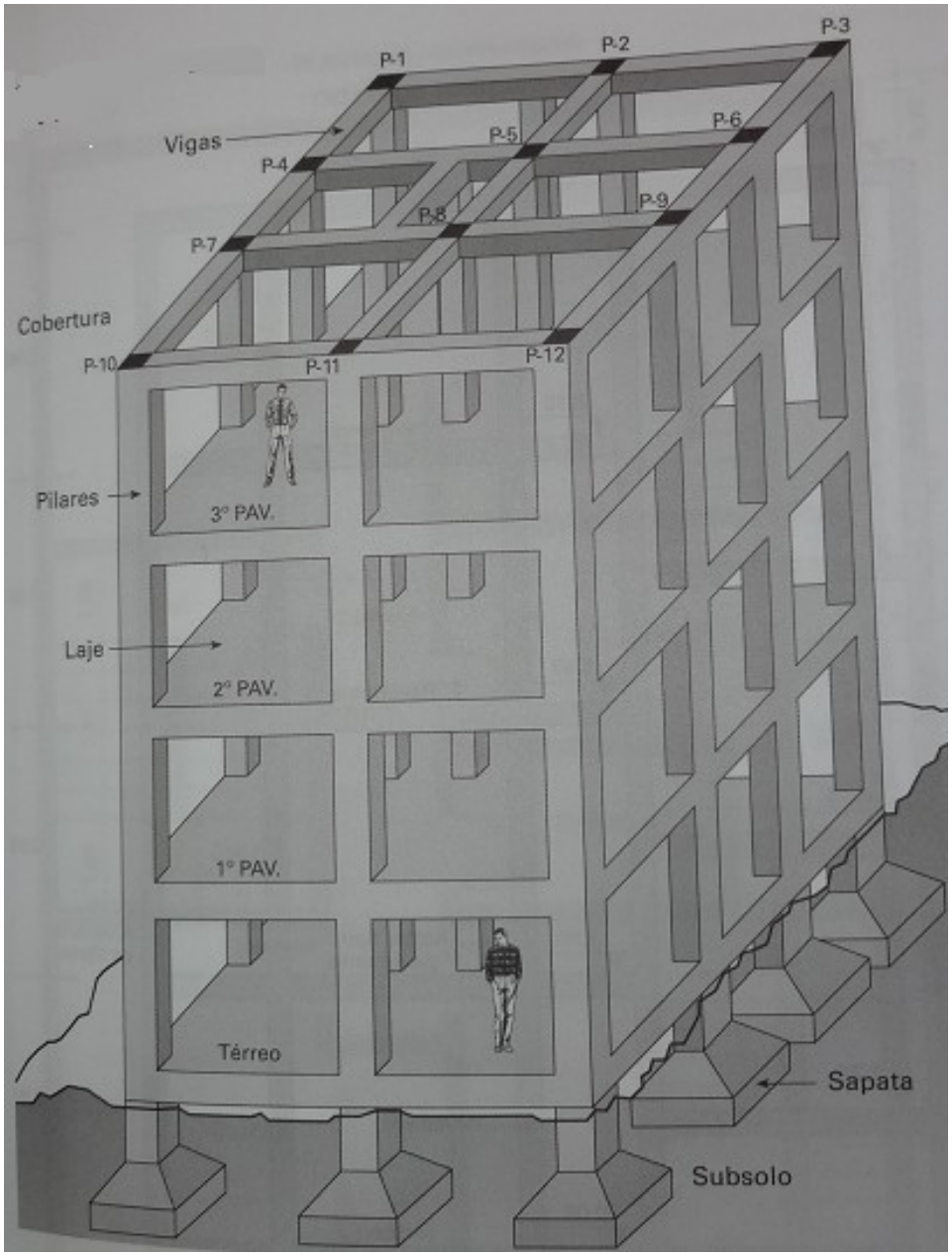
AULA 3

- Flexão Normal Simples (vigas)

