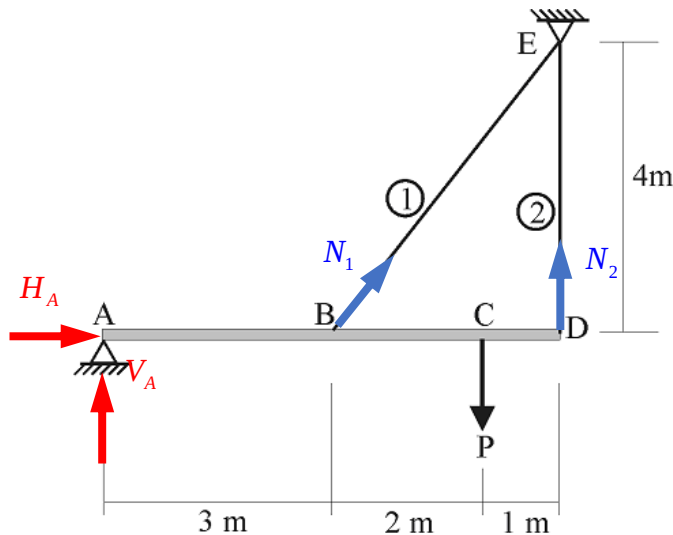


Nome: \_\_\_\_\_ Nº USP: \_\_\_\_\_

**Questão 1 (5,0):** A estrutura estaiada da figura abaixo encontra-se sujeita à ação da carga  $P=100\text{kN}$  aplicada no ponto C. Os cabos 1 e 2 são constituídos do mesmo material e possuem áreas de seção transversal  $A_1=2A_2$ . Admitindo que a viga ABCD seja infinitamente rígida, determine:

- as forças normais em cada cabo ( $N_1$  e  $N_2$ );
- as reações de apoio no ponto A;
- os diâmetros mínimos dos cabos 1 e 2, considerando um coeficiente de segurança  $s=2$  e  $\sigma_{\text{lim}} = (500 + 20n)$ , em MPa, sendo  $n$  o **último** algarismo de seu número USP.



| Respostas |                |    |
|-----------|----------------|----|
| $n$       | 0              | -- |
| $N_1$     | <b>+42,463</b> | kN |
| $N_2$     | <b>+66,348</b> | kN |
| $d_1$     | <b>2,60</b>    | cm |
| $d_2$     | <b>1,84</b>    | cm |

Do estudo da compatibilidade de deformações, resulta:

$$\frac{N_1 \ell_1}{E_1 A_1 a_1 \sin \alpha_1} = \frac{N_2 \ell_2}{E_2 A_2 a_2 \sin \alpha_2}$$

Para os dados do problema:  $\frac{N_1 \ell_1}{2a_1 \sin \alpha_1} = \frac{N_2 \ell_2}{a_2 \sin \alpha_1}$

Ou seja:  $\frac{N_1 \times 5}{2 \times 3 \times \left(\frac{4}{5}\right)} = \frac{N_2 \times 4}{6} \Rightarrow N_1 = \frac{16}{25} N_2 = 0,64 N_2$  ou, inversamente:  $N_2 = \frac{25}{16} N_1 = 1,5625 N_1$

Equilíbrio de momentos em torno do ponto A:  $\sum M_{(A)} = N_1 a_1 \sin \alpha_1 + N_2 a_2 \sin \alpha_2 - P a_3 = 0$

$$\sum M_{(A)} = N_1 \times 3 \times \frac{4}{5} + \frac{25}{16} N_1 \times 6 \times 1 - 100 \times 5 = 0 \Rightarrow N_1 = 42,463 \text{ kN} \Rightarrow N_2 = 66,348 \text{ kN}$$

Equilíbrio da barra ABCD:  $\sum F_x = H_A + N_1 \cos \alpha_1 = 0 \Rightarrow H_A = -N_1 \cos \alpha_1 = -42,463 \times \frac{3}{5} = -25,478 \text{ kN} = H_A$

$$\sum F_y = V_A + N_1 \sin \alpha_1 + N_2 - P = V_A - 42,463 \times \frac{4}{5} + \frac{25}{16} 42,463 - 100 = 0 \Rightarrow V_A = -0,318 \text{ kN}$$

