

Estrutura de concreto armado III

UNIDADE I – Estado limite último: torção

1.1 Torção uniforme

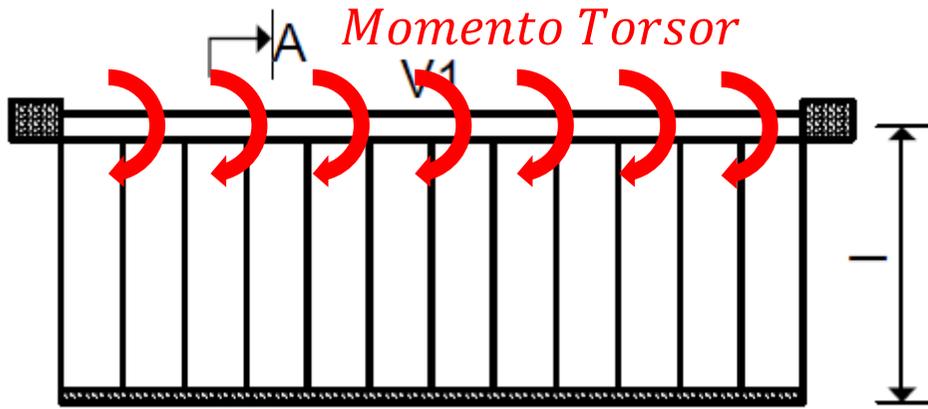
1.2 Solicitações combinadas: flexão e torção

1.3 Solicitações combinadas: torção e força cortante

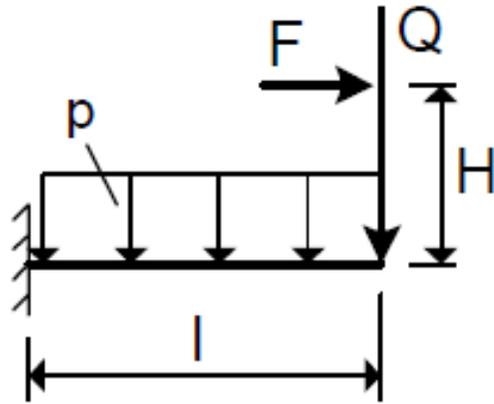
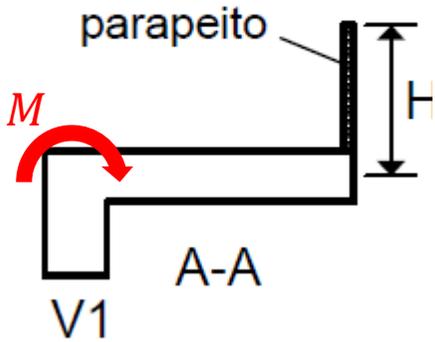
1.4 Detalhamento de vigas



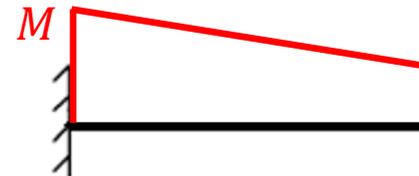
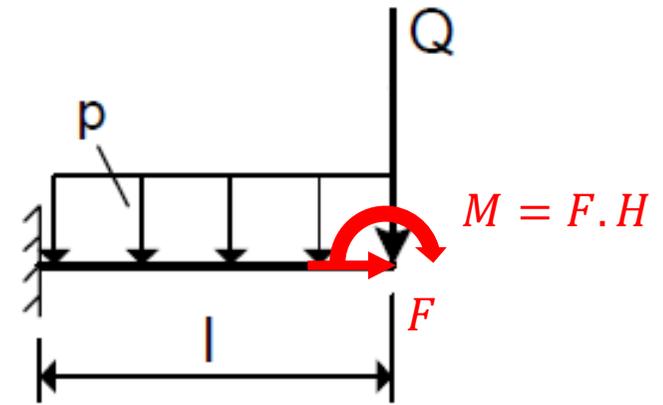
Exemplo: escada em balanço engastada em viga lateral



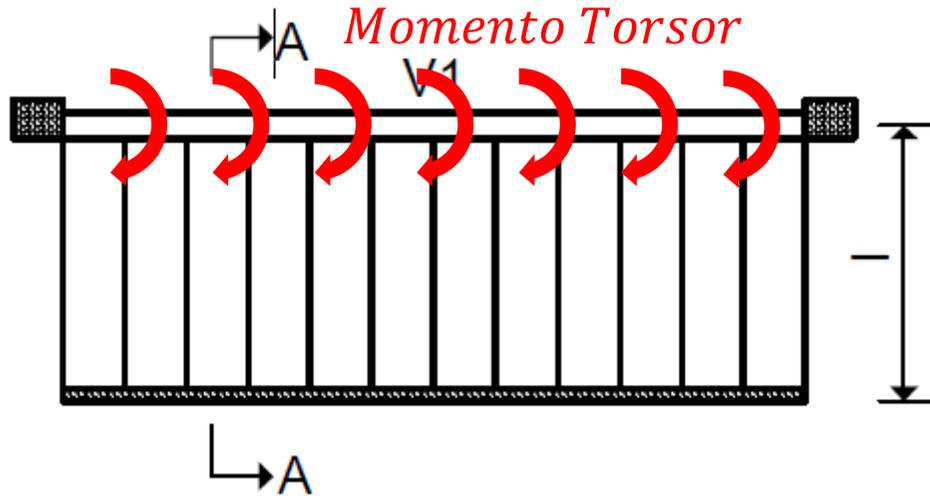
A



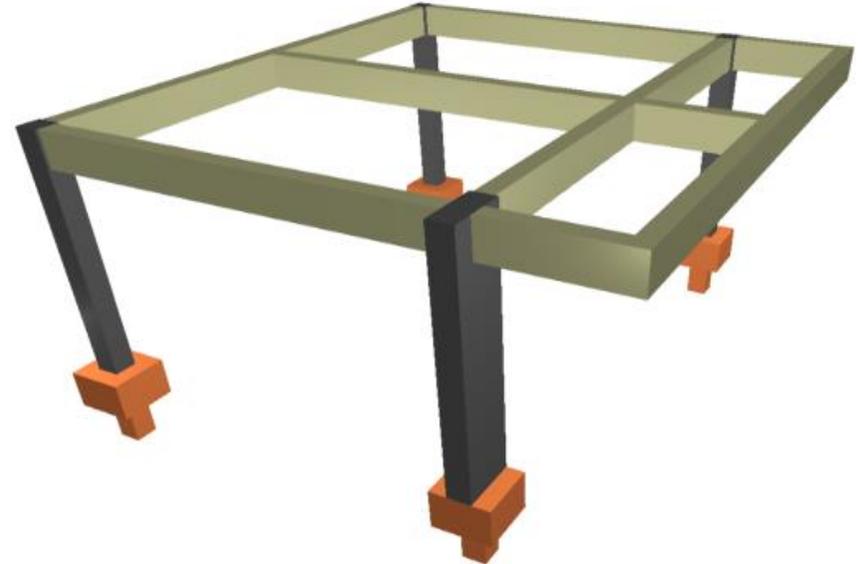
modelo de cálculo



- Escada:
 p : peso próprio + revestimento + acidental
- Parapeito:
 Q : peso próprio + acidental vertical (2 kN)
 F : acidental horizontal (0,8 kN)

