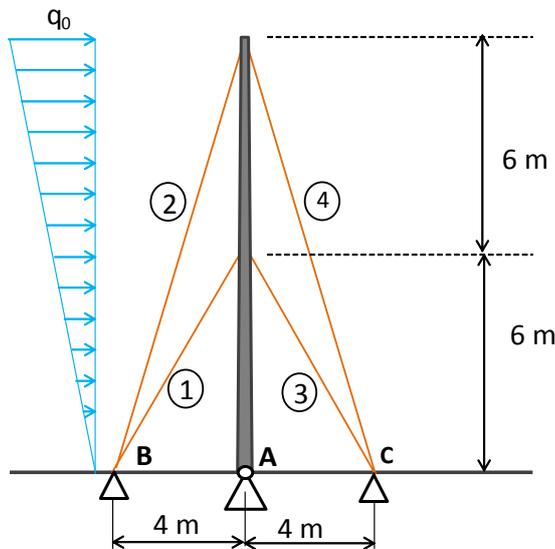


Nome: Gabarito

Nº USP: _____

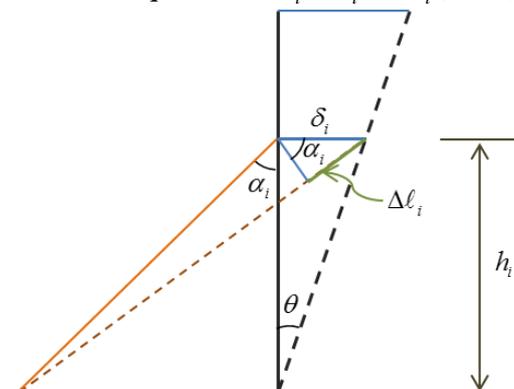
1ª Questão (4,0): A torre estaiada esquematizada na figura deve ser projetada para resistir a uma carga de projeto ‘ q_0 ’, linearmente variável, de intensidade máxima $q_0 = \left(20 + \frac{n}{2}\right)$ (em kN/m , sendo n o penúltimo algarismo não-nulo de seu número USP). Os cabos dos estais têm todos a mesma seção transversal e são constituídos do mesmo material, com módulo de elasticidade $E = 110GPa$. Admita que a torre seja infinitamente rígida, vinculada na base A por meio de um suporte articulado.

- Admitindo que os cabos estejam suficientemente protendidos, determine a variação de carga nos estais de 1 a 4 ($\Delta N_i, i = 1, 2, 3, 4$) quando atuar a carga q_0 .
- Qual é menor valor da protensão inicial uniforme N_0 a ser aplicada aos estais, para que eles não afrouxem, para cargas iguais ou menores que a carga de projeto q_0 ?
- Qual é o valor da reação vertical no ponto A, enquanto atuarem cargas laterais iguais ou menores que q_0 ?
- Qual o diâmetro da seção transversal necessária para os estais, para limitar os deslocamentos no topo da torre a 12cm, quando atuar a carga q_0 ?

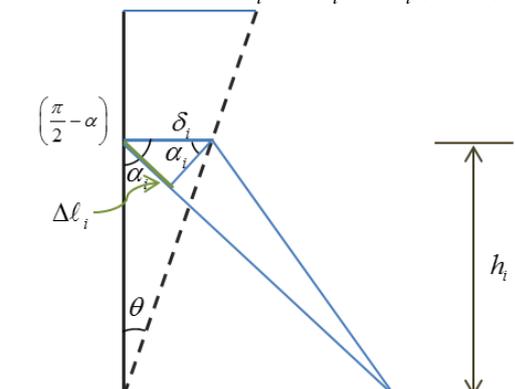


Respostas		
Grandeza	Valor	Unidade
n	n	--
q_0	$20 + n/2$	kN/m
ΔN_1	$4,14 q_0$	kN
ΔN_2	$2,69 q_0$	kN
ΔN_3	$-4,14 q_0$	kN
ΔN_4	$-2,69 q_0$	kN
N_0	$2,69 q_0$	kN
V_A	$14,738 q_0$	kN
ϕ	$0,322 \sqrt{q_0}$	cm

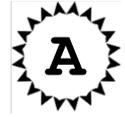
Estais à esquerda: $\Delta \ell_i = \delta_i \sin \alpha_i, i = 1, 2$



Estais à direita: $\Delta \ell_i = -\delta_i \sin \alpha_i, i = 3, 4$



$$\Delta \ell_3 = -\Delta \ell_1 \quad ; \quad \Delta \ell_4 = -\Delta \ell_2$$



Nome: Gabarito

Nº USP: _____

$$\ell_1 = \ell_3 = \sqrt{4^2 + 6^2} = 7,2111 \quad ; \quad \begin{cases} \sin \alpha_1 = \sin \alpha_3 = \frac{b}{\ell_1} = \frac{4}{7,2111} = 0,5547 \\ \cos \alpha_1 = \cos \alpha_3 = \frac{a}{\ell_1} = \frac{6}{7,2111} = 0,8305 \end{cases}$$

$$\ell_2 = \ell_4 = \sqrt{4^2 + 12^2} = 12,649 \quad ; \quad \begin{cases} \sin \alpha_2 = \sin \alpha_4 = \frac{b}{\ell_2} = \frac{4}{12,649} = 0,31623 \\ \cos \alpha_2 = \cos \alpha_4 = \frac{2a}{\ell_2} = \frac{2 \times 6}{12,649} = 0,94794 \end{cases}$$

