INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina
Câmpus
São José

Projeto Final

Mecânica dos Sólidos

Arthur Cadore Matuella Barcella

20 de Agosto de 2024

Sumário

1. Introdução:

Este relatório tem como objetivo apresentar a resolução de um conjunto de questões relacionadas à disciplina de Mecânica dos Sólidos. As questões abordam temas como diagramas de esforço cortante e momento fletor, tensão máxima de flexão, tensão de cisalhamento, dimensionamento de eixos e pilares, entre outros.

2. Parâmetros das questões:

Para este relatório, serão utilizadas as forças correspondentes a linha "A" da figura abaixo:

Figure 1: Elaborada pelo Autor

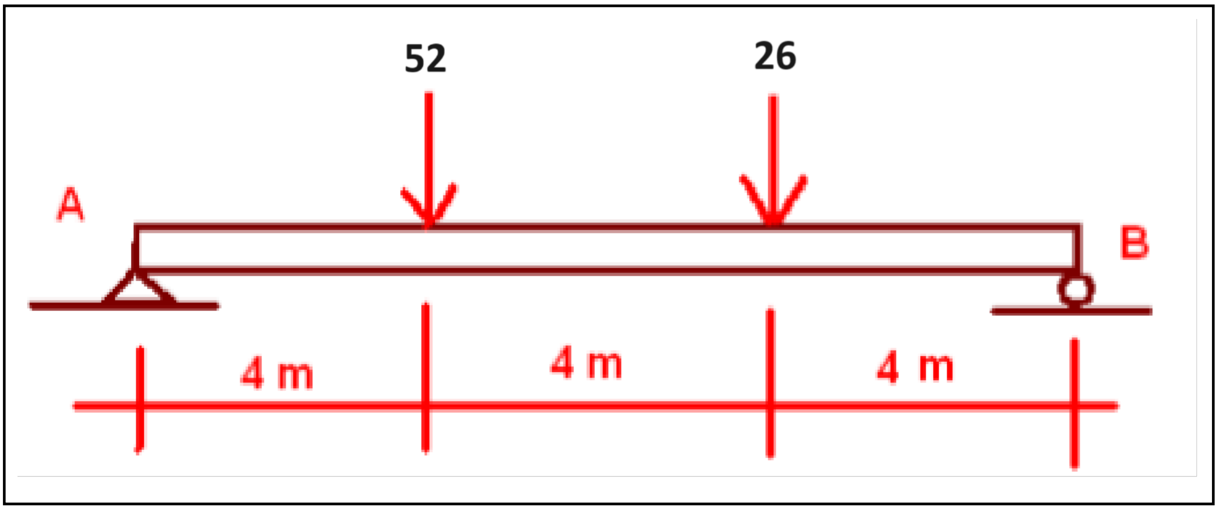
Aluno(a)	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN/m)	F4 (kN)	T1 (kN.m)	T2 (kN.m)	T3 (kN.m)	Carga P (kN) Questão 6
A	52	26	17	34	4	12	8	52
B	17	9	6	12	2	6	4	17
C	97	49	32	64	1	5	4	97
D	12	6	4	8	2	6	4	12
E	80	40	27	54	1	2	1	80

Forças a serem aplicadas no trabalho

3. Questão 1:

Desenhe os diagramas de esforço cortante e momento fletor para a viga bi-apoiada. Considere que a viga tenha secção de 12cm x 30cm. Determine qual é a tensão máxima de flexão.

Figure 2: Elaborada pelo Autor



Questão 1

Incialmente, partimos que o somatório das forças em y é igual a 0, portanto:

$$R_1 - 52k - 26k + R_2 = 0 \tag{1}$$

Desta forma, temos que:

$$R_1 + R_2 = 78k \tag{2}$$

Em seguida, determinamos que o somatório dos momentos é 0, portanto:

$$R_2 * 12 = 52k * 4 + 26k * 8 \tag{3}$$

Desta forma, temos que:

$$R_2 = \frac{52k * 4 + 26k * 8}{12} = \frac{416k}{12} = 34,666k \tag{4}$$

Como temos a relação de $R_1 + R_2 = 78k$, temos que:

$$R_1 + R_2 = 78k \to R_1 + 34,66666k = 78k \to R_1 = 43,333k \tag{5}$$

3.1. Calculo de esforço cortante e Momento fletor:

3.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 4$):