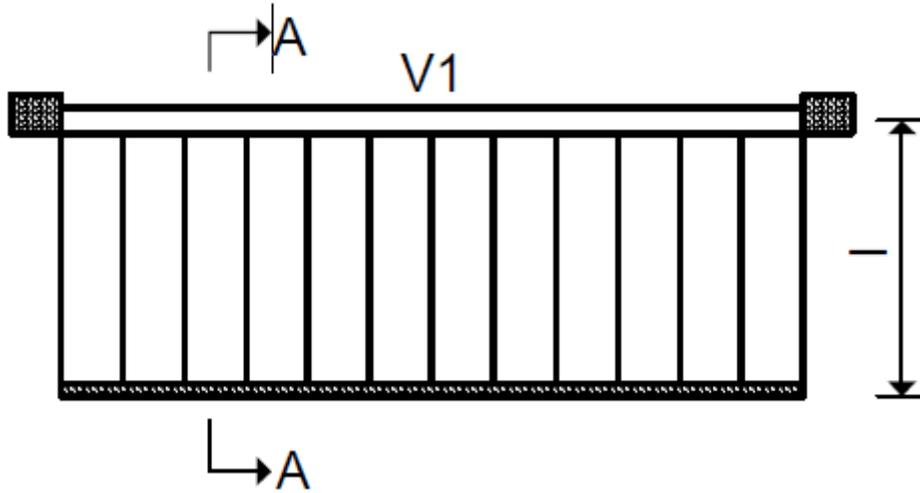


- Será que temos torção na grelha ao lado?

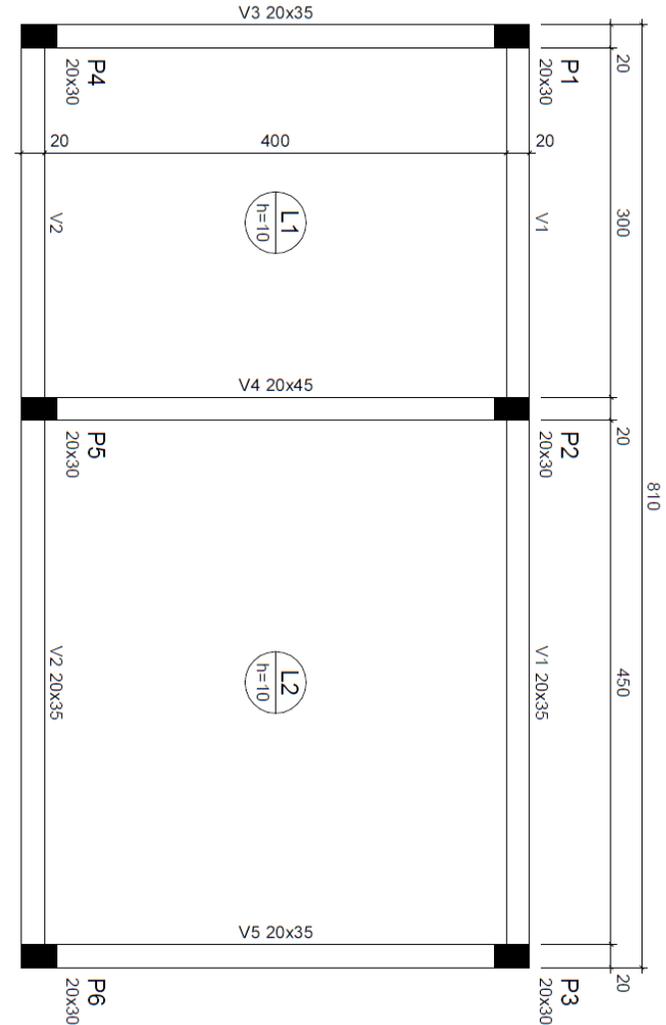


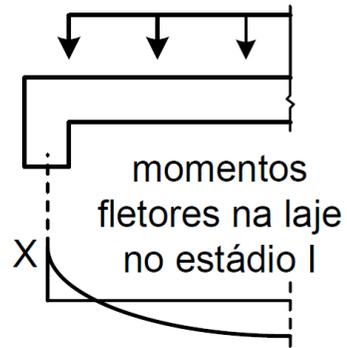
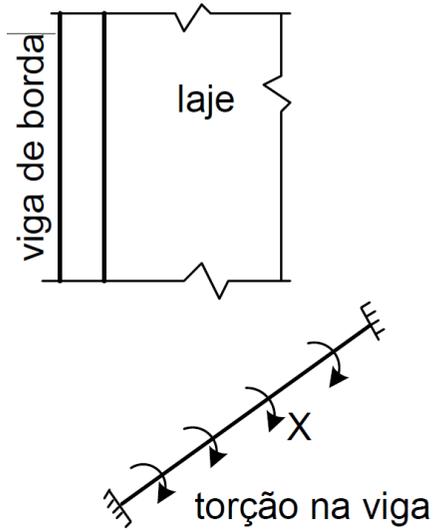


Tipos de torção



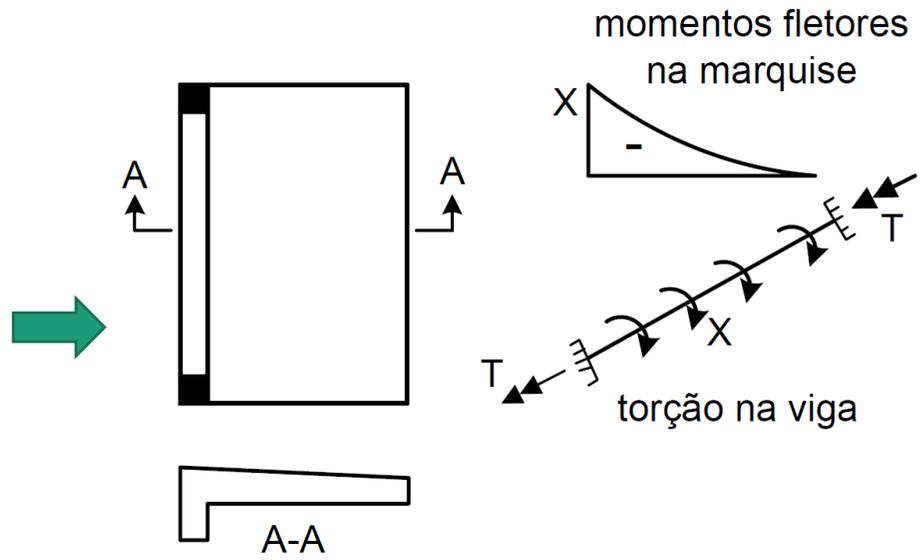
- Qual a principal diferença entre as lajes?