Para pequenos deslocamentos, desconsiderando o sinal de $\Delta \ell_i$: $tg \theta = \frac{\delta_i}{h_i} = \frac{\Delta \ell_i}{\sin \alpha_i h_i}$, $i = 1, \dots, 4$

Enquanto os cabos não afrouxarem: $\Delta N_3 = -\Delta N_1$; $\Delta N_4 = -\Delta N_2$

Lei de Hooke: $\Delta \ell_i \approx \frac{\Delta N_i \ell_i}{E_i A_i}$, $i = 1, \dots, 4$, com $E_i A_i = EA = cte$

Logo, encontra-se a equação de compatibilidade: $tg \theta = \frac{\Delta N_1}{EA \sin \alpha_1} \frac{\ell_1}{h_1} = \frac{\Delta N_2}{EA \sin \alpha_2} \frac{\ell_2}{h_2}$

Ou seja: $\Delta N_2 = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} \frac{h_2}{h_1} \frac{\ell_1}{\ell_2} \Delta N_1 = \frac{0,31623}{0,5547} \times \frac{12}{6} \times \frac{7,2111}{12,649} \Delta N_1 = 0,65 \Delta N_1$

(ou inversamente, $\Delta N_1 = 1,5384 \Delta N_2$)

Resultante das cargas de vento:

q_0 : $H = \frac{q_0 \times h_2}{2} = \frac{q_0 \times 12}{2} = 6q_0$, aplicada a uma altura $c = (2/3) \times h_2 = (2/3) \times 12 = 8m$

Equilíbrio de momentos da torre em torno do ponto A: $\sum M_A = 0$

$$2 \times (\Delta N_1 \times \sin \alpha_1) \times a + 2 \times (\Delta N_2 \times \sin \alpha_2) \times 2a - H \times c = 0$$

$$2 \times (\Delta N_1 \times 0,5547) \times 6 + 2 \times (0,65 \Delta N_1 \times 0,31623) \times 12 - 6q_0 \times 8 = 0$$

$$11,59 \Delta N_1 = 48q_0 \quad \therefore \Delta N_1 = 4,14q_0$$

$$\Delta N_2 = 0,65 \times \Delta N_1 = 2,691q_0$$

Logo, para que os cabos não afrouxem, para a carga de projeto

$$N_0 \geq \Delta N_1 = 4,14q_0$$

V_A equilibra a resultante vertical das cargas de projeto...

como a componente vertical da variação ΔN_3 cancela

a componente vertical da variação ΔN_1 (e idem para as variações

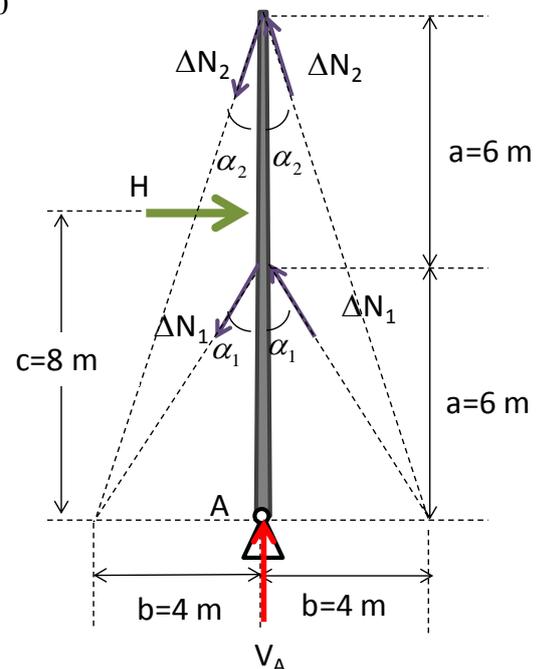
ΔN_2 e ΔN_4), a reação vertical é constante, e vale:

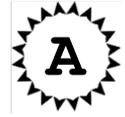
$$V_A = 2N_0 (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) = 2 \times 4,14q_0 \times (0,83205 + 0,94794)$$

$$V_A = 14,738q_0$$

Os deslocamentos do topo da torre, horizontais, são dados por:

$$\delta_2 = \frac{\Delta \ell_2}{\sin \alpha_2} = \frac{\Delta N_2 \ell_2}{EA \sin \alpha_2} \leq \bar{\delta} = 0,12m$$





