Módulos 1 e 2– Introdução ao Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço e Revisão de Resistência dos Materiais

1.1– Considere o mezanino abaixo: (Dica – Use a NBR 6120/19)

Dados:

Perfil da Viga: W310X21 ASTM A572GR50

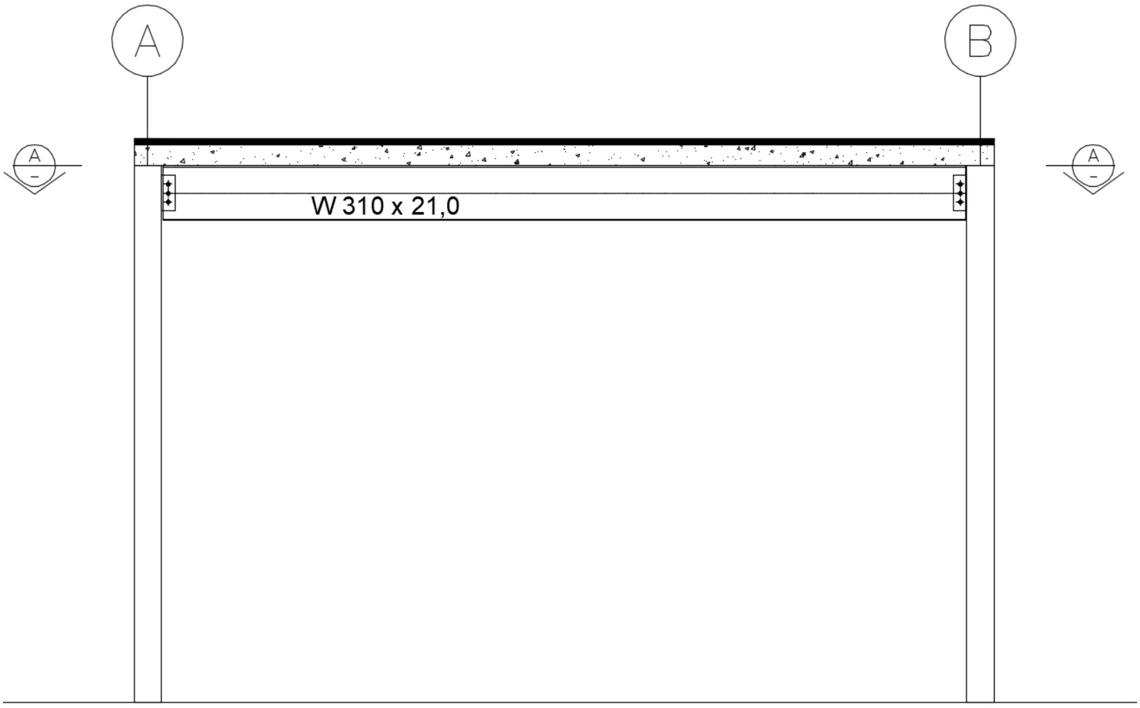
Laje de Concreto maciça espessura 12cm

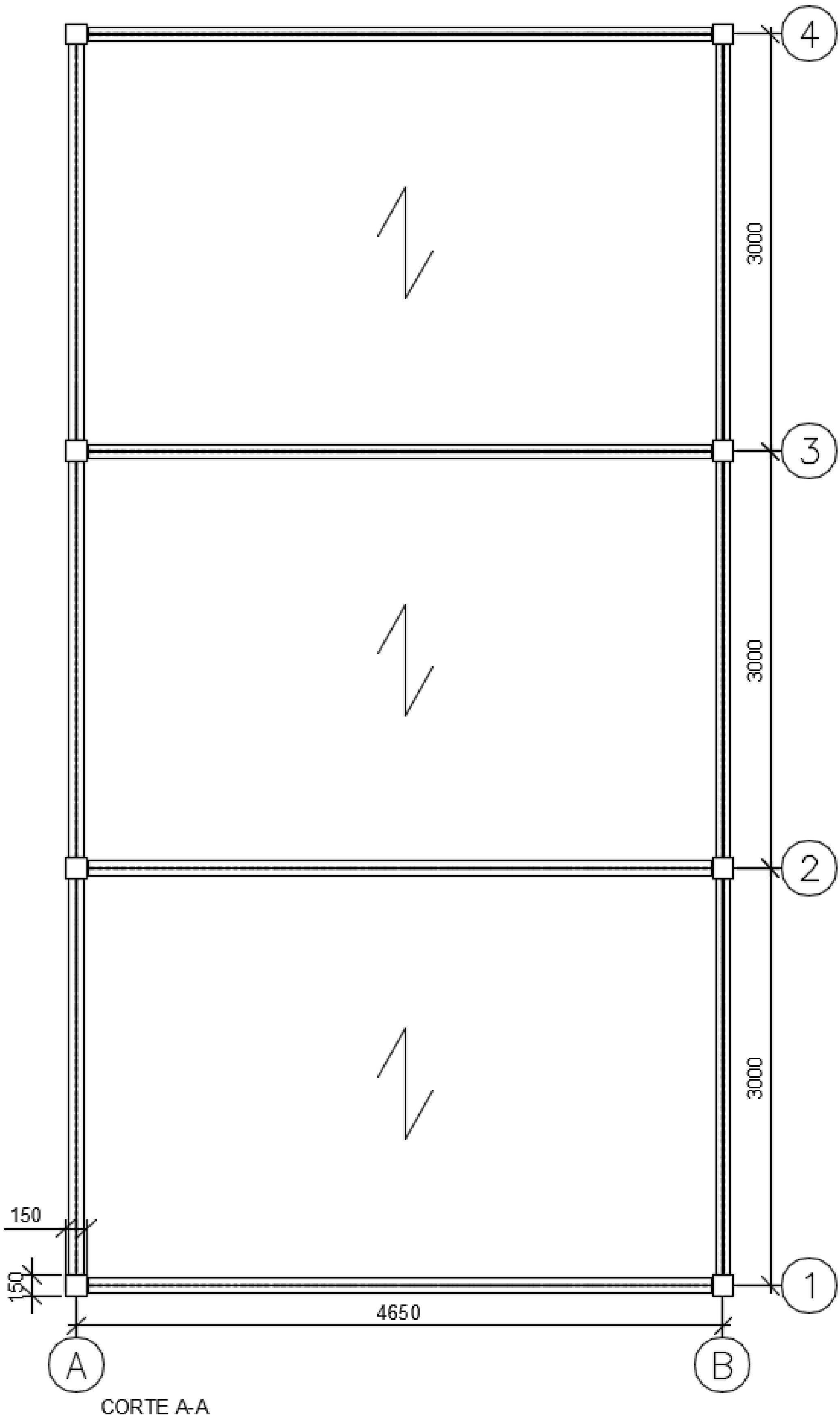
Contrapiso: 2cm

Piso de Cerâmico espessura 1cm

Utilização: Academia de Ginástica

Medidas em milímetros




4
3
2
1
3000
3000
3000
150
150
4650
A
B
CORTE A-A

Pede-se:

a) Descreva as cargas permanentes e variáveis em kN/m² (para E.L.S e E.L.U)

ELS (Cargas para Estados Limites de Serviço)

Cargas Permanentes

Laje de concreto maciça: o peso específico de lajes de concreto armado maciças é 25 kN/m³ conforme item 3 da Tabela 1 da NBR6120/19.

Portanto para obter o peso /m² multiplica-se a densidade pela espessura da laje

Qlaje = 25 x 0,12 = 3 kN/m²

Contrapiso: o contrapiso é uma argamassa de cimento e areia, cuja densidade é 21 kN/m³ de acordo com o item 3 da Tabela 1 da NBR6120/19

QCpiso = 21 x 0,02 = 0,42 kN/m

Piso Cerâmico: Lajotas cerâmicas possuem densidade 18 kN/m³ (item 2 da Tabela 1 NBR6120/19)

QPiso = 18 x 0,01 = 0,18 kN/m²

Peso próprio da Viga: Como o exercício pede o valor em kN/m², somamos o peso de todas as vigas e dividimos pela área do mezanino:

Qpp = (4 vigas x 4,65m x 0,21kN/m + 6 Vigas x 3m x 0,21 kN/m)/ (4,65m x 9m)= 0,18 kN/m²

Em situações corriqueiras não há a necessidade de fazer essa operação, deixamos o peso da viga linearizado para somarmos depois, com as outras cargas também linearizadas.