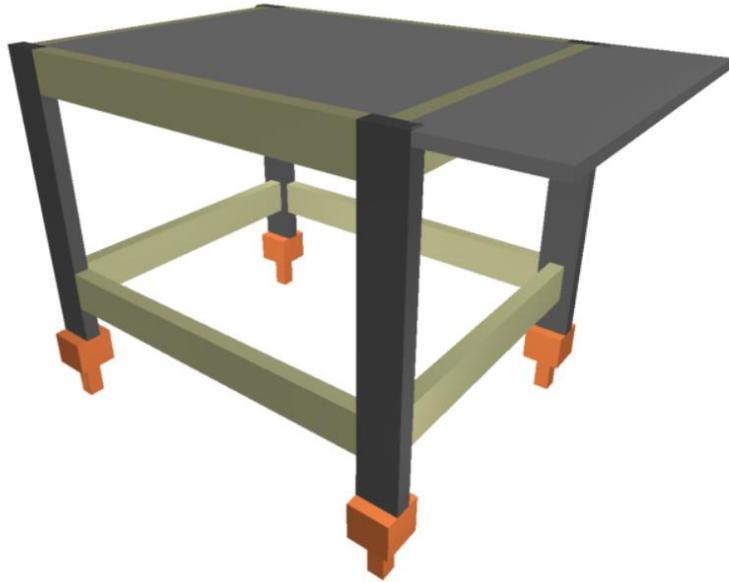




Torção de Compatibilidade

Torção de Equilíbrio



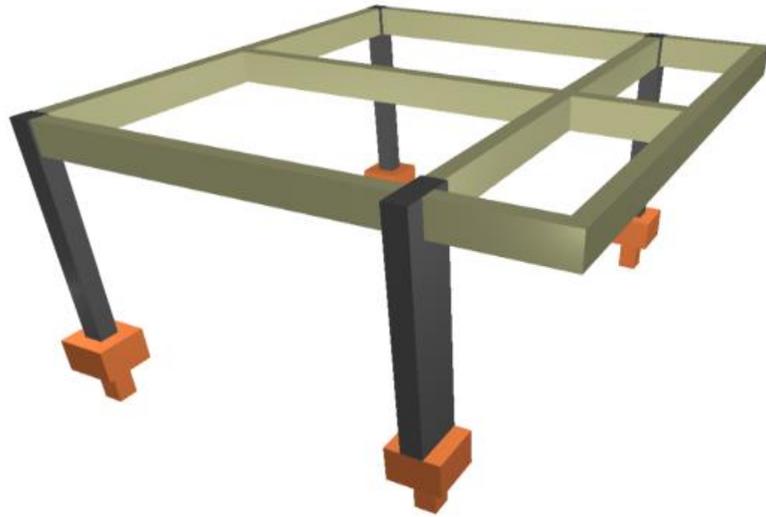


Torção de Equilíbrio



Torção de Compatibilidade

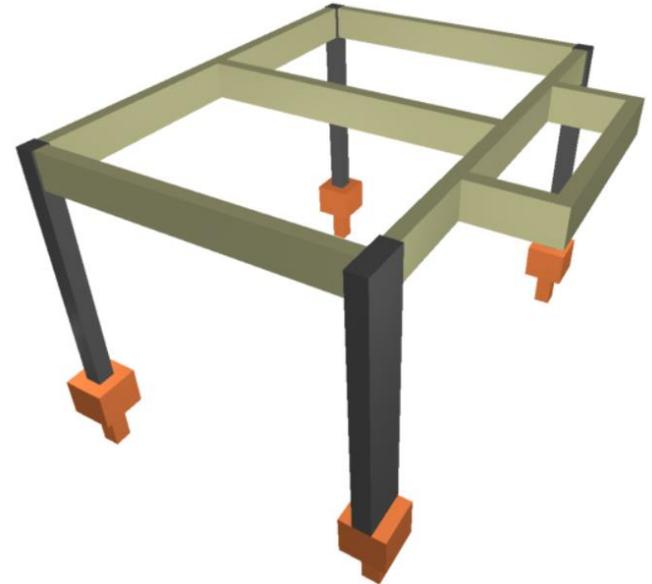




Torção de Equilíbrio

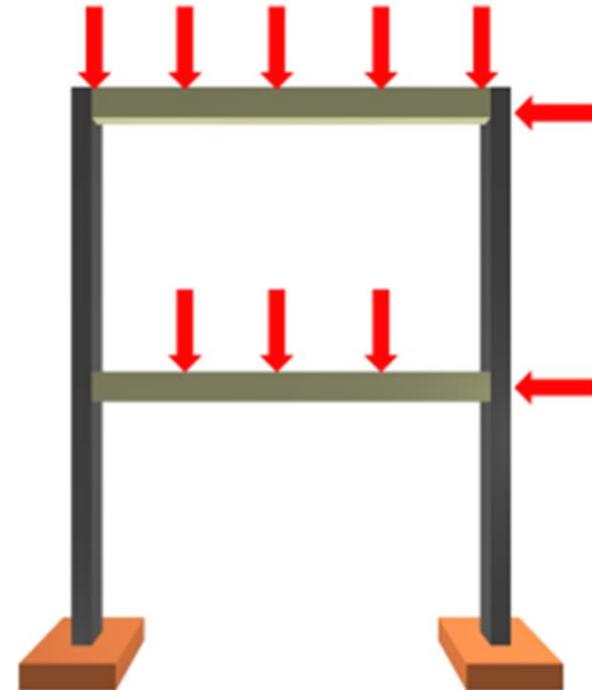
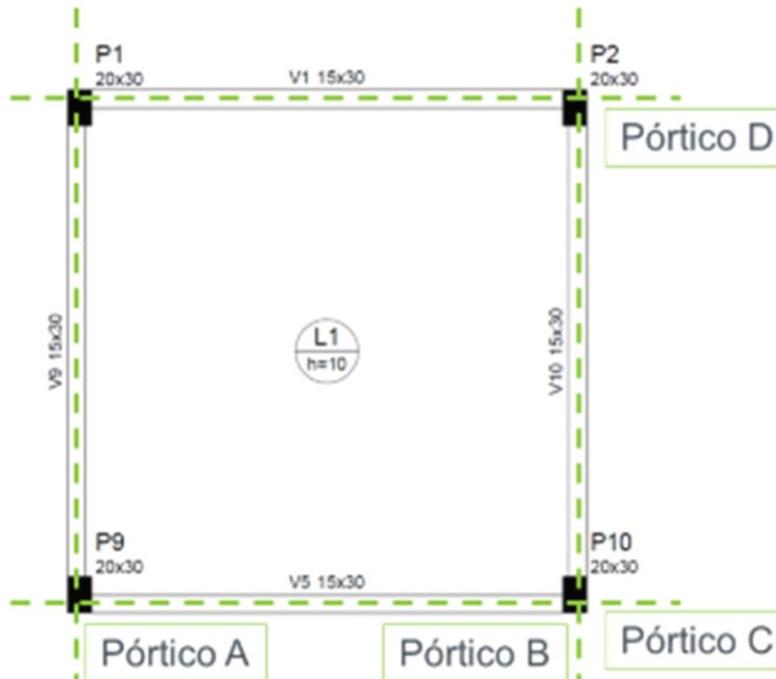