Dimensionamento:  $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{s} = \frac{500 + 20n}{s}$  Adotando  $n=0$   $\bar{\sigma} = 250 \text{ MPa}$

$$\sigma_i = \frac{N_i}{\left(\frac{\pi d_i^2}{4}\right)} \leq \bar{\sigma} \Rightarrow \begin{cases} d_1 \geq \sqrt{\frac{4N_1}{\pi \bar{\sigma}}} = \sqrt{\frac{4 \times 42,463 \times 10^3}{\pi \times 250 \times 10^6}} = 0,0147 \text{ m} = 1,47 \text{ cm} \\ d_2 \geq \sqrt{\frac{4N_2}{\pi \bar{\sigma}}} = \sqrt{\frac{4 \times 66,348 \times 10^3}{\pi \times 250 \times 10^6}} = 0,0184 \text{ m} = 1,84 \text{ cm} \end{cases}$$

Porém, para respeitar os dados do problema:  $A_1 = 2A_2 \Rightarrow \frac{\pi d_1^2}{4} = 2 \frac{\pi d_2^2}{4} \Rightarrow d_1 = \sqrt{2} d_2$

Logo:  $d_2 = 1,84 \text{ cm}$  ;  $d_1 = \sqrt{2} \times 1,84 = 2,60 \text{ cm}$

| n          | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $d_1$ (cm) | 2,60 | 2,55 | 2,50 | 2,46 | 2,41 | 2,37 | 2,33 | 2,30 | 2,26 | 2,50 |
| $d_2$ (cm) | 1,84 | 1,80 | 1,79 | 1,74 | 1,71 | 1,68 | 1,65 | 1,62 | 1,60 | 1,57 |