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

pitágoras

Disciplina: Estruturas de Concreto Armado I



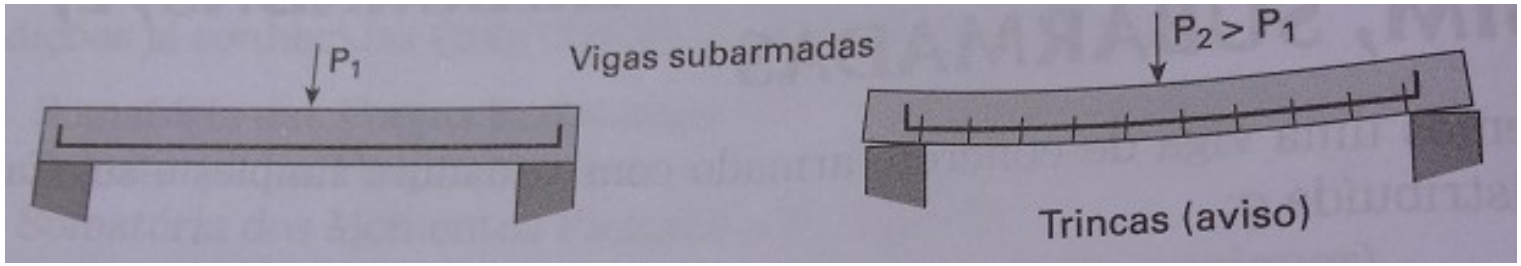
Dimensionamento de uma Estrutura de Concreto Armado

Dimensionar uma estrutura de concreto armado é dimensionar a seção de concreto (formas) e de aço (armadura) tal que:

- a estrutura não entre em colapso (estado-limite último);
- seja econômica (estado-limite do bolso do proprietário);
- suas eventuais fissuras não sejam objetáveis (estado-limite de serviço);
- suas flechas não sejam objetáveis (estado-limite de serviço);
- apresente boa proteção à armadura, impedindo sua corrosão, que poderia a longo prazo, levar à ruína a peça (cobrimento);
- se a estrutura for deficiente, seja por causa própria, seja por excesso de carga, ela dê sinais visíveis ao usuário, antes de se alcançar sua ruína (condição de aviso);

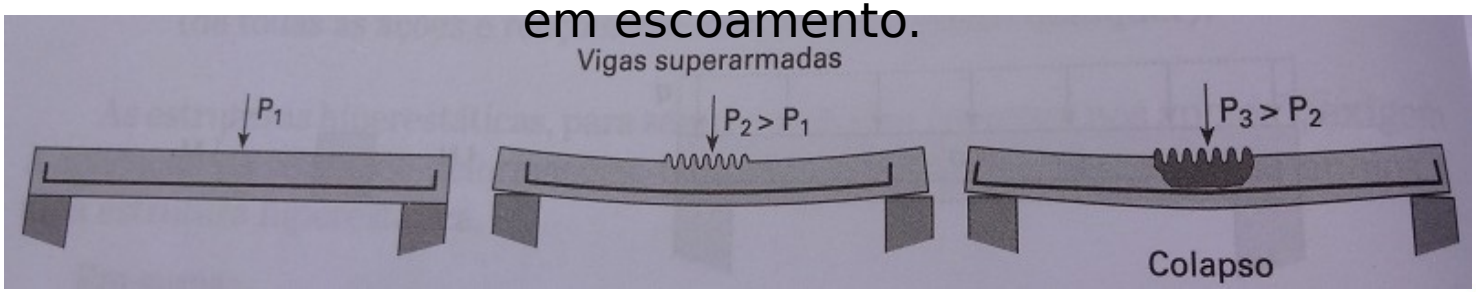
São projetadas vigas subarmadas e não superarmadas!!!

Viga subarmada é aquela cuja seção de concreto comprimido



O aço entra em escoamento antes do concreto atingir o encurtamento máximo.

Viga superarmada é aquela em cuja seção o aço é abundante em relação ao concreto comprimido.
O concreto atinge o encurtamento máximo antes do aço entrar em escoamento.



pitágoras

COBRIMENTO DAS ARMADURAS (NBR 6118)

Classe de Agressividade Ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana[1), 2)]	Pequeno
III	Forte	Marinha[1)]	Grande
		Industrial[1), 2)]	
IV	Muito forte	Industrial [1), 3)]	Elevado
		Respingos de maré	