Torção de Compatibilidade





- 14.6.6.2 Grelhas e pórticos espaciais
 - Pórtico plano

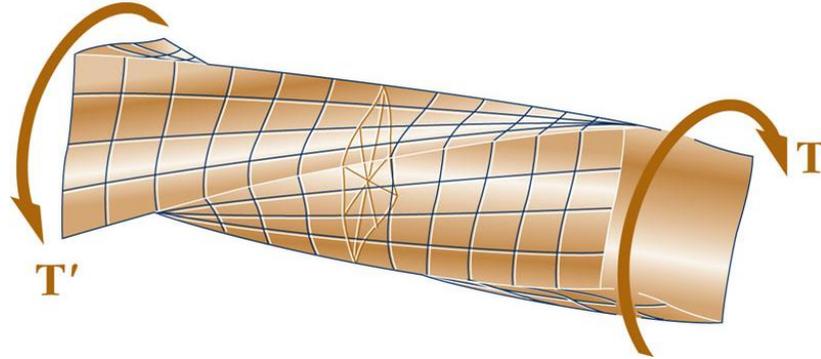




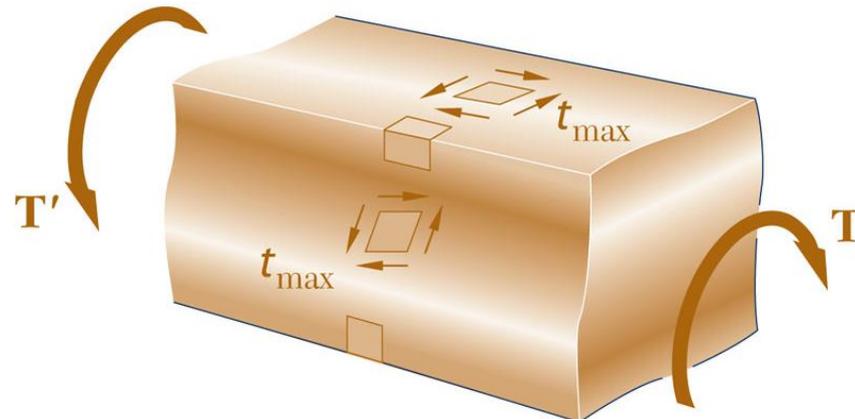
- Item 14.6.6.2 Grelhas e pórticos espaciais
 - De maneira aproximada, nas grelhas e nos pórticos espaciais, pode-se reduzir a rigidez à torção das vigas por fissuração, utilizando-se 15% da rigidez elástica
 - Modelos de grelha e pórticos espaciais, para verificação de estados-limites últimos, podem ser considerados com rigidez à torção das vigas nulas, de modo a eliminar a torção de compatibilidade da análise



Torção em elemento não circular

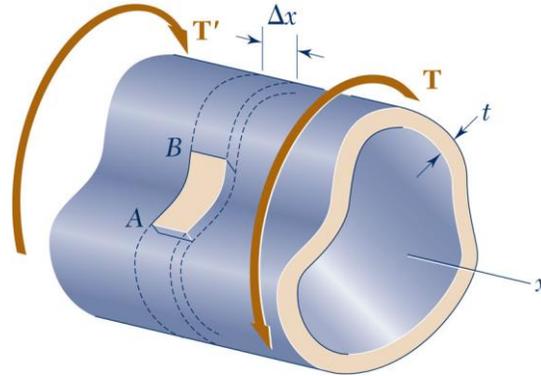


No caso de barras de seção transversal retangular, a tensão de cisalhamento não varia linearmente com a distância a partir do centro da barra. Nos cantos da seção transversal a tensão de cisalhamento é zero.



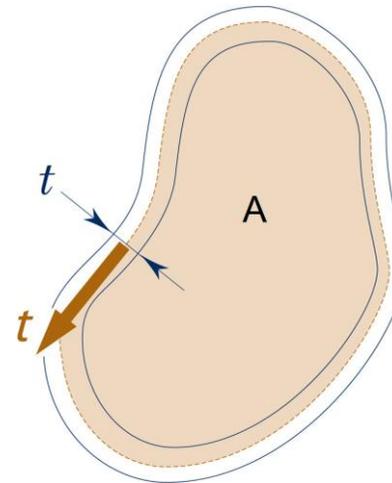


Torção em barras de seção vazada de parede fina



A tensão média de cisalhamento em qualquer ponto da parede pode ser obtida por:

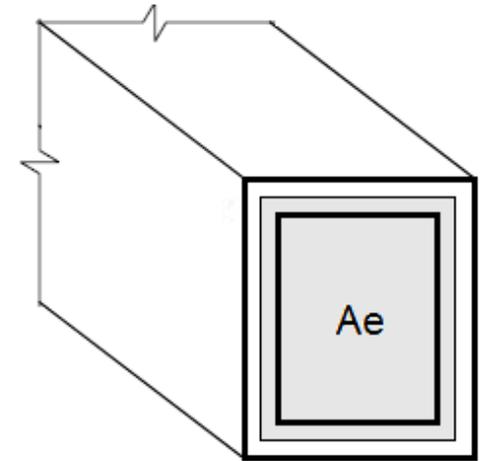
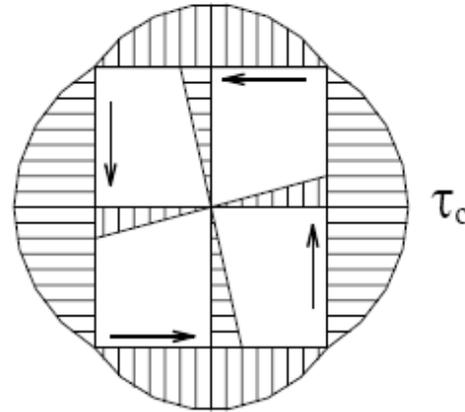
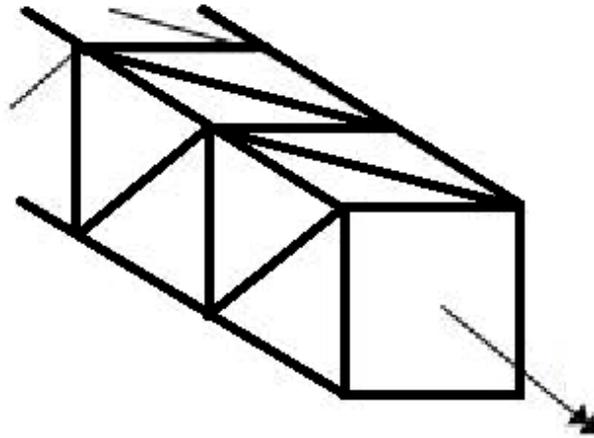
$$\tau_{med} = \frac{M_T}{2 \cdot t \cdot A}$$





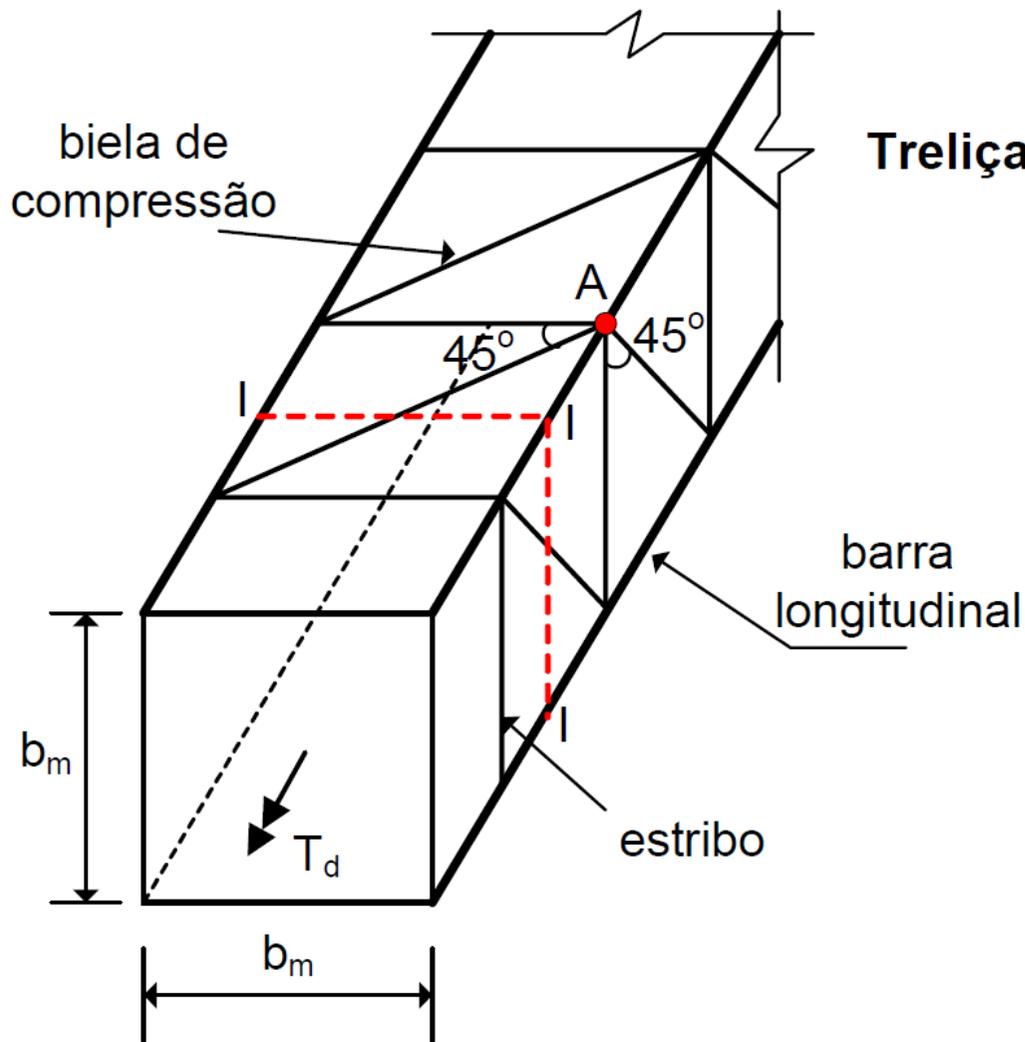
Analogia da treliça

Pressupõem-se um modelo resistente constituído por treliça espacial, definida a partir de um elemento estrutural de seção vazada equivalente ao elemento estrutural a dimensionar.

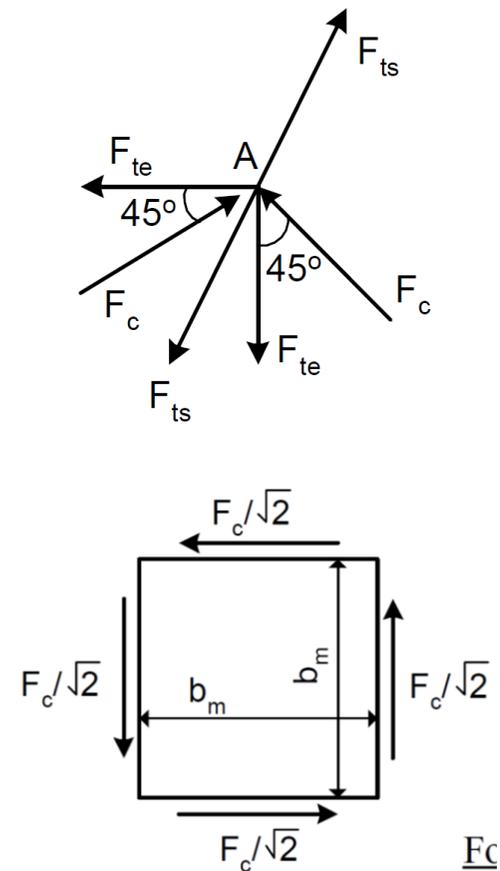




Analogia da treliça



Treliça espacial de Morsch





A seção vazada equivalente se define a partir da seção cheia com espessura da parede equivalente h_e dada por:

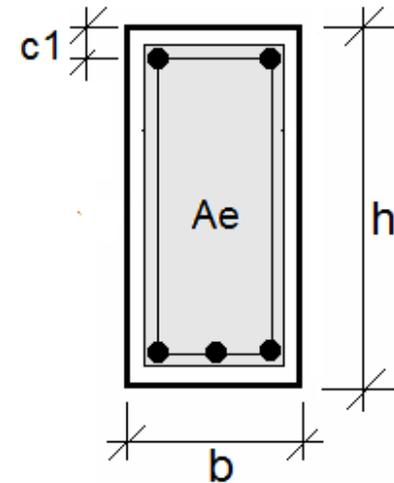
$$h_e \leq \frac{A}{u} \quad h_e \geq 2 \cdot c1$$

onde:

A - é a área da seção cheia;

u - é o perímetro da seção cheia;

c1 - é a distância entre o eixo da barra longitudinal do canto e a face lateral do elemento estrutural.