Portanto: Qpermanentes (ELS) = 3 + 0,42 + 0,18 + 0,18 = 3,78 kN/m²

Cargas Variáveis:

Sobrecarga de uso e ocupação de academias é 5 kN/m² de acordo com o item “Clubes” da Tabela 10 da NBR6120/19

Portanto: Qvariável(ELS) = 5 kN/m²

ELU (Cargas para Estados Limites Últimos)

Cargas Permanentes

Como todas as cargas são gravitacionais e apontam para a mesma direção, majoramos todas elas.

Laje de concreto maciça: Laje de concreto maciça se enquadra como “Peso próprio de estruturas moldadas no local...”, portanto majoração de 1,35 conforme Tabela 1 da NBR8800/08

Qlaje = **1,35 x** 3 kN/m²

Contrapiso: Contrapiso também se enquadra como “Peso próprio de estruturas moldadas no local...”, portanto majoração de 1,35 conforme Tabela 1 da NBR8800/08

QCpiso = **1,35 x** 0,42 kN/m

Piso Cerâmico: Lajotas cerâmicas podem ser considerado como “elemento industrializado com adições in loco....”, portanto fator de majoração 1,4

QPiso = **1,4** x 0,18 kN/m²

Peso próprio da Viga: Peso próprio de estruturas metálicas tem fator de majoração 1,25

Qpp = **1,25 x** 0,18 kN/m²

Portanto: Qpermanentes (ELU) = **1,35 x** 3 + **1,35 x** 0,42 + **1,4 x** 0,18 + **1,25 x** 0,18 = 5,094 kN/m²

Cargas Variáveis:

Sobrecarga de uso e ocupação são majoradas em 1,5

Portanto: Qvariável (ELU) = **1,5 x** 5 kN/m² = 7,5 kN/m²

b) Descreva o carregamento uniformemente distribuído em kN/m e desenhe o diagrama de corpo livre das vigas dos eixos 2 e 3 (para E.L.S e E.L.U)