[1)] Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

[2)] Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

[3)] Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

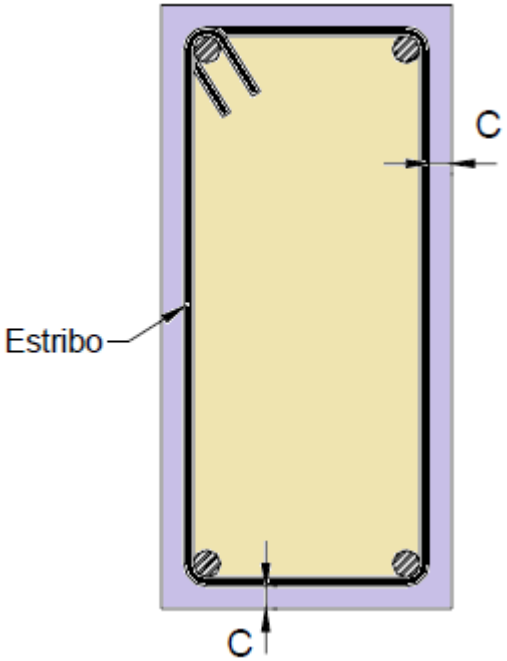
COBRIMENTO DAS ARMADURAS (NBR 6118)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50

c_{nom} - Cobrimento nominal (cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução)

Para determinação da espessura do cobrimento é necessário antes definir a classe de agressividade ambiental a qual a estrutura estará inserida (tabela).

Exemplo: o cobrimento das vigas e pilares de uma estrutura inserida num ambiente urbano (classe de agressividade II) é igual a 30 mm. A norma permite admitir um nível de agressividade mais branda nos casos das estruturas situadas nas condições citadas nas notas 1 e 2 do slide anterior. Assim, o cobrimento para as

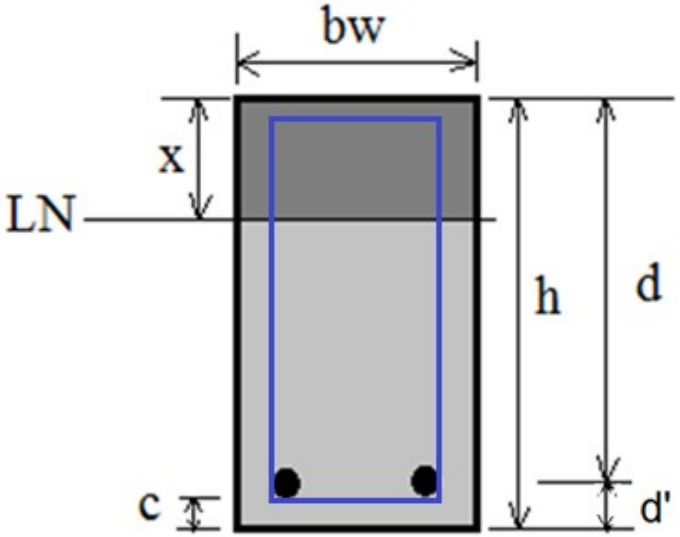


DIMENSIONAMENTO DE VIGAS

SIMPLESMENTE ARMADAS

À FLEXÃO

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO



bw – largura da viga
h – altura da viga
c – cobrimento
d’ – distância da face da viga ao centro de gravidade (C.G.) da armadura próxima a essa face
d – altura útil da viga d = h – d’

- normalmente, quando se tem apenas uma camada de aço, utiliza-se d’ = 4 cm para as vigas em ambientes urbanos 3cm de cobrimento + estribo de 5.0 mm + metade do diâmetro de barra de 10 mm)

x – distância da linha neutra (LN) à face superior da viga

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

Passos para dimensionamento de vigas **simplesmente armadas** à flexão simples:

- Calcular o coeficiente k6

Importantíssimo: unidades de bw e d em **metros** e do momento M em **kN.m**

$$k6 = \frac{bw \cdot d^2}{M} \cdot 10^5$$

- Utilizando o valor de k6, conforme o valor do fck do concreto, em MPa, por meio da Tabela T-13 e do aço a ser utilizado, encontrar o coeficiente k3

$$As = \frac{k3 \cdot M}{10 \cdot d}$$

- Definir o número de barras de aço que atendam o valor calculado para As. Para isso consultar a Tabela T-2 (Tabela-Mãe para Aços)

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

NO CÁLCULO DO K_6, MUITA ATENÇÃO A:

- Observar o fck a ser utilizado (lembre-se que para transformar kgf/cm² em MPa devemos **DIVIDIR** o valor **por 10**);
- Os valores de b e d deverão estar **em m**;
- Inicialmente, o valor de d será igual a **h – 4** pois d" para uma camada de ferragem é igual a 4 cm;
- O momento M deve estar em **kN.m**, então:
  - Caso o momento dado tenha unidade **kgf.m**, para transformá-lo em kN.m devemos **DIVIDIR** o valor **por 100**;
  - Caso o momento dado tenha unidade **tf.m**, para transformá-lo em kN.m devemos **MULTIPLICAR** o valor **por 10**.