Caso (A/u) resulte menor que $2 \cdot c1$, pode-se adotar a superfície média da seção celular equivalente A_e definida pelos eixos das armaduras do canto e:

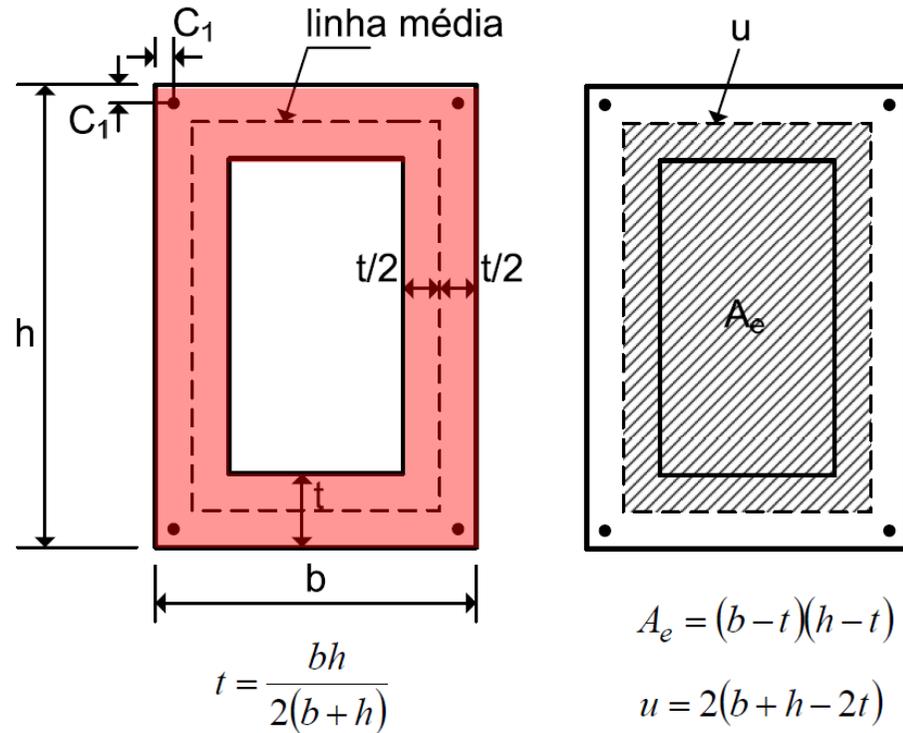
$$h_e = \frac{A}{u} \leq b - 2 \cdot c1$$



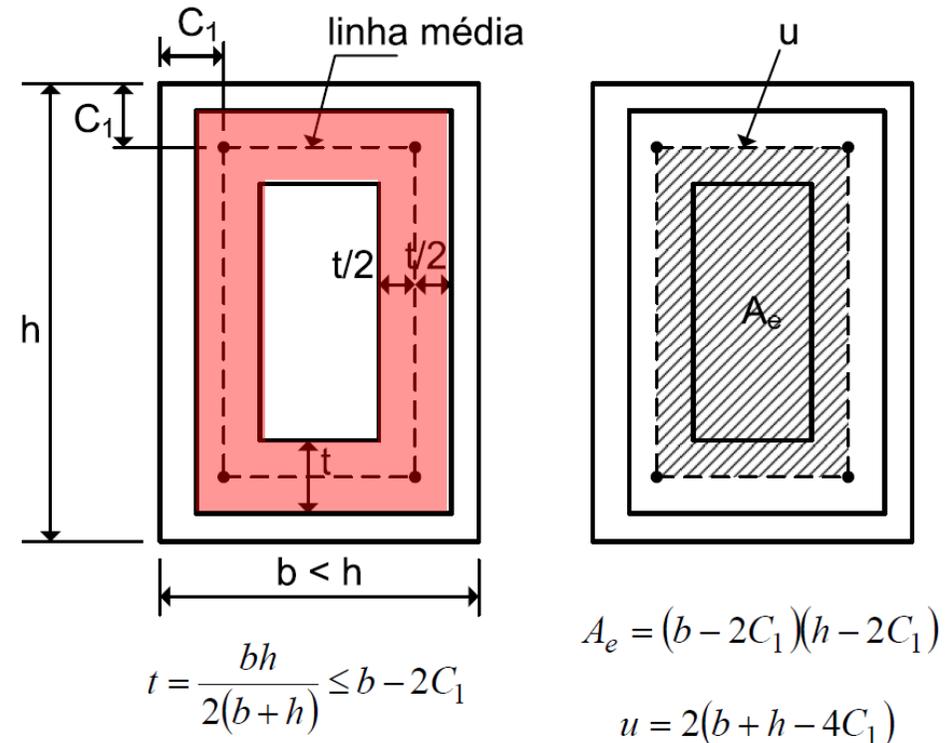
$$t = h_e \leq \frac{A}{u}$$

$$t = h_e \geq 2 \cdot c_1$$

Caso 1: $t \geq 2C_1$



Caso 2: $t < 2C_1$





Admite-se satisfeita a resistência do elemento estrutural, em uma dada seção, quando se verificarem simultaneamente as seguintes condições:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd,2}$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd,3}$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd,4}$$

onde:

$T_{Rd,2}$ – é a resistência das diagonais comprimidas de concreto;

$T_{Rd,3}$ – é a resistência dos estribos normais ao eixo da viga;

$T_{Rd,4}$ - é a resistências das barras longitudinais, paralelas ao eixo da viga.



A resistência decorrente das diagonais comprimidas (45°) de concreto deve ser obtida por:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd2}$$

$$T_{Rd2} = 0,5 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot A_e \cdot h_e$$

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \text{ (MPa)}$$

onde:

A_e - é a área limitada pela linha média da parede da seção vazada, real ou equivalente, incluindo a parte vazada;

h_e - é a espessura equivalente da parede da seção vazada, real ou equivalente, no ponto considerado.



