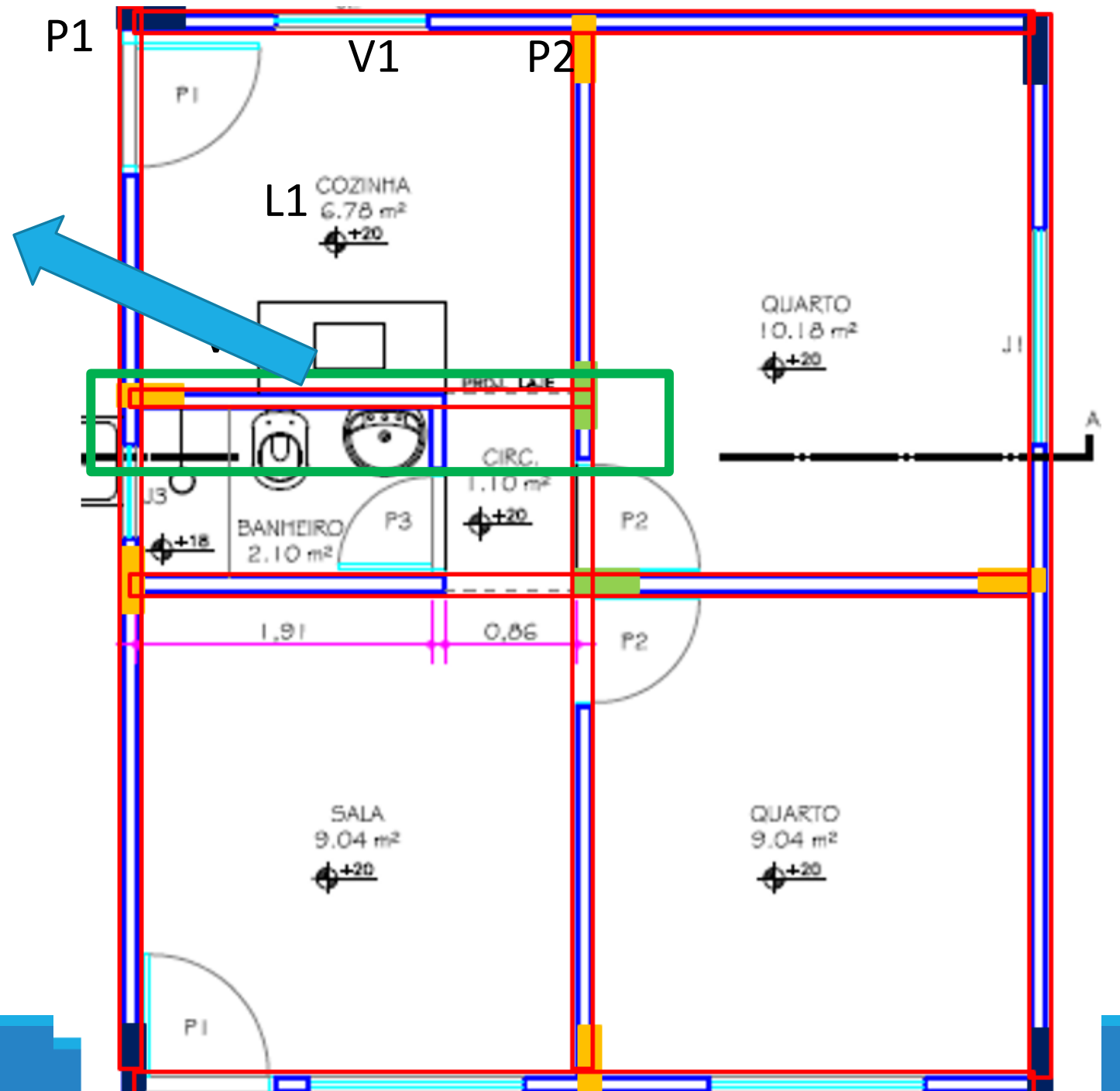
RESOLUÇÃO

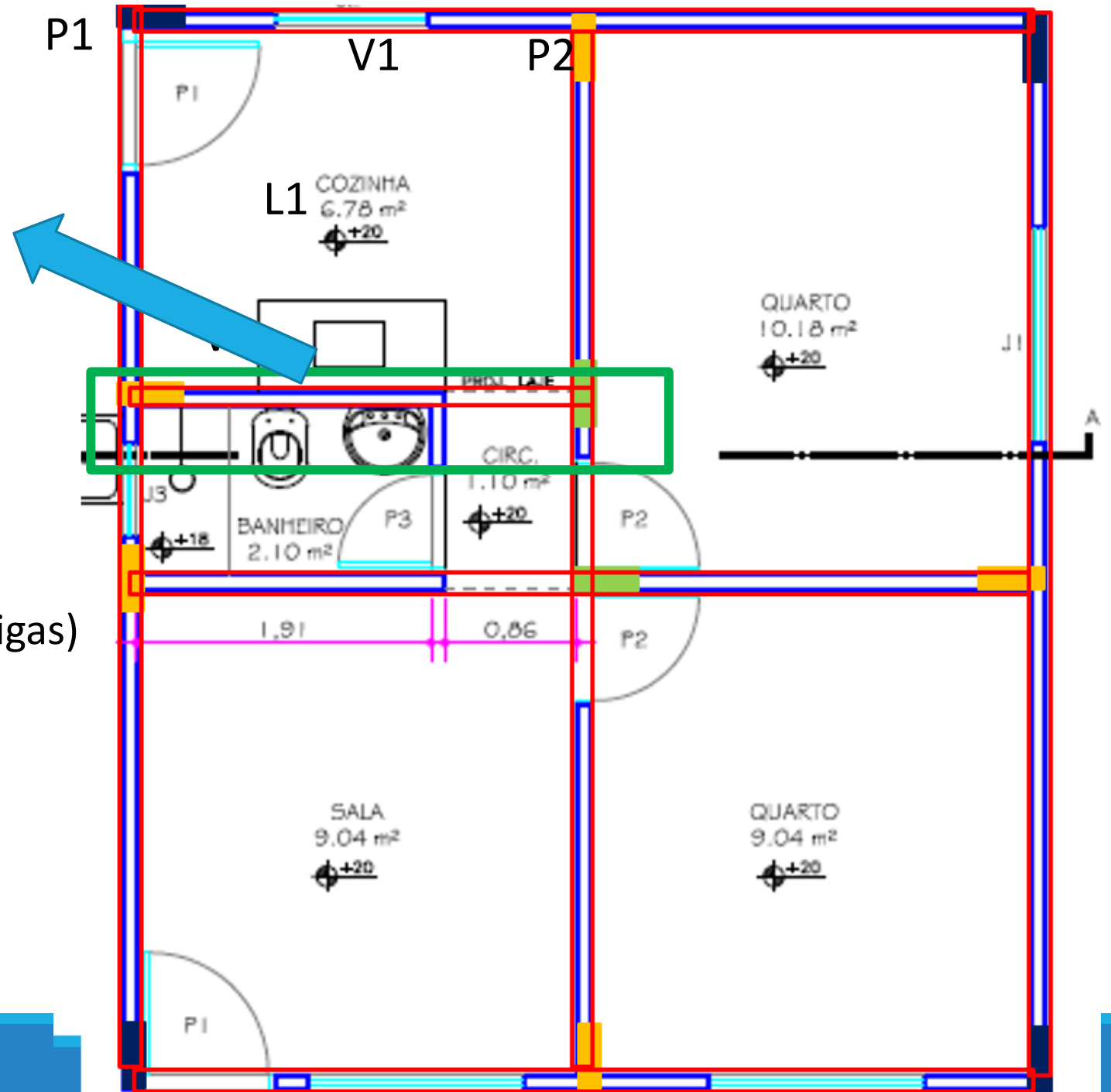
Vão efetivo da laje na direção x
Na região de v2

$$t_2/2 = 20/2 = 10 \text{ cm}$$

$$0,3 * h = 0,3 * 10 = 3,0 \text{ cm}$$

$$a_1 = 3 \text{ cm}$$





RESOLUÇÃO

conforme planta:
 Comprimento 2,86 m (sem considerar as vigas)
 Largura 1,10 m

Vão efetivo da laje na direção x
Na região de v2

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2$$

$$l_{ef} = 286 + 3 + 3$$

$$l_{ef} = 292 \text{ cm}$$

Pré-dimensionamento

VIGAS

Vigas biapoiadas: $h = 10\%$ do vão

Vigas em balanço: $h = 20\%$ do vão

Para qualquer caso, $b_w \geq (1/4) h$ ou $b \geq 12\text{cm}$ ou $b \geq 15\text{cm}$