Nome: Gabarito

Nº USP: _____

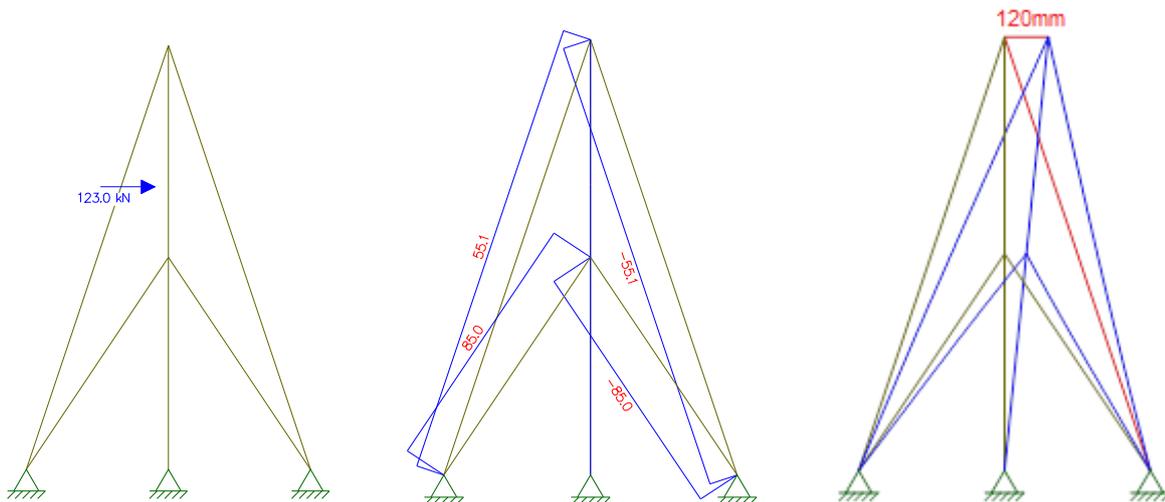
$$A = \frac{\pi\phi^2}{4} \geq \frac{\Delta N_2 \ell_2}{\delta E \sin \alpha_2} \quad \therefore \phi \geq \sqrt{\frac{4\Delta N_2 \ell_2}{\pi\delta E \sin \alpha_2}} = \sqrt{\frac{4 \times (2,691 \times q_0 \times 10^3) \times 12,649}{3,1416 \times 0,12 \times (110 \times 10^9) \times 0,31623}} = 3,2222 \times 10^{-3} \sqrt{q_0}$$

Sendo q_0 dado em kN, resultando ϕ em metros!

Unidades:	[kN/m]	[kN]							[cm]
n	q_0	H	ΔN_1	ΔN_2	ΔN_3	ΔN_4	N_0	V_A	ϕ
1	20.5	123.0	84.9	55.1	-84.9	-55.1	84.9	302.1	1.46
2	21.0	126.0	86.9	56.5	-86.9	-56.5	86.9	309.5	1.48
3	21.5	129.0	89.0	57.8	-89.0	-57.8	89.0	316.9	1.49
4	22.0	132.0	91.1	59.2	-91.1	-59.2	91.1	324.2	1.51
5	22.5	135.0	93.2	60.5	-93.2	-60.5	93.2	331.6	1.53
6	23.0	138.0	95.2	61.9	-95.2	-61.9	95.2	339.0	1.54
7	23.5	141.0	97.3	63.2	-97.3	-63.2	97.3	346.4	1.56
8	24.0	144.0	99.4	64.6	-99.4	-64.6	99.4	353.7	1.58
9	24.5	147.0	101.4	65.9	-101.4	-65.9	101.4	361.1	1.59

Verificando com FTOOL para $q_0=20,5\text{kN/m}$, ou seja, $H=123\text{kN}$.

Desconsidera-se N_0 , ou seja, admite-se que os estais possam trabalhar comprimidos. $E=110\text{GPa}$. Defina-se o diâmetro dos cabos, conforme calculado, e verifica-se a deformação resultante. Assumem-se mastros muito rígidos. Os resultados numéricos confirmam a solução analítica!



Versão B:

Idem versão A, trocando os sinais das variações das forças nos estais!