Para as vigas 2 e 3, a largura de influência é igual a 3m. Somamos então as cargas permanentes e variáveis e multiplicamos pela largura de influência para obter o carregamento uniformemente distribuído

Q(ELS) = (3,78 + 5) x 3 = 26,34 kN/m

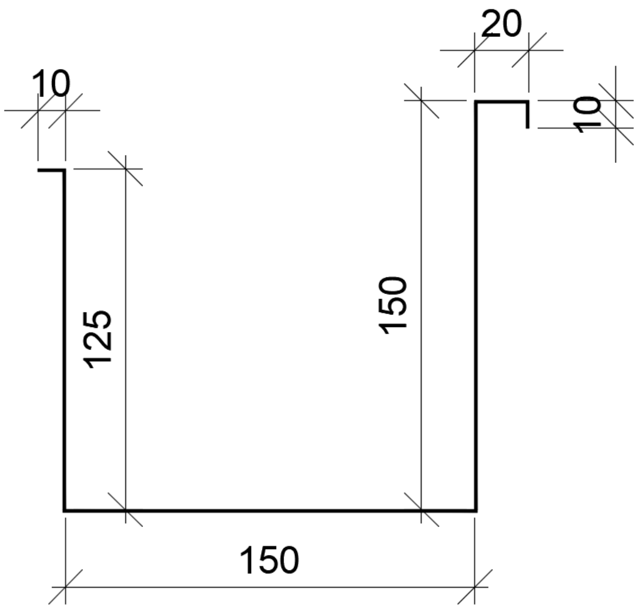
Q(ELU) = (5,094 + 7,5) x 3 = 37,78 kN/m

c) Descreva o carregamento uniformemente distribuído em kN/m e desenhe o diagrama de corpo livre das vigas dos eixos 1 e 4 (para E.L.S e E.L.U)

Para as vigas 1 e 4, a largura de influência é igual a 1,5m (Metade da largura de uma viga central).

Q(ELS) = (3,78 + 5) x 1,5 = 13,17 kN/m
Q(ELU) = (5,094 + 7,5) x 1,5 = 18,89 kN/m

1.2– Determine o peso por metro linear da calha abaixo:



Dados: Espessura = 0,65mm

Se quiser, despreze os raios de curvatura.

Cotas em Milímetros

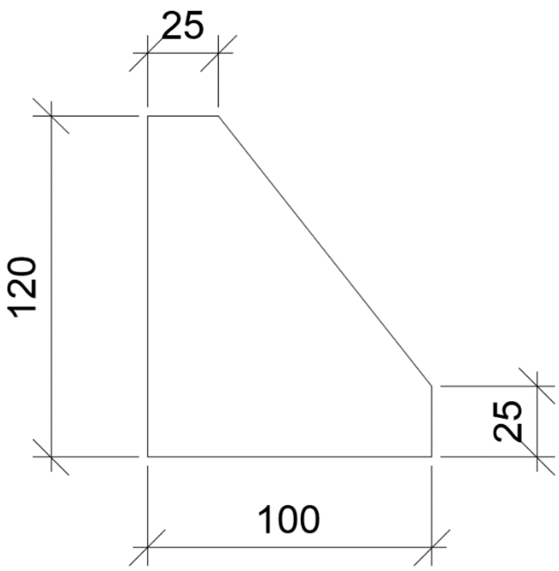
Para descobrirmos o peso por metro linear de um perfil qualquer, o método mais prático é descobrir a área de seção transversal em cm² e multiplicar pelo fator 0,7850

A área da seção transversal, nesse caso vai ser o perímetro multiplicado pela espessura da chapa. Observe que nesse caso estou desconsiderando os raios de dobramento, o que é bastante usual, viste que esse cálculo é muitas vezes utilizado em ocasiões em que precisamos ter um valor aproximado do peso.

A = (1+12,5 + 15 + 15 + 2 + 1) x 0,065 = 3,02 cm²

M = 0,7850 . A = 0,7850 x 3,02 = 2,37 kg/m

1.3 - Determine o Peso total da chapa de nervura abaixo:



Dados: Espessura = 6,35mm

Medidas em milímetros

Para encontrar o peso de uma chapa simples, basta encontrar o volume (que nesse caso pode ser encontrado multiplicando-se a área da chapa pela espessura) e depois multiplicando pela densidade (7850 kg/m³)

A = 0,12 x 0,025 + (0,1-0,025) x 0,025 + (0,12-0,025) x (0,1-0,025) /2 = 0,008437m²

