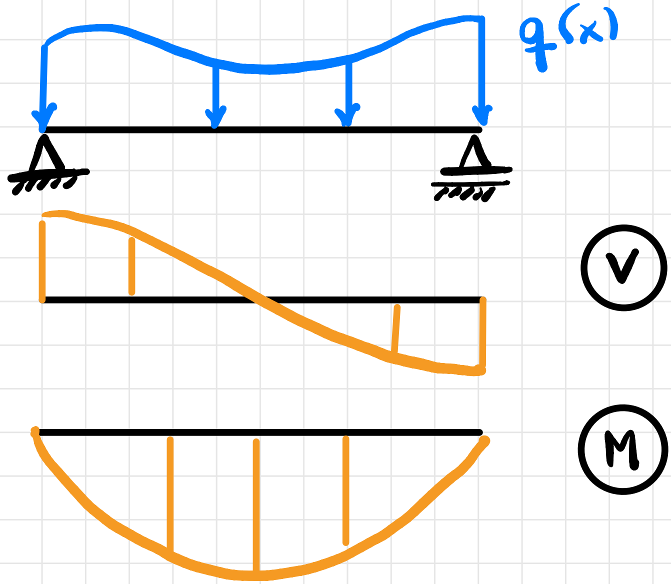
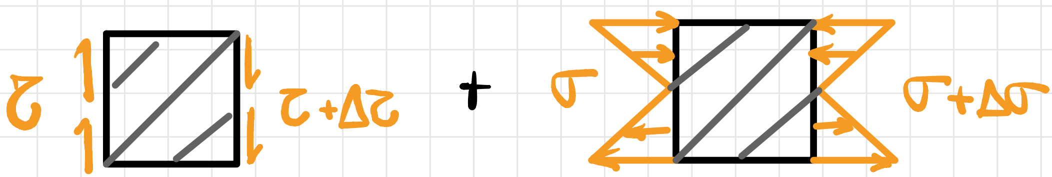
② Flexão Simples

Para a flexão simples existe força cortante e, assim, o momento fletor não é mais constante:



Nesse caso, há tensões de cisalhamento devido à força cortante simultaneamente a tensões normais devido ao momento fletor:



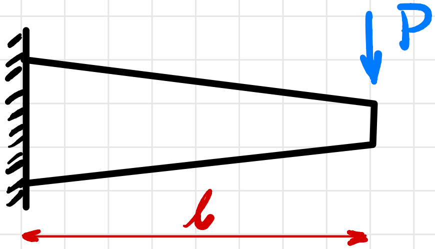
Isso causa distorções e elongamentos simultâneos!

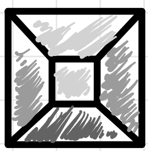
Hipótese de Navier

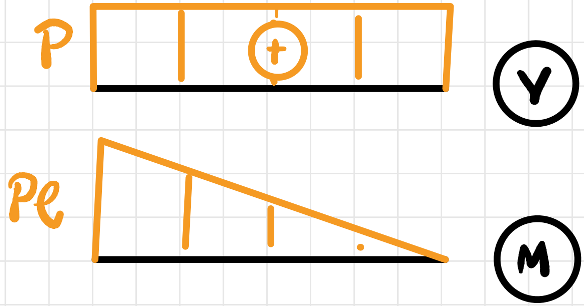
A hipótese de Navier diz que seções originalmente planas permanecem planas após a deformação. Essa aproximação é válida para vigas com comprimentos muito maiores que as dimensões da seção transversal. Isso implica em:

$$\sigma(x,y) = \frac{M}{I_{zz}}(x) \cdot y$$

Exemplo:

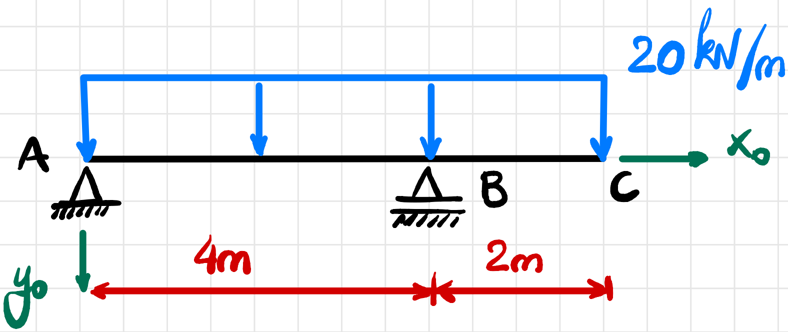




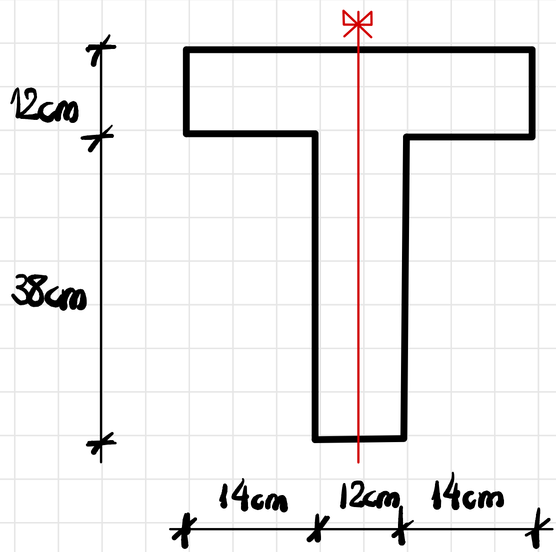


Qual a seção de maior tensão?

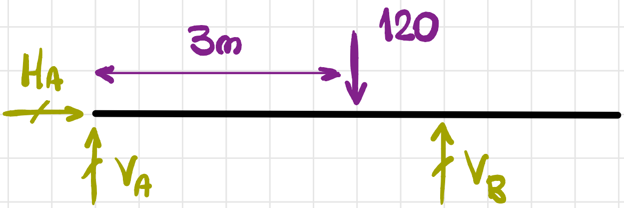
Exemplo: Determinar qual o coeficiente de segurança máximo a ser utilizado para a estrutura abaixo com a seção transversal dada e sabendo que as tensões máximas de ruptura à tração e à compressão são 5 MPa e 30 MPa respectivamente.



Seção Transversal:



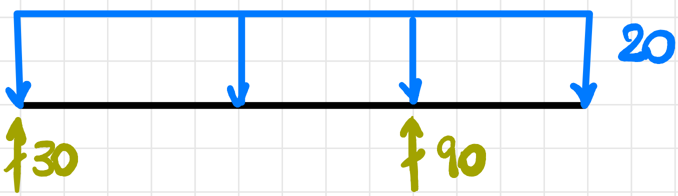
1 Diagrama de momentos fletores

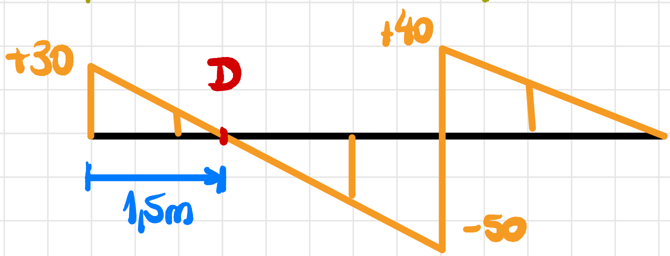


$$\sum F_H = 0 : \; H_A = 0$$

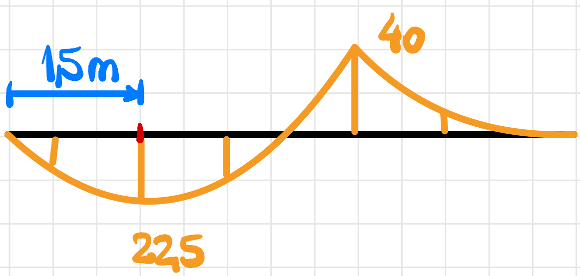
$$\sum F_V = 0 : \; V_A + V_B = 120$$

$$\circlearrowleft + \sum M_A = 0 : \; -120.3 + V_B.4 = 0 \rightarrow V_B = 90 \text{ kN} ; V_A = 30 \text{ kN}$$