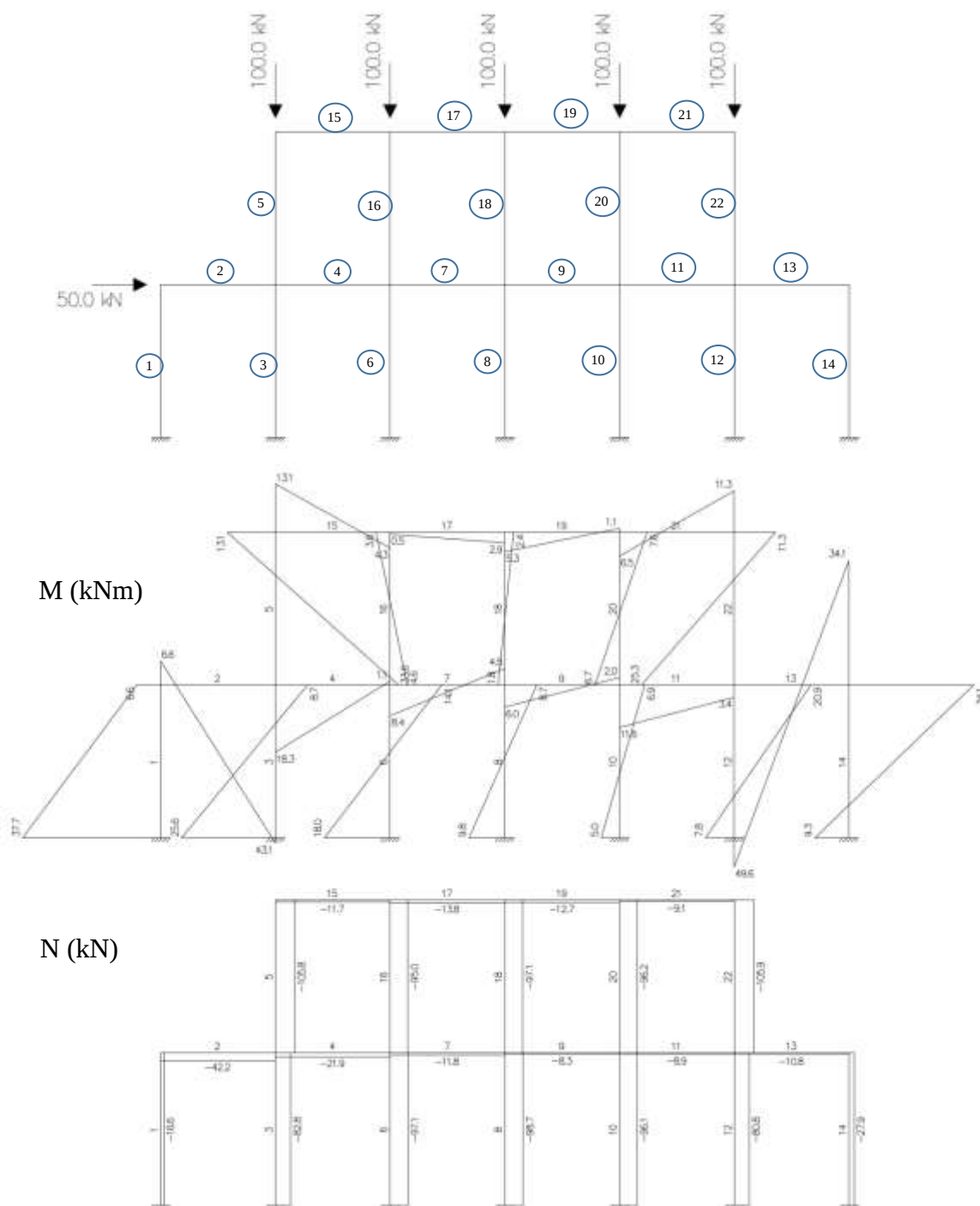


Nome : \_\_\_\_\_ N° USP : \_\_\_\_\_

**Questão 2 (5,0 pontos)** A Figura abaixo mostra os carregamentos em um pórtico plano, e os correspondentes esforços solicitantes. Considerando a tabela de perfis em anexo, selecione o perfil mais econômico (em termos de peso por metro), para o trecho  $n$  do pórtico, definido na tabela abaixo, em função de  $m$ , o **penúltimo** algarismo de seu número USP, sabendo que  $\bar{\sigma} = 200 \text{ MPa}$ . Desconsidere problemas de estabilidade.

| $m$ | 0 ou 1 | 2 ou 3 | 4 ou 5 | 6 ou 7 | 8 ou 9 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| $n$ | 2      | 5      | 12     | 13     | 22     |

(Para uma estimativa inicial do perfil, admita  $\sigma_N = N / A \approx \bar{\sigma} / 10$  e  $\sigma_M = M / W \approx 9\bar{\sigma} / 10$ )