EXEMPLO

Pre dimensione a viga V2

RESOLUÇÃO

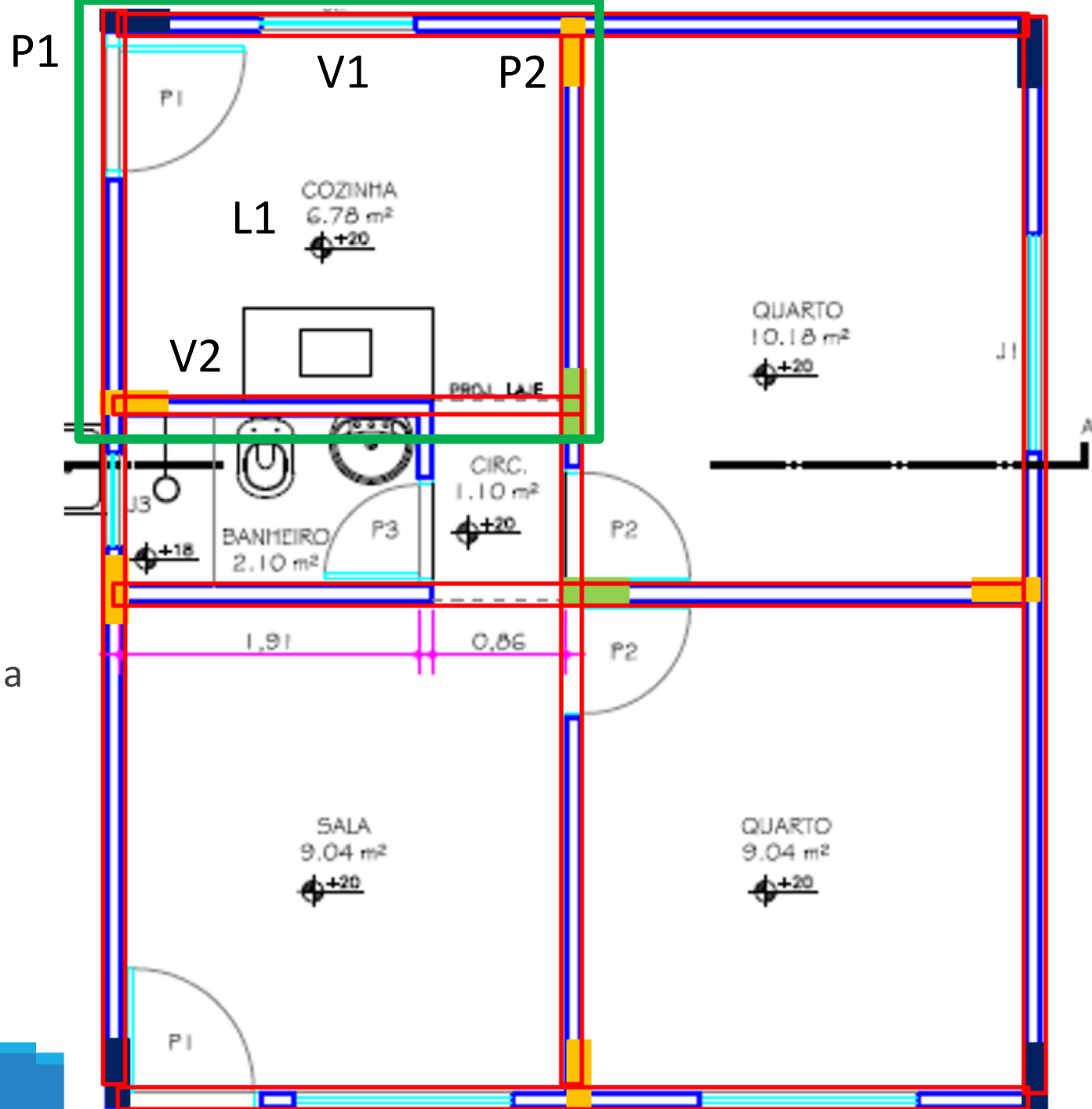
A viga V2 tem vão de 286 cm e está biapoiada

$$\rightarrow h = 0,1 * 286$$

$$h = 28,6 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Para bw será adotada a espessura da parede

$$bw = 15 \text{ cm}$$



Pré-dimensionamento de pilares

São pré-dimensionados a partir das áreas de contribuição das lajes em torno, aplicando-se fatores de segurança e utilizando o f_{ck} do concreto

$$\sigma = \frac{F}{A_{pilar}}$$

Pilares intermediários

$$A_{pilar} = \frac{N_{sd}}{0,4 + 0,5 * f_{ck}}$$

Pilares de extremidade e de canto

$$A_{pilar} = \frac{1,5 * N_{sd}}{0,4 + 0,5 * f_{ck}}$$

Pré-dimensionamento

PILARES

Menor dimensão: $(1/10)h$ do pilar ou 14 cm

Menor área de seção transversal = 360 cm^2

Diâmetro mínimo para pilares circulares = 25 cm

Pilar cantoneira: $B \geq 12 \text{ cm}$ e $L \leq 15 B$ (L é a soma dos comprimentos das duas abas)

Pilar parede: $B \geq 12 \text{ cm}$ e $L \leq 60 \text{ cm}$

EXEMPLO

Pré-dimensione o pilar P2 que está sujeito a uma carga de projeto de 500 kN, considerando CAA II