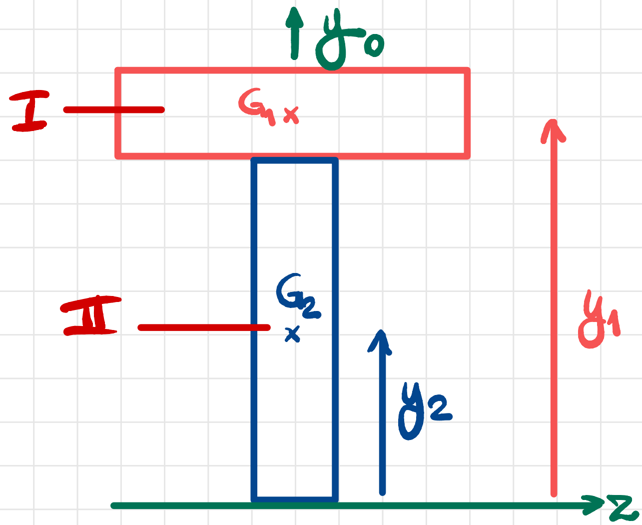
V [kN]



M [kNm]

2) Propriedades da Seção Transversal

Dividindo a seção em 2 retângulos:



* valores em cm

Montando uma tabela:

	y	A	I_{z_0}	d
I	44	480	5.760	12,18
II	19	456	54.872	12,82

$$y_G = \frac{44.480 + 19.456}{480 + 456} = \frac{29.784}{936} = 31,82\,cm$$

Determinando I_{z0}:

$$I_{z0} = (I_{z0}^{1} + d_1^2 A_1) + (I_{z0}^{2} + d_2^2 A_2)$$

$$I_{z0} = (5.760 + 12{,}18^2 \cdot 480) + (54.872 + 12{,}82^2 \cdot 456)$$

$$I_{z0} = (5.760 + 71.209{,}15) + (54.872 + 74.944{,}69)$$

$$I_{z0} = 206.785{,}84\ cm^2 = 2{,}07 \cdot 10^5\ cm^2$$

ou ainda: $\boxed{I_{z0} = 2{,}07 \cdot 10^{-3}\ m^4}$

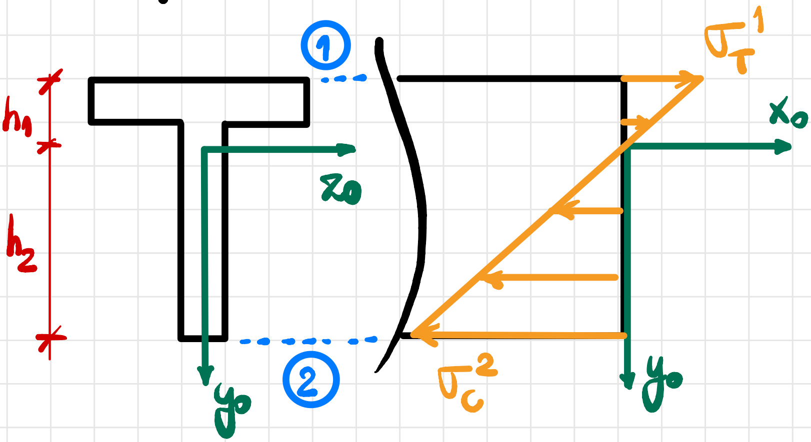
Para determinar o fator de segurança, as tensões máximas e mínimas nas seções críticas devem ser estudadas:

- Seção B ($M = -40\ kNm$)
- Seção D ($M = 225\ kNm$)

Isso é necessário pois a seção não é duplamente simétrica.