Nome: \_\_\_\_\_

Nº USP: \_\_\_\_\_

| BITOLA<br>mm x kg/m | Massa<br>Linear<br>kg/m | Área<br>cm² | EIXO X - X            |                       |                      |                       | EIXO Y - Y            |                       |                      |                       |
|---------------------|-------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
|                     |                         |             | I <sub>x</sub><br>cm⁴ | W <sub>x</sub><br>cm³ | r <sub>x</sub><br>cm | Z <sub>x</sub><br>cm³ | I <sub>y</sub><br>cm⁴ | W <sub>y</sub><br>cm³ | r <sub>y</sub><br>cm | Z <sub>y</sub><br>cm³ |
| W 150 x 13,0        | 13,0                    | 16,6        | 635                   | 85,8                  | 6,18                 | 96,4                  | 82                    | 16,4                  | 2,22                 | 25,5                  |
| W 150 x 18,0        | 18,0                    | 23,4        | 939                   | 122,8                 | 6,34                 | 139,4                 | 126                   | 24,7                  | 2,32                 | 38,5                  |
| W 150 x 22,5 (H)    | 22,5                    | 29,0        | 1.229                 | 161,7                 | 6,51                 | 179,6                 | 387                   | 50,9                  | 3,65                 | 77,9                  |
| W 150 x 24,0        | 24,0                    | 31,5        | 1.384                 | 173,0                 | 6,63                 | 197,6                 | 183                   | 35,9                  | 2,41                 | 55,8                  |
| W 150 x 29,8 (H)    | 29,8                    | 38,5        | 1.739                 | 221,5                 | 6,72                 | 247,5                 | 556                   | 72,6                  | 3,80                 | 110,8                 |
| W 150 x 37,1 (H)    | 37,1                    | 47,8        | 2.244                 | 277,0                 | 6,85                 | 313,5                 | 707                   | 91,8                  | 3,84                 | 140,4                 |
| W 200 x 15,0        | 15,0                    | 19,4        | 1.305                 | 130,5                 | 8,20                 | 147,9                 | 87                    | 17,4                  | 2,12                 | 27,3                  |
| W 200 x 19,3        | 19,3                    | 25,1        | 1.686                 | 166,1                 | 8,19                 | 190,6                 | 116                   | 22,7                  | 2,14                 | 35,9                  |
| W 200 x 22,5        | 22,5                    | 29,0        | 2.029                 | 197,0                 | 8,37                 | 225,5                 | 142                   | 27,9                  | 2,22                 | 43,9                  |
| W 200 x 26,6        | 26,6                    | 34,2        | 2.611                 | 252,3                 | 8,73                 | 282,3                 | 330                   | 49,6                  | 3,10                 | 76,3                  |
| W 200 x 31,3        | 31,3                    | 40,3        | 3.168                 | 301,7                 | 8,86                 | 338,6                 | 410                   | 61,2                  | 3,19                 | 94,0                  |
| W 200 x 35,9 (H)    | 35,9                    | 45,7        | 3.437                 | 342,0                 | 8,67                 | 379,2                 | 764                   | 92,6                  | 4,09                 | 141,0                 |
| W 200 x 41,7 (H)    | 41,7                    | 53,5        | 4.114                 | 401,4                 | 8,77                 | 448,6                 | 901                   | 108,5                 | 4,10                 | 165,7                 |
| W 200 x 46,1 (H)    | 46,1                    | 58,6        | 4.543                 | 447,6                 | 8,81                 | 495,3                 | 1.535                 | 151,2                 | 5,12                 | 229,5                 |
| W 200 x 52,0 (H)    | 52,0                    | 66,9        | 5.298                 | 514,4                 | 8,90                 | 572,5                 | 1.784                 | 174,9                 | 5,16                 | 265,8                 |
| HP 200 x 53,0 (H)   | 53,0                    | 68,1        | 4.977                 | 488,0                 | 8,55                 | 551,3                 | 1.673                 | 161,7                 | 4,96                 | 248,6                 |
| W 200 x 59,0 (H)    | 59,0                    | 76,0        | 6.140                 | 584,8                 | 8,99                 | 655,9                 | 2.041                 | 199,1                 | 5,18                 | 303,0                 |
| W 200 x 71,0 (H)    | 71,0                    | 91,0        | 7.660                 | 709,2                 | 9,17                 | 803,2                 | 2.537                 | 246,3                 | 5,28                 | 374,5                 |
| W 200 x 86,0 (H)    | 86,0                    | 110,9       | 9.498                 | 855,7                 | 9,26                 | 984,2                 | 3.139                 | 300,4                 | 5,32                 | 458,7                 |
| W 250 x 17,9        | 17,9                    | 23,1        | 2.291                 | 182,6                 | 9,96                 | 211,0                 | 91                    | 18,1                  | 1,99                 | 28,8                  |
| W 250 x 22,3        | 22,3                    | 28,9        | 2.939                 | 231,4                 | 10,09                | 267,7                 | 123                   | 24,1                  | 2,06                 | 38,4                  |
| W 250 x 25,3        | 25,3                    | 32,6        | 3.473                 | 270,2                 | 10,31                | 311,1                 | 149                   | 29,3                  | 2,14                 | 46,4                  |