RESOLUÇÃO

Classe de **Agressividade Ambiental II**

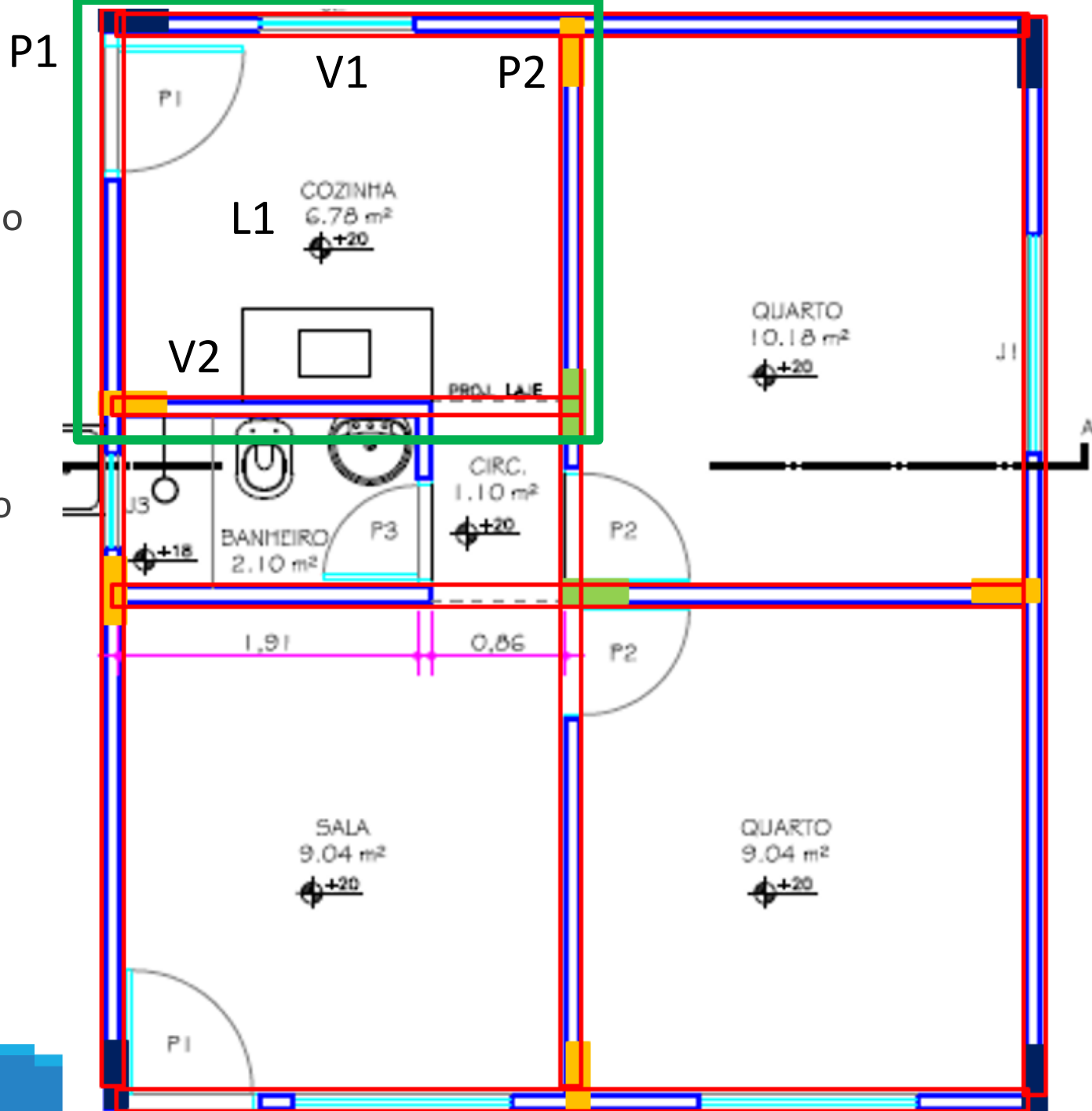
Pela NBR 6118:2014, para CAA II → o concreto deve ter f_{ck} mínimo de 25 MPa

O pilar P2 é de extremidade

$$A_{pilar} = \frac{1,5 * N_{sd}}{0,4 + 0,5 * f_{ck}}$$

$$A_{pilar} = \frac{1,5 * 500}{0,4 + 0,5 * \left(\frac{25}{10}\right)}$$

$$A_{pilar} = 454,55 \text{ cm}^2$$



RESOLUÇÃO

$$A_{\text{ pilar }} = 454,55 \text{ cm}^2$$

Adotar menor dimensão do pilar igual a espessura da parede, que é de 15 cm

$$A_{\text{ pilar }} = hx * hy$$

$$\rightarrow \frac{A_{\text{ pilar }}}{hx} = hy$$

$$hy = \frac{454,55}{15}$$

$$hy = 30,31 \text{ cm}$$

Adotar $hy=35 \text{ cm}$

Seção de P2: 15 x 35 cm