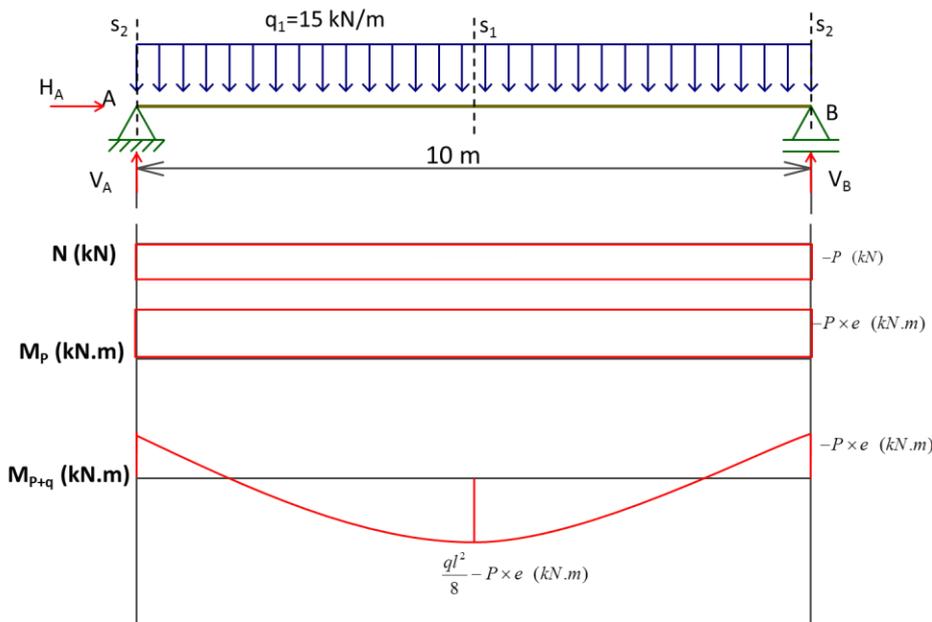
Nome: Gabarito

Nº USP: _____

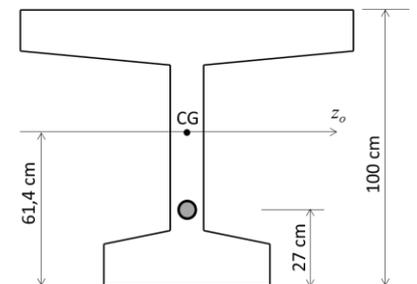
2ª Questão (3,0): A seção transversal I, típica de vigas pré-moldadas em concreto protendido para pontes, é mostrada na figura abaixo. Considere o caso de uma viga simplesmente apoiada com vão teórico igual a 10m, sujeita à ação do seu peso próprio ($\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$) e de uma carga acidental igual a 15 kN/m . A força de protensão $P = -600 \text{ kN}$ é aplicada com excentricidade $e = 34,4 \text{ cm}$ em relação ao eixo baricêntrico da seção transversal e mantém-se constante ao longo de todo o vão. Pede-se:

- Calcular a reações nos apoios A e B;
- Traçar os diagramas de força normal e momento fletor quando atua somente a força de protensão;
- Traçar o diagrama de momento fletor para o caso força de protensão P combinada com as cargas de peso próprio e acidental.
- Calcular as tensões normais para as seções do meio do vão e dos apoios. Representar esquematicamente como se distribuem estas tensões ao longo da altura da seção.
- No caso de a viga ter sido executada com um concreto com resistência característica igual a 15 MPa aos 28 dias, calcular o coeficiente de segurança da viga.

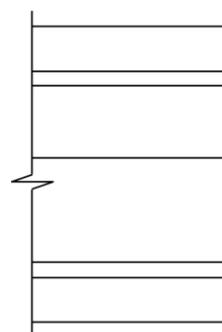
São dados:



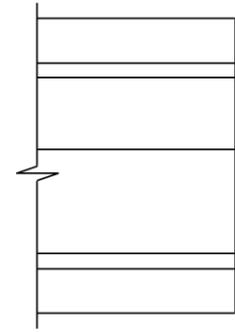
$A = 3810 \text{ cm}^2$
 $I_{z0} = 5.086.347 \text{ cm}^4$



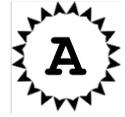
Seção s1



Seção s2



Respostas		
Grandeza	Valor	Unidade
H_A		kN
V_A		kN
V_B		kN
σ_{inf}^{s1}		MPa
σ_{sup}^{s1}		MPa
σ_{inf}^{s2}		MPa
σ_{sup}^{s2}		MPa
S		--



Nome: Gabarito

Nº USP: _____

2.a) Determinação das reações e apoio:

A carga de peso próprio vale $q_2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,3810 = 9,525 \text{ kN/m}$

E a carga vertical total vale $q = q_1 + q_2 = 15 + 9,525 = 24,525 \text{ kN/m}$

$$\sum F_x = 0 \quad \therefore \quad H_A = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad \therefore \quad V_A + V_B = ql$$

$$\sum M_A = 0 \quad \therefore \quad V_B \times l - \frac{ql^2}{2} = 0$$

$$V_A = \frac{ql}{2}$$

$$V_B = \frac{ql}{2}$$

2.d) Cálculo das tensões normais

Aplicação numérica para $P = -600 \text{ kN}$

Na seção s_1 , a tensão normal é dada pela combinação das tensões oriundas da força de protensão P e do carregamento uniformemente distribuído q .

Na fibra superior, a tensão normal vale:

$$\sigma_{\text{sup}} = -\frac{P}{A} - \frac{P \times e \times y_s}{I_{zo}} + \frac{q \times l^2 \times y_s}{8 \times I_{zo}}$$

$$\sigma_{\text{sup}} = -\frac{600 \times 10^3}{0,3810} - \frac{600 \times 10^3 \times 0,344 \times (-0,386)}{5,086 \times 10^{-2}} + \frac{24,525 \times 10^3 \times 10^2 \times (-0,386)}{8 \times 5,086 \times 10^{-2}}$$

$$\sigma_{\text{sup}} = -2,31 \text{ MPa}$$

Na fibra inferior, a tensão normal vale:

$$\sigma_{\text{inf}} = -\frac{P}{A} - \frac{P \times e \times y_i}{I_{zo}} + \frac{q \times l^2 \times y_i}{8 \times I_{zo}}$$

$$\sigma_{\text{inf}} = -\frac{600 \times 10^3}{0,3810} - \frac{600 \times 10^3 \times 0,344 \times (0,641)}{5,086 \times 10^{-2}} + \frac{24,525 \times 10^3 \times 10^2 \times (0,641)}{8 \times 5,086 \times 10^{-2}}$$

$$\sigma_{\text{inf}} = -0,3 \text{ MPa}$$

Na seção s_2 , a tensão normal é dada apenas pela combinação das tensões oriundas da força de protensão, uma vez que o momento fletor devido ao carregamento uniformemente distribuído q é nulo nos apoios.