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

Exemplo 1) Calcular a armadura para uma viga de seção 15 x 40 e momento fletor de 4.000 kgf.m, utilizando fck = 200 kgf/cm² e aço CA 50B.

$$bw = 15\ cm = 0{,}15\ m$$

$$d = h - d' = 40 - 4 = 36\ cm = 0{,}36\ m$$

$$M = 4.000\ kgf.m = 4\ tf.m = 40\ kN.m$$

$$k6 = \frac{0{,}15\ .\ 0{,}36^{2}}{40}\ .\ 10^{5} = 48{,}6$$

Para fck = 200 kgf/cm² = 20 MPa e k6 = 48,6 na Tabela T-13 para aço CA 50B, tem-se: **k3 = 0,374**.

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

$$As = \frac{k3 \cdot M}{10 \cdot d} = \frac{0{,}374 \cdot 40}{10 \cdot 0{,}36} = 4{,}16\ cm^2$$

$As = 4{,}16\ cm^2$ —

- 6 Φ 10.0 mm (4,8 cm²)
- ou
- 3 Φ 8.0 mm + 4 Φ 10.0 mm (4,7 cm²)
- ou
- 4 Φ 12.5 mm (5 cm²)

Observações:

1. A última escolha “foge” muito da armadura calculada;
2. Sempre que possível evitar muitas camadas de ferragem;
3. Sempre que fizermos mistura de duas barras de bitolas diferentes,
que seja feita entre barras de diâmetros “vizinhos”.

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

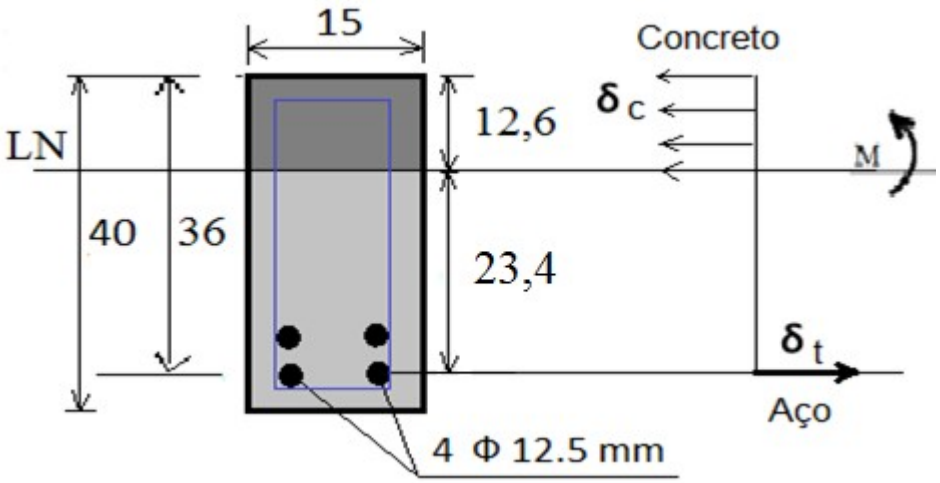
Não é necessário identificar onde está alinha neutra mas a tabela T-13 possibilita determinar essa posição.

Para fck = 20 MPa e k6 = 48,6 a Tabela T-13 apresenta:

$$\xi = 0{,}35$$

$$x = \xi . d = 0{,}35 \cdot 36 = 12{,}6 \text{ cm}$$

Assim, a solução completa para a viga, adotando-se 4 Φ 12.5 mm é:



A linha neutra (LN) está sempre mais próxima da borda superior do que da inferior devido a presença de um material estranho (aço) numa seção de concreto.