③ Secção B ($M = -40\,kNm$)

Esquematicamente:



$$h_1 = 50 - 31{,}82 = 18{,}18\,cm = 0{,}1818\,m$$

$$h_2 = 31{,}82\,cm = 0{,}3182\,m$$

em N

$$\sigma_T^1 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot y_1 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot (-h_1) = \frac{-40 \cdot 10^3 \cdot (-0{,}1818)}{2{,}07 \cdot 10^{-3}}$$

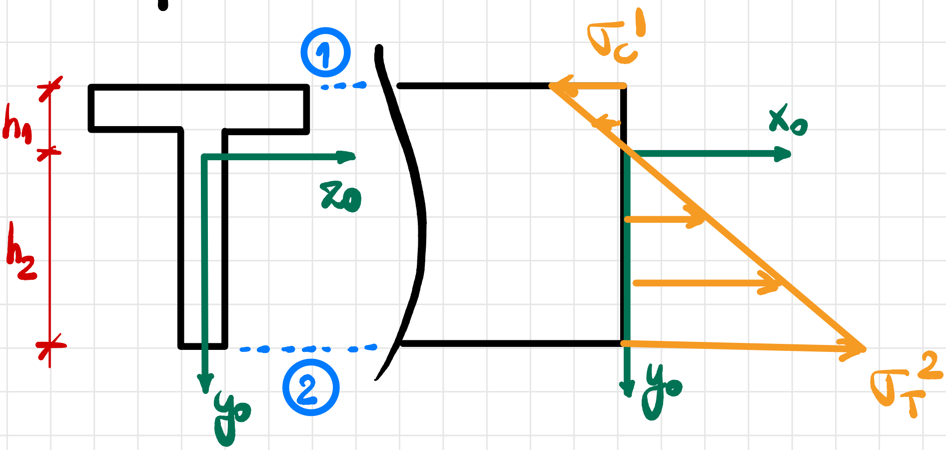
$$\sigma_T^1 = 3{,}513 \cdot 10^6\,Pa \longrightarrow \boxed{\sigma_T^1 = 3{,}513\,MPa}$$

$$\sigma_C^2 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot y_2 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot h_2 = \frac{-40 \cdot 10^3 \cdot 0{,}3182}{2{,}07 \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_C^2 = -6{,}149 \cdot 10^6\,Pa \longrightarrow \boxed{\sigma_C^2 = -6{,}149\,MPa}$$

④ Secção D (M = 22,5 kNm)

Esquematicamente:



$$\sigma_c^1 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot y_1 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot (-h_1) = \frac{22{,}5 \cdot 10^3 \cdot (-0{,}1818)}{2{,}07 \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_c^1 = -1{,}976 \cdot 10^6 \, Pa \longrightarrow \boxed{\sigma_c^1 = -1{,}976 \, MPa}$$

$$\sigma_T^2 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot y_2 = \frac{M}{I_{z_0}} \cdot h_2 = \frac{22{,}5 \cdot 10^3 \cdot 0{,}3182}{2{,}07 \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_T^2 = 3{,}459 \cdot 10^6 \, Pa \longrightarrow \boxed{\sigma_T^2 = 3{,}459 \, MPa}$$

5 Tensões máximas e coeficiente de segurança

A tensão máxima de tração e compressão são:

$$\sigma_T^{máx} = máx(\sigma_T^1, \sigma_T^2) = 3{,}513\,MPa$$
$$\sigma_C^{máx} = máx(|\sigma_C^2|, |\sigma_C^1|) = 6{,}149\,MPa$$

Lembrando que a tensão não pode ultrapassar a tensão admissível:

$$\sigma_T^{máx} \leq \bar{\sigma}_T = \frac{\sigma_{R,T}}{S_T} \qquad \sigma_C^{máx} \leq \bar{\sigma}_C = \frac{\sigma_{R,C}}{S_C}$$

$$S_T \leq \frac{\sigma_{R,T}}{\sigma_T^{máx}} \qquad S_C \leq \frac{\sigma_{R,C}}{\sigma_C^{máx}}$$

$$S_T \leq \frac{5}{3{,}513} = 1{,}4 \qquad S_C \leq \frac{30}{6{,}149} = 4{,}9$$

Sendo assim, o coeficiente a ser utilizado

é <u>1,4</u>.