Na fibra superior, a tensão normal vale:

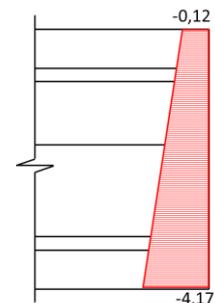
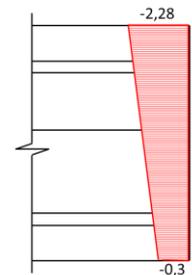
$$\sigma_{\text{sup}} = -\frac{P}{A} - \frac{P \times e \times y_s}{I_{zo}}$$

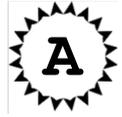
$$\sigma_{\text{sup}} = -\frac{600 \times 10^3}{0,3810} - \frac{600 \times 10^3 \times 0,344 \times (-0,386)}{5,086 \times 10^{-2}}$$

$$\sigma_{\text{sup}} = -0,008 \text{ MPa}$$

Na fibra inferior, a tensão normal vale:

$$\sigma_{\text{inf}} = -\frac{P}{A} - \frac{P \times e \times y_i}{I_{zo}}$$





Nome : Gabarito

Nº USP: _____

$$\sigma_{\text{inf}} = -\frac{600 \times 10^3}{0,3810} - \frac{600 \times 10^3 \times 0,344 \times (0,641)}{5,086 \times 10^{-2}}$$

$$\sigma_{\text{inf}} = -4,17 \text{ MPa}$$

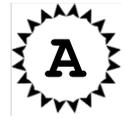
2.e) Coeficiente de segurança

A tensão máxima ocorre na fibra inferior da seção s1 e vale $\sigma_{\text{inf}} = -4,17 \text{ MPa}$

$$\text{Logo } s = \frac{f_{ck,28}}{\sigma_{c,\text{max}}} = \frac{15}{4,17} = 3,6$$

Respostas Prova A		
Grandeza	Valor	Unidade
H_A	0	kN
V_A	122,625	kN
V_B	122,625	kN
$\sigma_{\text{inf}}^{s_1}$	-0,3	MPa
$\sigma_{\text{sup}}^{s_1}$	-2,31	MPa
$\sigma_{\text{inf}}^{s_2}$	-4,17	MPa
$\sigma_{\text{sup}}^{s_2}$	-0,008	MPa
s	3,6	--

Respostas Prova B		
Grandeza	Valor	Unidade
H_A	0	kN
V_A	122,625	kN
V_B	122,625	kN
$\sigma_{\text{inf}}^{s_1}$	-0,79	MPa
$\sigma_{\text{sup}}^{s_1}$	-2,88	MPa
$\sigma_{\text{inf}}^{s_2}$	-4,66	MPa
$\sigma_{\text{sup}}^{s_2}$	-0,56	MPa
s	3,22	--



Nome : Gabarito

Nº USP: _____

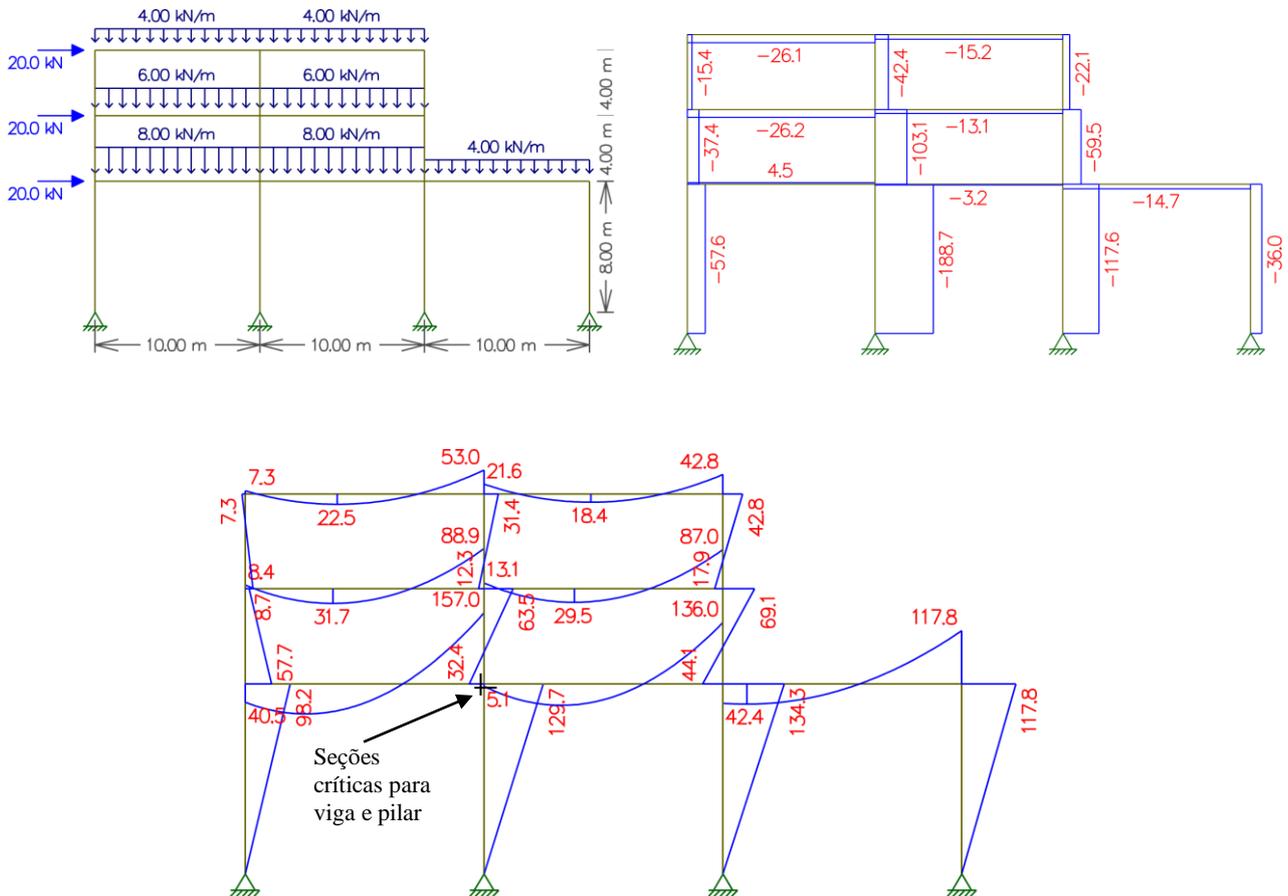
3ª Questão (3,0): A Figura abaixo mostra os carregamentos em um pórtico plano e os correspondentes diagramas de esforços solicitantes.