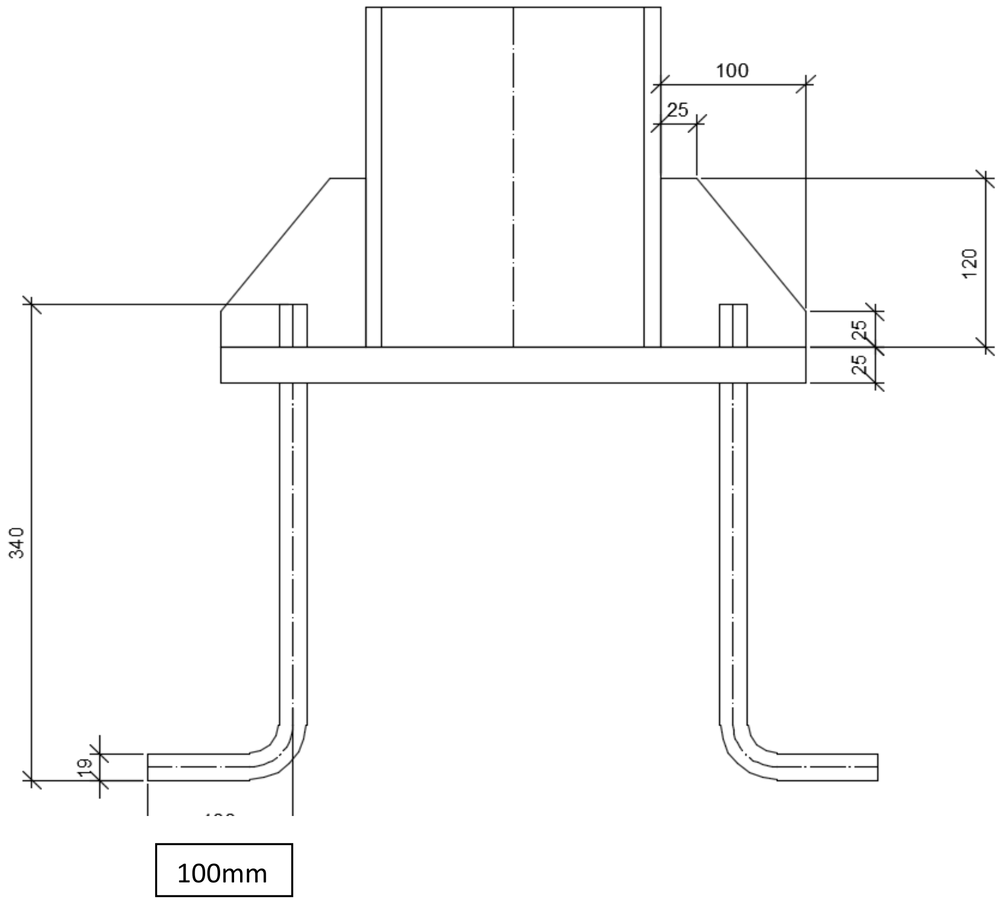
De posse da área, multiplicamos pela espessura para obter o volume

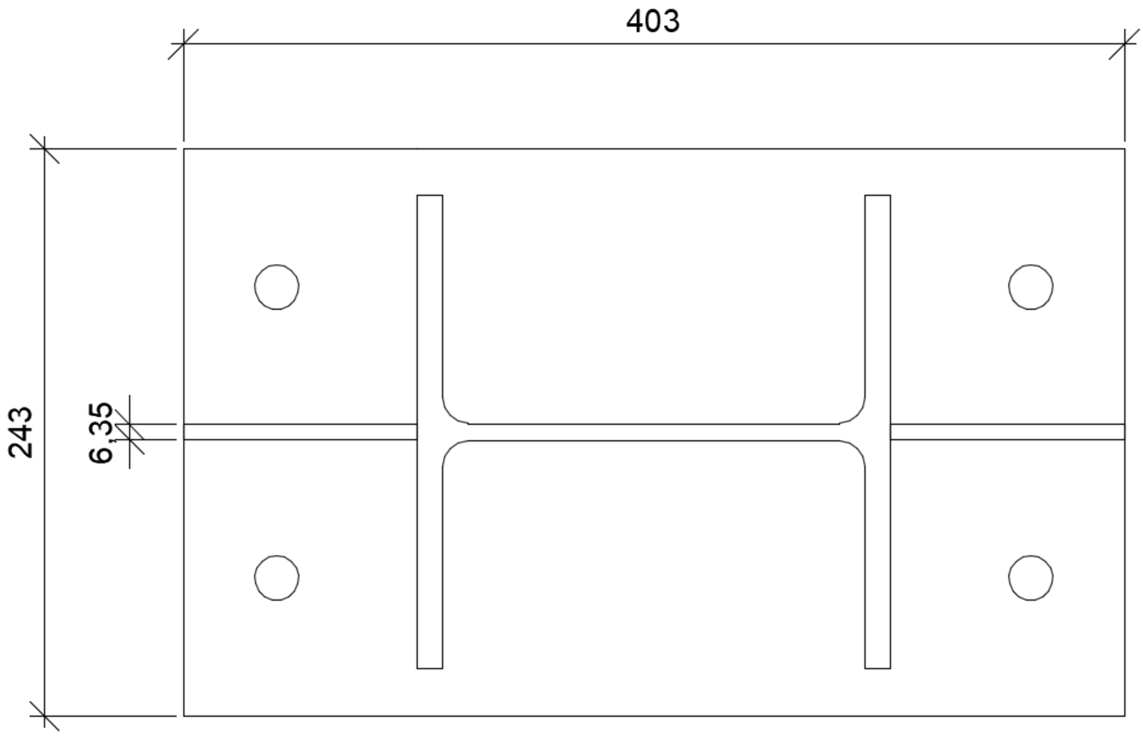
V = A . t   V = 0,008437 x 0,00635 = 0,0000536m³