| W 250 x 28,4        | 28,4                    | 36,6        | 4.046                 | 311,2                 | 10,51                | 357,3                 | 178                   | 34,8                  | 2,20                 | 54,9                  |
| W 250 x 32,7        | 32,7                    | 42,1        | 4.937                 | 382,7                 | 10,83                | 428,5                 | 473                   | 64,8                  | 3,35                 | 99,7                  |
| W 250 x 38,5        | 38,5                    | 49,6        | 6.057                 | 462,4                 | 11,05                | 517,8                 | 594                   | 80,8                  | 3,46                 | 124,1                 |
| W 250 x 44,8        | 44,8                    | 57,6        | 7.158                 | 538,2                 | 11,15                | 606,3                 | 704                   | 95,1                  | 3,50                 | 146,4                 |
| HP 250 x 62,0 (H)   | 62,0                    | 79,6        | 8.728                 | 709,6                 | 10,47                | 790,5                 | 2.995                 | 234,0                 | 6,13                 | 357,8                 |
| W 250 x 73,0 (H)    | 73,0                    | 92,7        | 11.257                | 889,9                 | 11,02                | 983,3                 | 3.880                 | 305,5                 | 6,47                 | 463,1                 |
| W 250 x 80,0 (H)    | 80,0                    | 101,9       | 12.550                | 980,5                 | 11,10                | 1.088,7               | 4.313                 | 338,3                 | 6,51                 | 513,1                 |
| HP 250 x 85,0 (H)   | 85,0                    | 108,5       | 12.280                | 966,9                 | 10,64                | 1.093,2               | 4.225                 | 325,0                 | 6,24                 | 499,6                 |
| W 250 x 89,0 (H)    | 89,0                    | 113,9       | 14.237                | 1.095,1               | 11,18                | 1.224,4               | 4.841                 | 378,2                 | 6,52                 | 574,3                 |
| W 250 x 101,0 (H)   | 101,0                   | 128,7       | 16.352                | 1.238,8               | 11,27                | 1.395,0               | 5.549                 | 431,8                 | 6,57                 | 656,3                 |
| W 250 x 115,0 (H)   | 115,0                   | 146,1       | 18.920                | 1.406,7               | 11,38                | 1.597,4               | 6.405                 | 494,6                 | 6,62                 | 752,7                 |
| W 310 x 21,0        | 21,0                    | 27,2        | 3.776                 | 249,2                 | 11,77                | 291,9                 | 98                    | 19,5                  | 1,90                 | 31,4                  |
| W 310 x 23,8        | 23,8                    | 30,7        | 4.346                 | 285,0                 | 11,89                | 333,2                 | 116                   | 22,9                  | 1,94                 | 36,9                  |
| W 310 x 28,3        | 28,3                    | 36,5        | 5.500                 | 356,0                 | 12,28                | 412,0                 | 158                   | 31,0                  | 2,08                 | 49,4                  |
| W 310 x 32,7        | 32,7                    | 42,1        | 6.570                 | 419,8                 | 12,49                | 485,3                 | 192                   | 37,6                  | 2,13                 | 59,8                  |
| W 310 x 38,7        | 38,7                    | 49,7        | 8.581                 | 553,6                 | 13,14                | 615,4                 | 727                   | 88,1                  | 3,82                 | 134,9                 |
| W 310 x 44,5        | 44,5                    | 57,2        | 9.997                 | 638,8                 | 13,22                | 712,8                 | 855                   | 103,0                 | 3,87                 | 158,0                 |
| W 310 x 52,0        | 52,0                    | 67,0        | 11.909                | 751,4                 | 13,33                | 842,5                 | 1.026                 | 122,9                 | 3,91                 | 188,8                 |
| HP 310 x 79,0 (H)   | 79,0                    | 100,0       | 16.316                | 1.091,3               | 12,77                | 1.210,1               | 5.258                 | 343,7                 | 7,25                 | 525,4                 |
| HP 310 x 93,0 (H)   | 93,0                    | 119,2       | 19.682                | 1.299,1               | 12,85                | 1.450,3               | 6.387                 | 414,7                 | 7,32                 | 635,5                 |
| W 310 x 97,0 (H)    | 97,0                    | 123,6       | 22.284                | 1.447,0               | 13,43                | 1.594,2               | 7.286                 | 477,8                 | 7,68                 | 725,0                 |
| W 310 x 107,0 (H)   | 107,0                   | 136,4       | 24.839                | 1.597,3               | 13,49                | 1.768,2               | 8.123                 | 530,9                 | 7,72                 | 806,1                 |
| HP 310 x 110,0 (H)  | 110,0                   | 141,0       | 23.703                | 1.539,1               | 12,97                | 1.730,6               | 7.707                 | 497,3                 | 7,39                 | 763,7                 |
| W 310 x 117,0 (H)   | 117,0                   | 149,9       | 27.563                | 1.755,6               | 13,56                | 1.952,6               | 9.024                 | 587,9                 | 7,76                 | 893,1                 |
| HP 310 x 125,0 (H)  | 125,0                   | 159,0       | 27.076                | 1.735,6               | 13,05                | 1.963,3               | 8.823                 | 565,6                 | 7,45                 | 870,6                 |