A tensão admissível do material do pórtico vale $\bar{\sigma} = \begin{cases} 180MPa, & \text{se } 1 \leq n \leq 3 \\ 220MPa, & \text{se } 4 \leq n \leq 6, \\ 260MPa, & \text{se } 7 \leq n \leq 9 \end{cases}$

(onde n é o penúltimo algarismo não-nulo de seu número USP).

- Indique no esquema estrutural as seções transversais críticas para o dimensionamento das vigas e das colunas.
- Escolha uma bitola comercial para as vigas e outra para as colunas, em função dos máximos esforços a que estes elementos ficam sujeitos. A escolha deve garantir a segurança e minimizar o consumo de material. Desconsidere as tensões de cisalhamento e os problemas de estabilidade.
- Em função dos perfis adotados, determine os valores máximos e mínimos das tensões normais nas seções críticas. Esquematize como as tensões variam nessas seções.
- Calcule o peso total do pórtico.

Sugestão: para estimativas iniciais dos perfis, admita $\bar{\sigma}_N = \bar{\sigma} / 10$ e $\bar{\sigma}_M = 9\bar{\sigma} / 10$.



Nota: A solução desta questão é bastante ampla, dando a possibilidade da escolha de perfis diferentes do que será apresentado a seguir. Os perfis escolhidos nas diversas respostas serão analisados quanto ao critério de garantia da segurança e minimização do peso da estrutura. Contudo, respostas que fogem de maneira substancial a este critério não serão consideradas.



Nome: Gabarito

Nº USP: _____

Resolução para $1 \leq n \leq 3$
$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma} = 180 \text{MPa}$$

A viga mais solicitada encontra-se à esquerda no primeiro pavimento, cujos esforços solicitantes máximos valem: $N = -4,5 \text{kN}$ $M = 157 \text{kNm}$

$$A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 4,5 \times 10^3}{180 \times 10^6} = 0,00025 \text{m}^2 = 2,5 \text{cm}^2$$

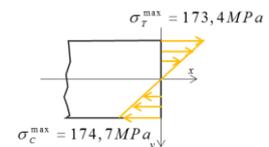
$$W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 157 \times 10^3}{9 \times 180 \times 10^6} = 0,000969 \text{m}^3 = 969 \text{cm}^3$$

Como o esforço normal é muito pequeno, a escolha do perfil ser guiada pelo valor estimado para W . Desta forma, obtém-se o perfil W 360 x 58

$$\left. \begin{array}{l} A = 72,5 \text{cm}^2 \\ W = 901,8 \text{cm}^3 \\ \mu = 58 \text{kg/m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = -\frac{4,5 \times 10^3}{72,5 \times 10^{-4}} - \frac{157 \times 10^3}{901,8 \times 10^{-6}} = -174,71 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$|\sigma_c^{\max}| = 174,7 \text{MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = -\frac{4,5 \times 10^3}{72,5 \times 10^{-4}} + \frac{157 \times 10^3}{901,8 \times 10^{-6}} = 173,47 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \therefore \quad \sigma_t^{\max} = 173,47 \text{MPa}$$



O pilar mais solicitado encontra-se no primeiro pavimento, cujos esforços máximos valem:

$$N = -188,7 \text{kN} \quad M = 129,7 \text{kNm}$$

$$A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 188,7 \times 10^3}{180 \times 10^6} = 0,01048 \text{m}^2 = 104,8 \text{cm}^2$$