Finalmente, calculamos o peso de uma chapa

M = d . V   m = 7850 x 0,0000536 = 0,420 kg

1.4 - Considere a placa de base abaixo:





Pede-se:

a) Determine o peso total dos chumbadores de aço SAE1020

$$A = \frac{\pi . D^2}{4} \rightarrow A = \frac{\pi . 1{,}9^2}{4} \rightarrow A = 2{,}835cm^2$$

De posse da área, podemos encontrar o peso por metro linera

M= 0,7850 x 2,835 = 2,225 kg/m

Porém, cada chumbador não possui um metro linear, mas possui 0,34 + 0,10 = 0,44m (aproximações podem ser feitas)

Portanto o peso de um chumbador é

P = 2,225 x 0,44 = 0,98 kg

Assim, o peso de 4 chumbadores será:

Pchu = 4 x 0,98 = 3,92 kg

b) Determine o peso total dos enrijecedores ASTM A36

Os enrijecedores são os mesmos que calculamos no exercício 1.3

Portanto o peso total será

Penrij = 2 x 0,42 = 0,84 kg

c) Determine o Peso total da Chapa de Base ASTM A36

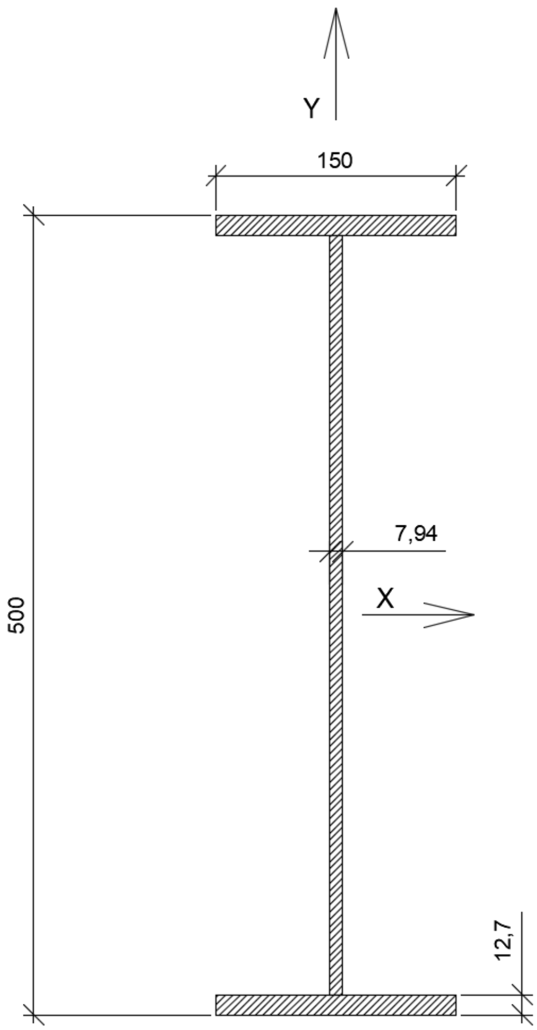
V = 0,403 x 0,243 x 0,025 = 0,00245m³

Pchapa = 7850 x 0,00245 = 19,21 kg (não há necessidade de se descontar a área do furo)

d) Determine o Peso total dos Elementos da placa de base, exceto o perfil do pilar.

Ptotal = 3,92 + 0,84 + 19,21 = 23,97 kg

1.5 - Considere o perfil I abaixo:



Pede-se:

a) Determine a área da seção transversal e o peso por metro linear do perfil

Somamos as áreas dos retângulos

A = 2 x 15 x 1,27 + (50-2x1,27) x 0,794=75,78 cm²

M = 0,7850 x 75,78 = 59,48 kg/m

b) Determine o Momento de Inércia Ix

Podemos fazer isso através do teorema de Steiner ou através do formulário do livro Formulas For Stress and Strain

Método 1: Teorema de Steiner

Inércia individual de cada uma das mesas:

$$I_{mesa} = \frac{15\,.\,1{,}27^3}{12} = 2{,}56cm^4$$

Área de Cada Mesa

A = 15 x 1,27 = 19,05 cm²

Distância da linha neutra da mesa até a linha neutra do perfil:

D = 25 – (1,27/2) = 24,36cm

Inércia individual da alma do perfil

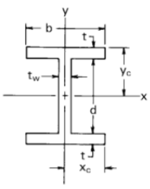
$$I_{Alma} = \frac{0{,}794\,.\,(50 - 2\,.\,1{,}27)^3}{12} = 7073{,}3\ cm^4$$

A linha Neutra da alma do perfil coincide com a linha Neutra do perfil devido à dupla simetria, portanto d = 0, não sendo necessário calcular a área pois será multiplicada por zero na hora de aplicar o Teorema de Steiner