Devem ser consideradas efetivas as armaduras contidas na área correspondente à parede equivalente, sendo que:

a) a resistência decorrente dos estribos normais ao eixo do elemento estrutural é dada pela expressão:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd3} \quad T_{Rd3} = \frac{A_{90}}{s} \cdot f_{ywd} \cdot 2 \cdot A_e \quad \frac{A_{90}}{s} = \frac{T_{Sd}}{2 \cdot A_e \cdot f_{ywd}}$$

onde:

f_{ywd} é o valor de cálculo da resistência ao escoamento do aço, limitada a 435 MPa;



- Armadura mínima - estribos

$$A_{sw} \geq \rho_{sw,min} \cdot b_w \cdot s$$

$$\rho_{sw} \geq 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}$$

Taxa mínima para armadura longitudinal de torção (%)							
Aço	Concreto - f_{ck}						
	20	25	30	35	40	45	50
Limite 500 MPa	0,0884	0,1026	0,1159	0,1284	0,1404	0,1518	0,1629



b) a resistência decorrente das armaduras longitudinais é dada pela expressão:

$$T_{Rd4} = \frac{A_{sl}}{u_e} \cdot f_{yd} \cdot 2A_e \qquad A_{sl} = \frac{T_{Sd} \cdot u_e}{2A_e \cdot f_{yd}}$$

onde:

A_{sl} - é a soma das áreas das seções das barras longitudinais;

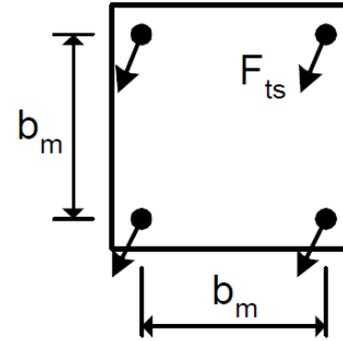
u_e - é o perímetro de A_e .



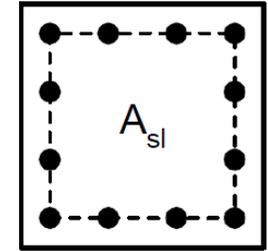
17.5.1.6 Cálculo das armaduras Armaduras longitudinais

- Disposição da armadura

$$A_{sl} = \frac{T_{sd} \cdot u_e}{2A_e \cdot f_{yd}}$$



modelo



disposição real

- Armadura mínima longitudinal

$$A_{sl,min} \geq \rho_{sl,min} \cdot h_e \cdot u_e$$

$$\rho_{sl} \geq 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}$$

Taxa mínima para armadura longitudinal de torção (%)

Aço	Concreto - f_{ck}						
	20	25	30	35	40	45	50
Limite 500 MPa	0,0884	0,1026	0,1159	0,1284	0,1404	0,1518	0,1629



(17.7.2.2) A resistência à compressão diagonal do concreto deve ser satisfeita atendendo à expressão:

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd2}} + \frac{T_{Sd}}{T_{Rd2}} \leq 1$$

onde:

V_{Sd} e T_{Sd} são os esforços de cálculo que agem concomitantemente na seção.

(24.5.6) Torção – Estado múltiplo de tensão

$$\frac{\tau_{wd}}{\tau_{wRd}} + \frac{\tau_{Td}}{\tau_{TRd}} \leq 1$$



A armadura de torção deve ser acrescentada à armadura necessária para as demais solicitações, considerando-se em cada seção os esforços que agem concomitantemente.

$$A_{sw,total} = A_{sw,V} + 2 \cdot A_{sw,T}$$



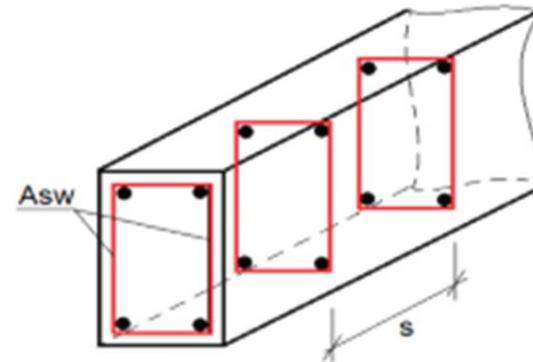
No caso de torção, só se pode contar com um ramo dos estribos, logo, para uso da tabela seguinte, deve-se multiplicar a área por 2.



Áreas de armadura

- Área de estribos por unidade de comprimento
- Número de seções de cada estribo

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{n \cdot \left(\pi \cdot \frac{\phi^2}{4} \right)}{s}$$



Estribos com dois ramos - A_{sw} / s (cm²/m)

Diâmetro		Espaçamento (cm)											
Pol	mm	5	7,5	10	11	12	13	14	15	17,5	20	25	30
3/16"	5,0	7,85	5,24	3,93	3,57	3,27	3,02	2,80	2,62	2,24	1,96	1,57	1,31
1/4"	6,3	12,47	8,31	6,23	5,67	5,20	4,80	4,45	4,16	3,56	3,12	2,49	2,08
5/16"	8,0	20,11	13,40	10,05	9,14	8,38	7,73	7,18	6,70	5,74	5,03	4,02	3,35
3/8"	10,0	31,42	20,94	15,71	14,28	13,09	12,08	11,22	10,47	8,98	7,85	6,28	5,24
1/2"	12,5	49,09	32,72	24,54	22,31	20,45	18,88	17,53	16,36	14,02	12,27	9,82	8,18



O diâmetro da barra que constitui o estribo:

$$5,0mm \leq \varphi_t \leq \frac{b_w}{10}$$

O espaçamento máximo deve atender às seguintes condições:

- se $\frac{V_{Sd}}{V_{Rd2}} + \frac{T_{Sd}}{T_{Rd2}} \leq 0,67$, então: $s \leq \begin{cases} 0,6 \cdot d \\ 30cm \end{cases}$

- se $\frac{V_{Sd}}{V_{Rd2}} + \frac{T_{Sd}}{T_{Rd2}} \geq 0,67$, então: $s \leq \begin{cases} 0,3 \cdot d \\ 20cm \end{cases}$



18.3.4 Armadura para torção

A armadura de tração provocada por torção deve ser constituída por estribos normais ao eixo da viga, combinados com barras longitudinais.

Consideram-se efetivos na resistência os ramos dos estribos e as armaduras longitudinais contidos no interior da parede fictícia da seção vazada equivalente.