Nome: \_\_\_\_\_ N° USP: \_\_\_\_\_

### Questão 2 (5,0) – Resolução.

Identificados os esforços  $N_0$  e  $M_0$ , seguimos a sugestão para uma primeira escolha de perfil,

com

$$\sigma_N = \frac{N_0}{A} \approx \frac{\bar{\sigma}}{10} \Rightarrow A \approx \frac{10N_0}{\bar{\sigma}} \quad \sigma_M = \frac{M_0}{W} \approx \frac{9\bar{\sigma}}{10} \Rightarrow W \approx \frac{10M_0}{9\bar{\sigma}}$$

Em seguida, procuramos outros perfis, que reduzam o peso por metro, preservando a condição:

$$|\sigma_{\max}| = \max|\sigma_N \pm \sigma_M| \leq \bar{\sigma}$$

A questão será considerada correta se o aluno encontrar, de forma sistemática e objetiva, perfis com peso, por metro linear, iguais ou inferiores aos da primeira ou segunda seleção abaixo (conforme o caso).

| m=0 ou 1    | n=2     |      |            |        |     |
|-------------|---------|------|------------|--------|-----|
| Esforços:   |         |      | Requerido: |        |     |
| N           | -42,2   | kN   | A0         | 21,1   | cm2 |
| M           | 43,1    | kNm  | W0         | 239,4  | cm3 |
| 1a seleção: | W310x21 |      |            |        |     |
| A1          | 27,2    | cm2  | Sigma_N    | -15,5  | MPa |
| W1          | 249,2   | cm3  | Sigma_M    | 173,0  | MPa |
| peso/m      | 21      | kg/m | Sigma      | -188,5 | MPa |

| m= 6 ou 7   | n=13      |      |             |        |     |
|-------------|-----------|------|-------------|--------|-----|
| Esforços:   |           |      | Requerido:  |        |     |
| N           | -10,8     | kN   | A0          | 5,4    | cm2 |
| M           | 49,6      | kNm  | W0          | 275,6  | cm3 |
| 1a seleção: | w250x25,3 |      | 1a seleção: |        |     |
| A1          | 32,6      | cm2  | Sigma_N     | -3,3   | MPa |
| W1          | 270,2     | cm3  | Sigma_M     | 183,6  | MPa |
| peso/m      | 25,3      | kg/m | Sigma       | -186,9 | MPa |
| 2a seleção: | w310x23,8 |      | 2a seleção  |        |     |
| A2          | 30,7      | cm2  | Sigma_N     | -3,5   | MPa |
| W2          | 285       | cm3  | Sigma_M     | 174,0  | MPa |
| peso/m      | 23,8      | kg/m | Sigma       | -177,6 | MPa |

| m= 2 ou 3   | n=5       |      |             |        |     |
|-------------|-----------|------|-------------|--------|-----|
| Esforços:   |           |      | Requerido:  |        |     |
| N           | -105,8    | kN   | A0          | 52,9   | cm2 |
| M           | 33,6      | kNm  | W0          | 186,7  | cm3 |
| 1a seleção: | w200x22,5 |      | 1a seleção: |        |     |
| A1          | 29        | cm2  | Sigma_N     | -36,5  | MPa |
| W1          | 197       | cm3  | Sigma_M     | 170,6  | MPa |
| peso/m      | 22,5      | kg/m | Sigma       | -207,0 | MPa |
| 2a seleção: | w310x23,8 |      | 2a seleção  |        |     |
| A2          | 30,7      | cm2  | Sigma_N     | -34,5  | MPa |
| W2          | 285       | cm3  | Sigma_M     | 117,9  | MPa |
| peso/m      | 23,8      | kg/m | Sigma       | -152,4 | MPa |

| m= 8 ou 9   | n=22      |      |             |        |     |
|-------------|-----------|------|-------------|--------|-----|
| Esforços:   |           |      | Requerido:  |        |     |
| N           | -105,9    | kN   | A0          | 53,0   | cm2 |
| M           | 25,3      | kNm  | W0          | 140,6  | cm3 |
| 1a seleção: | w250x17,9 |      | 1a seleção: |        |     |
| A1          | 23,1      | cm2  | Sigma_N     | -45,8  | MPa |
| W1          | 182,6     | cm3  | Sigma_M     | 138,6  | MPa |
| peso/m      | 17,9      | kg/m | Sigma       | -184,4 | MPa |

| m= 4 ou 5   | n=12      |      |             |        |     |
|-------------|-----------|------|-------------|--------|-----|
| Esforços:   |           |      | Requerido:  |        |     |
| N           | -80,8     | kN   | A0          | 40,4   | cm2 |
| M           | 20,9      | kNm  | W0          | 116,1  | cm3 |
| 1a seleção: | w150x18   |      | 1a seleção: |        |     |
| A1          | 23,4      | cm2  | Sigma_N     | -34,5  | MPa |
| W1          | 122,8     | cm3  | Sigma_M     | 170,2  | MPa |
| peso/m      | 18        | kg/m | Sigma       | -204,7 | MPa |
| 2a seleção: | w250x17,9 |      | 2a seleção  |        |     |
| A2          | 23,1      | cm2  | Sigma_N     | -35,0  | MPa |
| W2          | 182,6     | cm3  | Sigma_M     | 114,5  | MPa |
| peso/m      | 17,9      | kg/m | Sigma       | -149,4 | MPa |