Aplica-se então o teorema de Steiner:

$$I = 2\,.\,(2{,}56 + 19{,}05\,.\,24{,}36^2) + 7073{,}3 = 29687{,}32\ cm^4$$

Método 2: Formulário Formulas for Stress and Strain

Form of section	Area and distances from centroid to extremities	Moments and products of inertia and radii of gyration about central axes	Plastic section moduli, shape factors, and locations of plastic neutral axes
6. Wide-flange beam with equal flanges 	$A = 2bt + t_w d$ $y_c = \frac{d}{2} + t$ $x_c = \frac{b}{2}$	$I_x = \frac{b(d+2t)^3}{12} - \frac{(b-t_w)d^3}{12}$ $I_y = \frac{b^3 t}{6} + \frac{t_w^3 d}{12}$ $r_x = \left(\frac{I_x}{A}\right)^{1/2}$ $r_y = \left(\frac{I_y}{A}\right)^{1/2}$	$Z_x = \frac{t_w d^2}{4} + bt(d+t)$ $SF_x = \frac{Z_x y_c}{I_x}$ $Z_y = \frac{b^2 t}{2} + \frac{t_w^2 d}{4}$ $SF_y = \frac{Z_y x_c}{I_y}$

$$I_x = \frac{15(47{,}46 + 2\,.\,1{,}27)^3}{12} - \frac{(15 - 0{,}794).\,47{,}46^3}{12} = 29696{,}61$$

Os valores obtidos pelo Teorema de Steiner se aproximarão mais do formulário, quando usarmos mais casas decimais. Para efeitos de cálculo cotidiano, não devemos considerar essa diferença significativa (0,03% de variação total)

c) Determine o Módulo Resistente Elástico Wx

O módulo resistente elástico é a razão entre a Inércia do Perfil pela distância da linha neutra até a face mais externa

Aqui vamos usar a Inércia obtida pelo formulário, mas poderia ser aquela obtida pelo cálculo do teorema de Steiner

$$W = \frac{I}{y} \rightarrow W = \frac{29696,1}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 1187,86\ cm^3$$

d) Determine o Raio de Giração rx

$$r_x = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow r_x = \sqrt{\frac{29696,1}{75,78}} \rightarrow r_x = 19,79cm$$

e) Determine o Módulo Resistente Plástico Zx

Usaremos o formulário Formulas for Stress and Strain (ver item b neste exercício)

$$Z_x = \frac{0,794\ .\ 47,46^2}{4} + 15\ .\ 1,27\ (47,46 + 1,27) = 1375,41cm^3$$

f) Determine o Momento de Inércia Iy

Pelo Formulario:

$$I_y = \frac{15^3\ .\ 1,27}{6} + \frac{0,794^3 .\ 47,46}{12} = 716,35\ cm^4$$

g) Determine o Módulo Resistente elástico Wy

$$W = \frac{I}{y} \rightarrow W = \frac{716,35}{\left(\frac{15}{2}\right)} = 95,51cm^3$$

h) Determine o Raio de Giração ry

$$r_y = \sqrt{\frac{I}{A}} \rightarrow r_i = \sqrt{\frac{716,35}{75,78}} \rightarrow r_y = 3,07cm$$

i) Determine o Módulo Resistente Plástico Zy

$$Z_y = \frac{15^2 \, . \, 1,27}{2} + \frac{0,794^2 \, . \, 47,46}{4} = 150,35cm^3$$

1.6 - Ainda considerando o perfil do exercício anterior:

a) Determine o valor do Momento fletor máximo em relação ao eixo X-X (kN.cm) capaz de levar o perfil à plastificação total da seção transversal, considerando aço ASTM A36

A plastificação total da seção transversal ocorre quando o momento fletor atinge Z. Fy, portanto

$$M_{PTS} = Z_x . F_y \rightarrow M_{PTS} = 1375{,}41 . 25 = 34385{,}25\ kN.cm$$

b) Determine o valor do Momento Fletor (kN.cm) em relação ao Eixo X-X que levaria o perfil à 65% do limite de escoamento da seção transversal, considerando aço ASTM A36

Obtemos a tensão atuante pela divisão M/W

Portanto:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Queremos que a tensão atuante seja 0,65Fy, então:

$$0{,}65 . F_y = \frac{M}{W}$$

$$M = 0{,}65 . F_y . W_x \rightarrow M = 0{,}65 . 25 . 1187{,}86 = 19302{,}72\ kN.cm$$

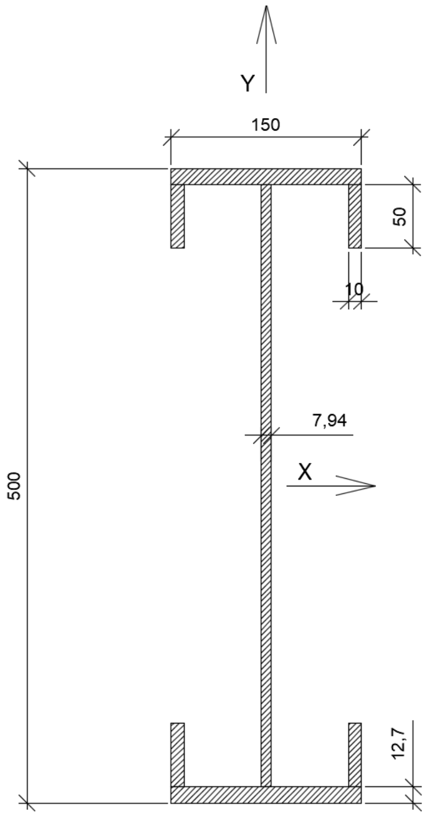
c) Determine o valor do Momento fletor máximo em relação ao eixo Y-Y (kN.cm) capaz de levar o perfil à plastificação total da seção transversal, considerando aço ASTM A36