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

Exemplo 2) Calcular a armadura para uma viga de seção 20 x 53 submetida a um momento fletor de 10.500 kgf.m, utilizando fck = 250 kgf/cm² e aço CA 50A.

$$bw = 20\,cm = 0{,}20\,m$$

$$d = h - d' = 53 - 4 = 49\,cm = 0{,}49\,m$$

$$M = 10.500\,kgf.m = 105\,kN.m$$

$$k6 = \frac{0{,}20 \cdot 0{,}49^{2}}{105} \cdot 10^{5} = 45{,}73$$

Para fck = 250 kgf/cm² = 25 MPa e k6 = 45,73 na Tabela T-13 para aço CA 50A, tem-se: **k3 = 0,364**.

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

$$As = \frac{k3 \cdot M}{10 \cdot d} = \frac{0{,}364 \cdot 105}{10 \cdot 0{,}49} = 7{,}80\ cm^2$$

$As = 7{,}80 cm^2$

- 4 Φ 16.0 mm (8 cm²)
- ou
- 2 Φ 20.0 mm + 1 Φ 16.0 mm (8,30 cm²)
- ou
- 3 Φ 16.0 mm + 2 Φ 12.5 mm (8,50 cm²)

Para fck = 25 MPa e k6 = 45,73 a Tabela T-13 apresenta:

$$x = d \cdot 0{,}29 = 49 \cdot 0{,}29 = 14{,}21\ cm$$

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS SIMPLESMENTE ARMADAS À FLEXÃO

Faça questão de **evitar** as seguintes situações:

- x/d menores que 0,01 (valores muito pequenos) jogando concreto fora!!!
- x/d maiores que 0,50 (valores muito grandes) entrando na zona perigosa de estruturas superarmadas!!!

ARMADURA MÍNIMA

E

ARMADURA DE PELE

ARMADURA MÍNIMA

Quando a seção da viga é solicitada com momentos pequenos (k6 superiores ao máximo estabelecido na Tabela T-13, deve-se usar **armadura mínima**.

A NBR 6118 apresenta a tabela 2 abaixo que estabelece a taxa mínima de armadura de flexão para vigas, considerando a utilização de aço CA50
e de acordo com o fck do concreto.

Ex: se fck = 25 MPa → As,min = 0,150 % Ac (para seção

Tabela 2 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas.

Forma da seção	Valores de $\rho_{mín}$ (%) $(A_{s,mín}/A_c)$ [1]							
	f_{ck} / $\omega_{mín}$	20	25	30	35	40	45	50
Retangular	0,035	0,150	0,150	0,173	0,201	0,230	0,259	0,288
T (mesa comprimida)	0,024	0,150	0,150	0,150	0,150	0,158	0,177	0,197
T (mesa tracionada)	0,031	0,150	0,150	0,153	0,178	0,204	0.229	0,255
Circular	0,070	0,230	0,288	0,345	0,403	0,460	0,518	0,575

(1) Os valores de $\rho_{mín}$ estabelecidos nesta tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, $\rho_{mín}$ deve ser recalculado com base no valor de $\omega_{mín}$ dado.
NOTA: Nas seções tipo T, a área da seção a ser considerada deve ser caracterizada pela alma acrescida da mesa colaborante.

ARMADURA DE PELE

Quando a viga tiver altura superior a 60 cm é necessário colocar reforço em toda a extensão da face lateral.

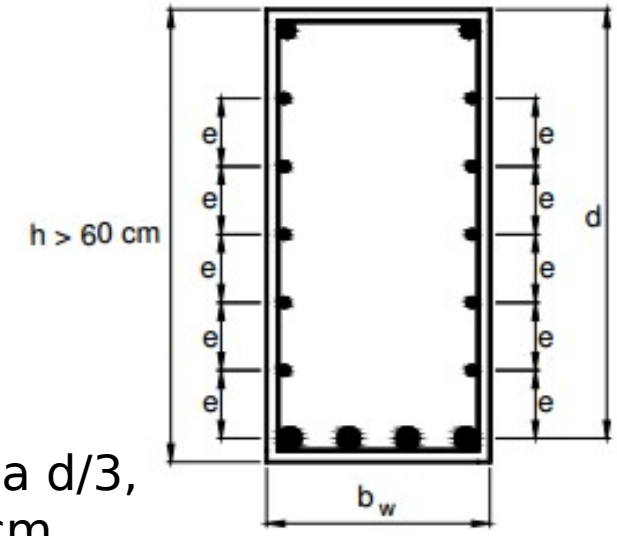
Assim, para vigas com seção muito alta (h > 60 cm)
 colocar **Armadura de Pele**

$$A_{pele} = 0{,}10\% \cdot A_{c\ alma} = 0{,}001 \cdot bw \cdot h$$ (em cada face da viga)

Unidades de bw e h cm

O espaçamento "e" (em cm) entre os ferros da Armadura de Pele deve ser:

$$e = \frac{d}{3} \leq 20\ cm$$



O espaçamento "e" deve ser igual a d/3, desde que menor ou igual a 20 cm.