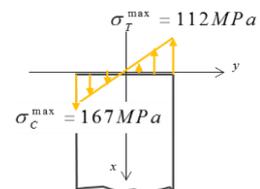
$$W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 129,7 \times 10^3}{9 \times 180 \times 10^6} = 0,000801 \text{m}^3 = 801 \text{cm}^3$$

Partindo-se destes valores, escolhe-se o perfil W 410x53

$$\left. \begin{array}{l} A = 68,4 \text{cm}^2 \\ W = 929,7 \text{cm}^3 \\ \mu = 53 \text{kg/m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{68,4 \times 10^{-4}} - \frac{129,7 \times 10^3}{929,7 \times 10^{-6}} = -167,09 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$|\sigma_c^{\max}| = 167,1 \text{MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{68,4 \times 10^{-4}} + \frac{129,7 \times 10^3}{929,7 \times 10^{-6}} = 111,91 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \therefore \quad \sigma_t^{\max} = 111,9 \text{MPa}$$



Peso total do pórtico: $m = 210 \times 58 + 56 \times 53 = 15148 \text{kg} \approx 15 \text{t}$

Resolução para $4 \leq n \leq 6$
$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma} = 220 \text{MPa}$$

A viga mais solicitada encontra-se à esquerda no primeiro pavimento, cujos esforços solicitantes máximos valem: $N = -4,5 \text{kN}$ $M = 157 \text{kNm}$

$$A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 4,5 \times 10^3}{220 \times 10^6} = 0,000205 \text{m}^2 = 2,05 \text{cm}^2$$

$$W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 157 \times 10^3}{9 \times 220 \times 10^6} = 0,000793 \text{m}^3 = 793 \text{cm}^3$$

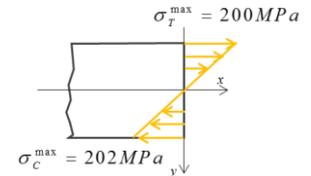


Nome: Gabarito

Nº USP: _____

Como o esforço normal é muito pequeno, a escolha do perfil ser guiada pelo valor estimado para W . Desta forma, obtém-se o perfil W 410 x 46,1

$$\left. \begin{array}{l} A = 59,2 \text{ cm}^2 \\ W = 778,7 \text{ cm}^3 \\ \mu = 46,1 \text{ kg/m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = -\frac{4,5 \times 10^3}{59,2 \times 10^{-4}} - \frac{157 \times 10^3}{778,7 \times 10^{-6}} = -202,38 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$



$$|\sigma_c^{\max}| = 202 \text{ MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = -\frac{4,5 \times 10^3}{59,2 \times 10^{-4}} + \frac{157 \times 10^3}{778,7 \times 10^{-6}} = 200,86 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \quad \therefore \sigma_t^{\max} = 200,86 \text{ MPa}$$

O pilar mais solicitado encontra-se no primeiro pavimento, cujos esforços máximos valem:

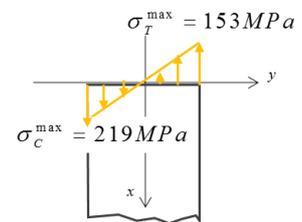
$$N = -188,7 \text{ kN} \quad M = 129,7 \text{ kNm}$$

$$A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 188,7 \times 10^3}{220 \times 10^6} = 0,00857 \text{ m}^2 = 85,7 \text{ cm}^2$$

$$W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 129,7 \times 10^3}{9 \times 220 \times 10^6} = 0,000655 \text{ m}^3 = 655 \text{ cm}^3$$

Partindo-se destes valores, escolhe-se o perfil W 360x44,6

$$\left. \begin{array}{l} A = 57,7 \text{ cm}^2 \\ W = 696,5 \text{ cm}^3 \\ \mu = 46,1 \text{ kg/m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{57,7 \times 10^{-4}} - \frac{129,7 \times 10^3}{696,5 \times 10^{-6}} = -218,9 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$



$$|\sigma_c^{\max}| = 219 \text{ MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{57,7 \times 10^{-4}} + \frac{129,7 \times 10^3}{696,5 \times 10^{-6}} = 153,51 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \quad \therefore \sigma_t^{\max} = 153,5 \text{ MPa}$$

Peso total do pórtico: $m = 210 \times 46,1 + 56 \times 44,6 = 12178 \text{ kg} \approx 12 \text{ t}$

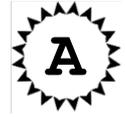
Resolução para $7 \leq n \leq 9$ $\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \leq \bar{\sigma} = 260 \text{ MPa}$

A viga mais solicitada encontra-se à esquerda no primeiro pavimento, cujos esforços solicitantes máximos valem: $N = -4,5 \text{ kN}$ $M = 157 \text{ kNm}$

$$A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 4,5 \times 10^3}{260 \times 10^6} = 0,000173 \text{ m}^2 = 1,73 \text{ cm}^2$$

$$W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 157 \times 10^3}{9 \times 260 \times 10^6} = 0,000574 \text{ m}^3 = 574 \text{ cm}^3$$

Como o esforço normal é muito pequeno, a escolha do perfil ser guiada pelo valor estimado para W . Desta forma, obtém-se o perfil W 410 x 38,8