$$M_{PTS} = Z_y . F_y \rightarrow M_{PTS} = 150{,}35 . 25 = 3758{,}75 kN.cm$$

d) Determine o valor do Momento Fletor (kN.cm) em relação ao Eixo Y-Y que levaria o perfil à 65% do limite de escoamento da seção transversal, considerando aço ASTM A36

$$M = 0{,}65 . F_y . W_y \rightarrow M = 0{,}65 . 25 . 95{,}51 = 1552{,}03\ kN.cm$$

1.7 - Foram soldados quatro reforços de barra chata ao perfil do exercício 1.5. Pede-se: (dica: use o teorema de Steiner)



a) Determine a área da seção transversal e o peso por metro linear do perfil

Basta adicionar a área das chapas:

A = 75,78 + 4 x 5 x 1 = 95,78 cm²

E calcular o peso:

M = 95,78 x 0,7850 = 75,18 kg/m

b) Determine o Momento de Inércia Ix

Usando o Teorema de Steiner, vamos adicionar as inércias das chapas à Inércia do perfil, já calculado,

Área de cada chapa = 5 x 1 = 5cm²

Distância da linha neutra da chapa até a linha neutra do perfil = 25-1,27-5/2 = 21,23cm

$$I_x = 4\,.\left(\frac{1\,.\,5^3}{12} + 5\,.\,21{,}23^2\right) + 29696{,}1 = 38752\ cm^4$$

c) Determine o Módulo Resistente Elástico Wx

$$W = \frac{I}{y} \rightarrow W = \frac{38752}{\left(\frac{50}{2}\right)} = 1550\ cm^3$$

d) Determine o Raio de Giração rx

$$r_x = \sqrt{\frac{38752}{95{,}78}} = 20{,}11 cm$$

e) Determine o Momento de Inércia Iy

Adicionaremos ao perfil a Inércia das chapas

Área de cada chapa = 5cm²

Distância da linha neutra da chapa até a linha neutra do perfil = 7,5-0,5 = 7cm

$$I_y = 4 . \left(\frac{5 . 1^3}{12} + 5 . 7^2\right) + 716{,}35 = 1698\ cm^4$$

f) Determine o Módulo Resistente elástico Wy

$$W = \frac{I}{y} \rightarrow W = \frac{1698}{\left(\frac{15}{2}\right)} = 226{,}4\ cm^3$$

g) Determine o Raio de Giração ry

$$r_x = \sqrt{\frac{1698}{95{,}78}} = 4{,}21\ cm$$

1.8 - Ainda considerando o perfil do exercício 1.7:

a) Determine o valor do Momento fletor máximo (kN.cm) capaz de levar a tensão máxima do perfil 99% do limite de escoamento considerando aço ASTM A36

$$0{,}99.F_y = \frac{M}{W} \rightarrow M = 0{,}99\,.F_y.W_x \rightarrow M = 0{,}99\,.\,25\,.\,1550 = 38362{,}5\ kN.cm$$

b) Considerando um Momento Fletor em relação ao eixo X-X de 3200 kN.cm, qual a tensão atuante na altura da linha neutra das chapas de reforço

$$\sigma = \frac{M.y}{I_x} \rightarrow \sigma = \frac{3200.(25 - 1{,}27 - 2{,}5)}{38752} \rightarrow 1{,}75\ kN/cm^2$$

c) Considerando um Momento Fletor em relação ao eixo Y-Y de 1750 kN.cm, qual a tensão atuante na altura da linha neutra das chapas de reforço.

$$\sigma = \frac{M.y}{I_x} \rightarrow \sigma = \frac{1750.(7{,}5 - 0{,}5)}{1698} \rightarrow 7{,}21\ kN/cm^2$$

1.9 - Considerando que as vigas dos eixos 2 e 3 do Exercício 1.1 fossem substituídas pela bitola do perfil do exercício 1.5, pede-se:

a) Qual o carregamento uniformemente distribuído para E.L.S?