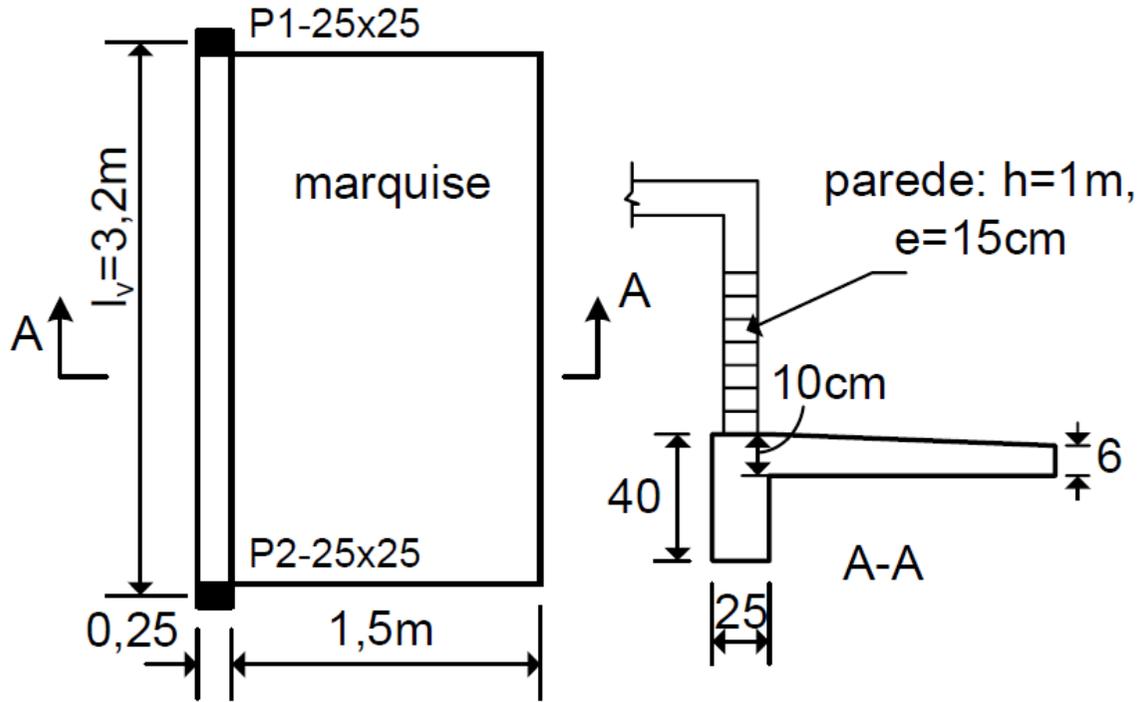
Os estribos para torção devem ser fechados em todo o seu contorno, envolvendo as barras das armaduras longitudinais de tração, e com as extremidades ancoradas por meio de ganchos em ângulo de 45° .

As barras longitudinais da armadura de torção podem ter arranjo distribuído ou concentrado ao longo do perímetro interno dos estribos, espaçadas no máximo em 350 mm.

As seções poligonais devem conter, em cada vértice dos estribos de torção, pelo menos uma barra.



Dimensionar a armadura transversal e longitudinal para a viga, abaixo.



Viga suportando uma marquise

Dados:

$$F_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$Aço = CA50$$

$$T_k = 9,6 \text{ kNm}$$

$$M_k = 13,89 \text{ kNm}$$

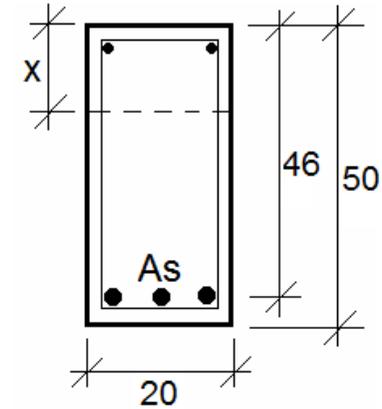
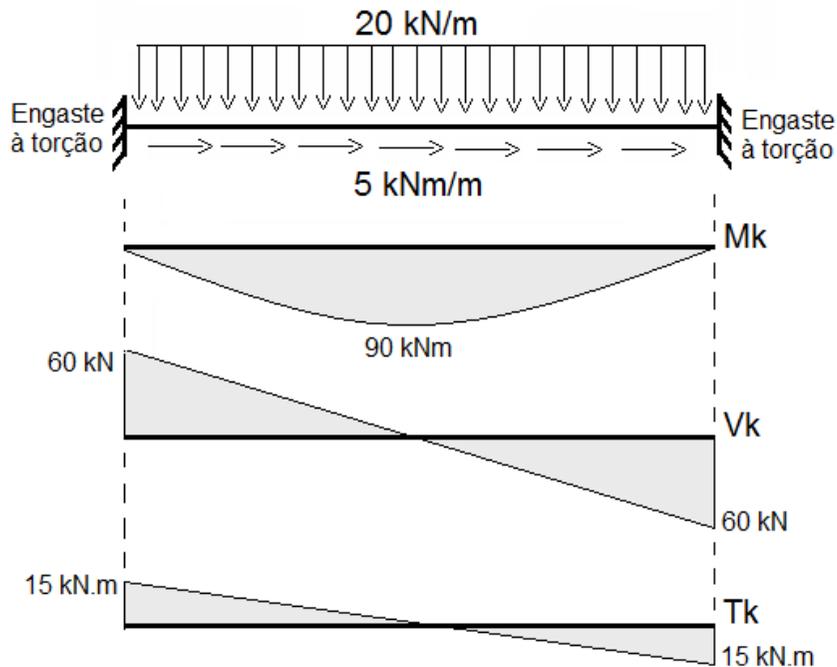
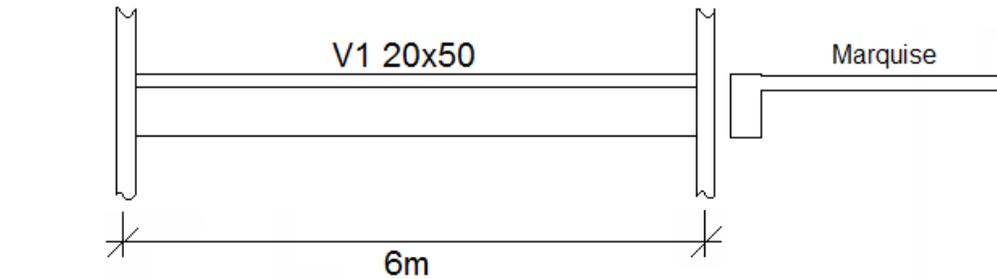
$$V_k = 17,36 \text{ kN}$$

$$c_1 = 4$$

$$d = 36 \text{ cm}$$



Dimensionar a armadura transversal e longitudinal para a viga, abaixo.



Dados:

$F_{ck} = 25 \text{ MPa}$

Aço = CA50



Exemplo 3

Dimensionar a armadura transversal e longitudinal para a viga, abaixo.