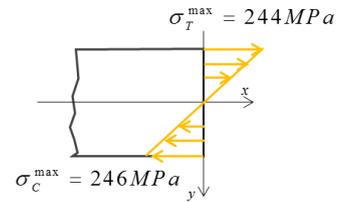
Nome: Gabarito

Nº USP: _____

$$\left. \begin{array}{l} A = 50,3\text{cm}^2 \\ W = 640,5\text{cm}^3 \\ \mu = 38,8\text{kg/m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = -\frac{4,5 \times 10^3}{50,3 \times 10^{-4}} - \frac{157 \times 10^3}{640,5 \times 10^{-6}} = -246,01 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$|\sigma_c^{\max}| = 246,01\text{MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = -\frac{4,5 \times 10^3}{50,3 \times 10^{-4}} + \frac{157 \times 10^3}{640,5 \times 10^{-6}} = 244,2 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \quad \therefore \sigma_t^{\max} = 244,2\text{MPa}$$



O pilar mais solicitado encontra-se no primeiro pavimento, cujos esforços máximos valem:

$$N = -188,7\text{kN} \quad M = 129,7\text{kNm}$$

$$A \geq \frac{10N}{\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 188,7 \times 10^3}{260 \times 10^6} = 0,007258\text{m}^2 = 72,6\text{cm}^2$$

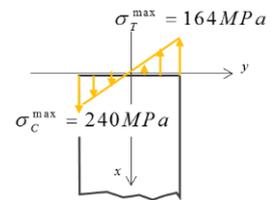
$$W \geq \frac{10M}{9\bar{\sigma}} = \frac{10 \times 129,7 \times 10^3}{9 \times 260 \times 10^6} = 0,000554\text{m}^3 = 554\text{cm}^3$$

Partindo-se destes valores, escolhe-se o perfil W 410x38,8

$$\left. \begin{array}{l} A = 50,3\text{cm}^2 \\ W = 640,5\text{cm}^3 \\ \mu = 38,8\text{kg/m} \end{array} \right\} \sigma_c^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{50,3 \times 10^{-4}} - \frac{129,7 \times 10^3}{640,5 \times 10^{-6}} = -240,01 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

$$|\sigma_c^{\max}| = 240\text{MPa} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_t^{\max} = -\frac{188,7 \times 10^3}{50,3 \times 10^{-4}} + \frac{129,7 \times 10^3}{640,5 \times 10^{-6}} = 164,98 \times 10^6 \frac{N}{m^2} \quad \therefore \sigma_t^{\max} = 165\text{MPa}$$



Peso total do pórtico: $m = 266 \times 38,8 = 10320\text{kg} \approx 10,3\text{t}$



Nome: Gabarito

Nº USP: _____

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _r mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X			EIXO Y - Y				
				t _w mm	t _r mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8728	709,6	10,47	790,5	2995	234,0	6,13	357,8
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11257	889,9	11,02	983,3	3880	305,5	6,47	463,1
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12550	980,5	11,10	1088,7	4313	338,3	6,51	513,1
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9
W 360 x 44,6	44,6	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7
W 360 x 58	58,0	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16143	901,8	14,92	1014,8	1113	129,4	3,92	199,8
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17890	1031,1	14,80	1145,5	1885	185,7	4,80	284,5
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20169	1152,5	14,86	1285,9	2140	209,8	4,84	321,8
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22713	1283,2	14,98	1437,0	2416	235,7	4,89	361,9
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26755	1515,9	15,19	1680,1	4483	353,0	6,22	538,1
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5	30279	1696,3	15,29	1888,9	5063	397,1	6,25	606,1
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	33155	1841,9	15,36	2059,3	5570	435,2	6,29	664,5
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36599	2016,5	15,35	2269,8	6147	478,4	6,29	732,4
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18734	929,7	16,55	1052,2	1009	114,0	3,84	176,9
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21707	1066,7	16,88	1201,5	1205	135,4	3,98	209,2
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24678	1203,8	16,91	1362,7	1379	154,1	4,00	239,0
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27616	1337,3	16,98	1518,6	1559	173,2	4,03	269,1
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31658	1518,4	17,07	1731,7	1804	199,3	4,08	310,4
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21370	949,8	17,91	1095,9	634	83,5	3,09	131,7
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25652	1127,6	18,35	1292,1	796	104,1	3,23	163,4
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29851	1300,7	18,46	1495,4	941	122,2	3,28	192,4
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33415	1462,4	18,77	1657,4	1661	174,8	4,18	271,3
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37157	1615,5	18,84	1836,4	1862	195,0	4,22	303,3
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41105	1775,6	18,98	2019,4	2093	218,0	4,28	339,0
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44658	1916,7	19,03	2187,4	2283	236,6	4,30	368,8
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48978	2088,6	19,04	2394,6	2515	259,3	4,32	405,7
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34971	1332,2	20,46	1558,0	857	103,9	3,20	166,0
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39969	1525,5	20,89	1755,9	1615	156,0	4,20	244,6
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40969	1548,9	20,76	1804,9	1041	125,5	3,31	200,1
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47569	1801,8	21,34	2058,5	2028	194,1	4,41	302,7
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	48453	1811,3	21,21	2099,8	1263	152,2	3,42	241,6