Nesse caso poderíamos atualizar apenas o peso próprio das vigas

Qpp = (4 vigas x 4,65m x 0,5948kN/m + 6 Vigas x 3m x 0,5948 kN/m)/ (4,65m x 9m)= 0,52 kN/m²

Quando linearizássemos, teríamos pp = 0,52 x 3 = 1,56 kN/m... o que é bastante alto se comparamos com o peso da viga real... isso acontece pois as outras vigas laterais estão entrando na conta também, e com isso aumentando o peso próprio

Mas você pode optar por usar a carga já linearizada da própria viga para fazer a conta:

Cargas Permanentes

Qlaje = 25 x 0,12 x 3 = 9 kN/m

QCpiso = 21 x 0,02 x 3 = 1,26 kN/m

QPiso = 18 x 0,01 x 3 = 0,54 kN/m

Qpp = 0,5948 kN/m (Já está linearizada)

Portanto: Qpermanentes (ELS) = 9 + 1,26 + 0,54 + 0,5948 = 11,40 kN/m

Cargas Variáveis:

Sobrecarga de uso e ocupação de academias é 5 kN/m² de acordo com o item “Clubes” da Tabela 10 da NBR6120/19

Portanto: Qvariável(ELS) = 5 x 3 = 15 kN/m

Qels = 11,40 + 15 = 26,4 kN/m

b) Qual o Carregamento Uniformemente Distribuído para E.L.U?

Cargas Permanentes

Qlaje = **1,35 .** 25 x 0,12 x 3 = 12,15 kN/m

QCpiso = **1,35 .** 21 x 0,02 x 3 = 1,70 kN/m

QPiso = **1,4** . 18 x 0,01 x 3 = 0,756 kN/m

Qpp = **1,25 .** 0,5948 kN/m = 0,7435

Portanto: Qpermanentes (ELU) = 12,15 + 1,70 + 0,756 + 0,7435 = 15,35 kN/m

Cargas Variáveis:

Qvariável(ELU) = **1,5 .** 5 x 3 = 22,5 kN/m

Qelu = 15,35 + 22,5 = 37,85 kN/m

c) Qual a flecha Máxima atuante, considerando viga bi-apoiada? Desenhe o diagrama de corpo livre indicando o carregamento e a flecha atuante.

Para cálculo de flechas, sempre usamos o carregamento de ELS

$$f = \frac{5\,.\,q.\,l^4}{384\,.\,E.\,I_x}$$

$$f = \frac{5\,.\,0{,}264.\,465^4}{384\,.\,20000.\,29696{,}1} = 0{,}27cm$$

d) Qual o Momento Fletor Máximo atuante, considerando Viga Bi-apoiada? Desenhe o diagrama de corpo livre indicando o carregamento e o diagrama de momentos fletores

Para cálculo de esforços (Momento, tração, compressão, cortante...) usamos sempre as cargas de ELU

$$M = \frac{q.\,l^2}{8}$$

$$M = \frac{0{,}3785.\,485^2}{8} = 11129{,}8\ kN.cm$$

e) Qual a tensão máxima atuante devido ao momento fletor?

$$\sigma = \frac{M}{W} \rightarrow \sigma = \frac{11129{,}8}{1187{,}86} = 9{,}37\ kN/cm^2$$

1.10 - Considerando que as vigas dos eixos 2 e 3 do Exercício 1.1 fossem substituídas pela bitola do perfil do exercício 1.7, pede-se:

a) Qual o carregamento uniformemente distribuído para E.L.S?

Cargas Permanentes

Qlaje = 25 x 0,12 x 3 = 9 kN/m

QCpiso = 21 x 0,02 x 3 = 1,26 kN/m

QPiso = 18 x 0,01 x 3 = 0,54 kN/m

Qpp = 0,7518 kN/m (Já está linearizada)

Portanto: Qpermanentes (ELS) = 9 + 1,26 + 0,54 + 0,7518 = 11,55 kN/m

Cargas Variáveis:

Sobrecarga de uso e ocupação de academias é 5 kN/m² de acordo com o item "Clubes" da Tabela 10 da NBR6120/19

Portanto: Qvariável(ELS) = 5 x 3 = 15 kN/m

Qels = 11,55 + 15 = 26,55 kN/m

b) Qual o Carregamento Uniformemente Distribuído para E.L.U?

Cargas Permanentes

Qlaje = **1,35 .** 25 x 0,12 x 3 = 12,15 kN/m

QCpiso = **1,35 .** 21 x 0,02 x 3 = 1,70 kN/m

QPiso = **1,4** . 18 x 0,01 x 3 = 0,756 kN/m

Qpp = **1,25 .** 0,7518 kN/m = 0,94 kN/m

Portanto: Qpermanentes (ELU) = 12,15 + 1,70 + 0,756 + 0,94 = 15,55 kN/m

Cargas Variáveis:

Qvariável(ELU) = **1,5 .** 5 x 3 = 22,5 kN/m

Qelu = 15,55 + 22,5 = 38,04 kN/m

c) Qual a flecha Máxima atuante, considerando viga bi-apoiada? Desenhe o diagrama de Corpo Livre indicando o carregamento e a flecha atuante.

$$f = \frac{5\,.\,0{,}2655.\,465^4}{384\,.\,20000.\,38752} = 0{,}208cm$$

d) Qual o Momento Fletor Máximo atuante, considerando Viga Bi-apoiada? Desenhe o diagrama de Corpo Livre indicando o carregamento e o diagrama de momentos fletores.

$$M = \frac{0{,}3804.\,485^2}{8} = 11185\ kN.cm$$

e) Qual a tensão máxima atuante devido ao momento fletor?

$$\sigma = \frac{M}{W} \rightarrow \sigma = \frac{11185}{1550} = 7{,}22\ kN/cm^2$$