Exemplo: a) Calcular a armadura necessária a uma viga de seção 20 x 74 submetida a um momento fletor de 15 tf.m, utilizando fck = 200 kgf/cm² e aço CA 50A.

b) Caso haja necessidade, calcular também a armadura de pele.

c) Detalhar ção transversal da

$$bw = 20\,cm = 0{,}20\,m$$

$$d = h - d' = 74 - 4 = 70\,cm = 0{,}70\,m$$

$$M = 15\,tf.m = 150\,kN.m$$

$$k6 = \frac{0{,}20 \cdot 0{,}70^2}{150} \cdot 10^5 = 65{,}3$$

Para fck = 200 kgf/cm² = 20 Mpa e k6 = 65,3 na Tabela T-13 para aço CA 50A, tem-se: **k3 = 0,358**.

$$As = \frac{k3 \cdot M}{10 \cdot d} = \frac{0{,}358 \cdot 150}{10 \cdot 0{,}70} = 7{,}67\,cm^2$$

4 Φ 16.0 mm

É necessário calcular a armadura de pele pois a viga tem altura

$$A_{pele} = 0{,}10\% \cdot A_{c\ alma} = 0{,}001 \cdot bw \cdot h = 0{,}001 \cdot 20 \cdot 74 = 1{,}48\ cm^2$$

(em cada face da viga)

o espaçamento "e" tem de ser no máximo 20 cm

Se a quantidade de barras da armadura de pele em cada face for:

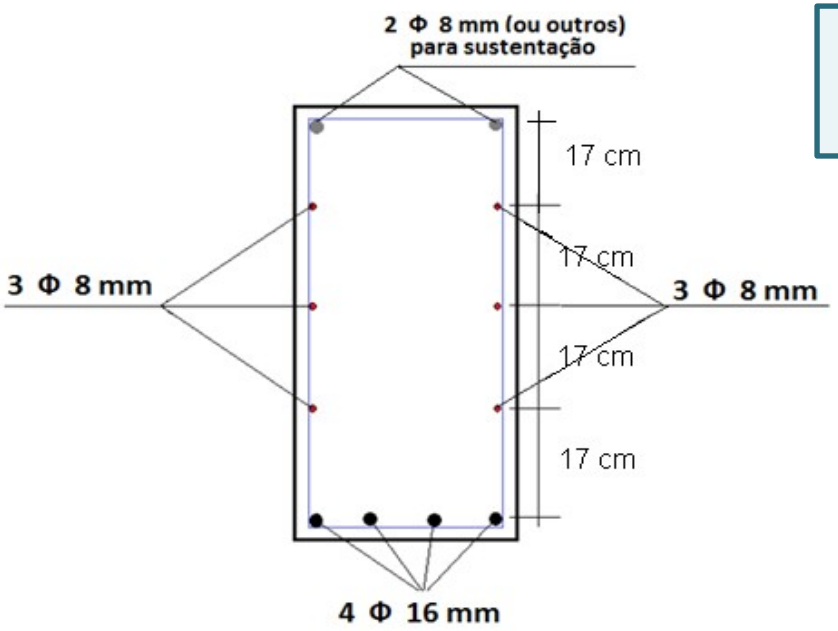
- 2 barras --> 3 espaçamentos $e = \frac{d}{3} = \frac{70}{3} = 23{,}3\ cm$ NÃO!
- 3 barras --> 4 espaçamentos $e = \frac{d}{4} = \frac{70}{4} = 17{,}5\ cm$ OK!

É a quantidade de barras utilizadas que define o **espaçamento "e"** que não pode ser maior que 20 cm.

$$e = \frac{d}{(\text{quant. de barras} + 1)}$$

A armadura de pele deverá ser escolhida por, no mínimo, 3 ferros (4 espaçamentos) pois senão o espaçamento "e" seria maior que 20 cm, o que não é permitido.

3 Φ 8 mm (1,5 cm²)





pitágoras