Apliando a formula $-R_1 + V_x = 0$, temos que:

$$-43,333k + V_x = 0 \tag{6}$$

Portanto:

$$V_x = 43,333k \tag{7}$$

Em seguida, para calcular o momento fletor, temos que:

$$M_x = V_x \to M_x = 43,333k_x \tag{8}$$

3.1.2. Seção 2 ($4 \leq x \leq 8$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-43,333k + 52k + V_x = 0 \tag{9}$$

Portanto:

$$V_x = -52k + 43,333k = -8,666k \tag{10}$$

Em seguida, para calcular o momento fletor, temos que:

$$52k(4-0)-8,666k+M_x=0 \tag{11}$$

Portanto:

$$M_x=208k-8,666k_x \tag{12}$$

3.1.3. Seção 3 ($8 \leq x \leq 12$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-43,333k+52k+26k+V_x=0 \tag{13}$$

Portanto:

$$V_x=-52k-26k+43,333k=-34,666k \tag{14}$$

Em seguida para calcular o momento fletor, temos que:

$$52k(4-0)+26k(8-0)-34,666k+M_x=0 \tag{15}$$

Portanto:

$$M_x=416k-34,666k_x \tag{16}$$

3.1.4. Gráficos:

A partir dos valores vistos acima, temos o seguinte gráfico de esforço cortante:

Figure 3: Elaborada pelo Autor

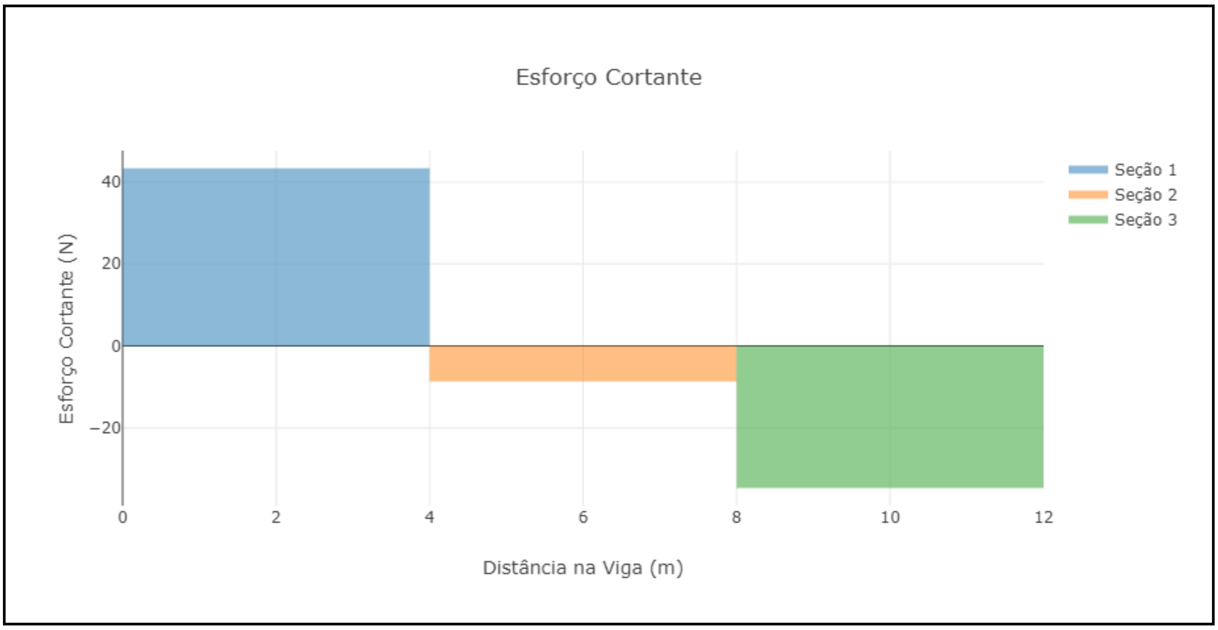


Diagrama de esforço cortante

E também, apresentado abaixo, o gráfico de momento fletor:

Figure 4: Elaborada pelo Autor

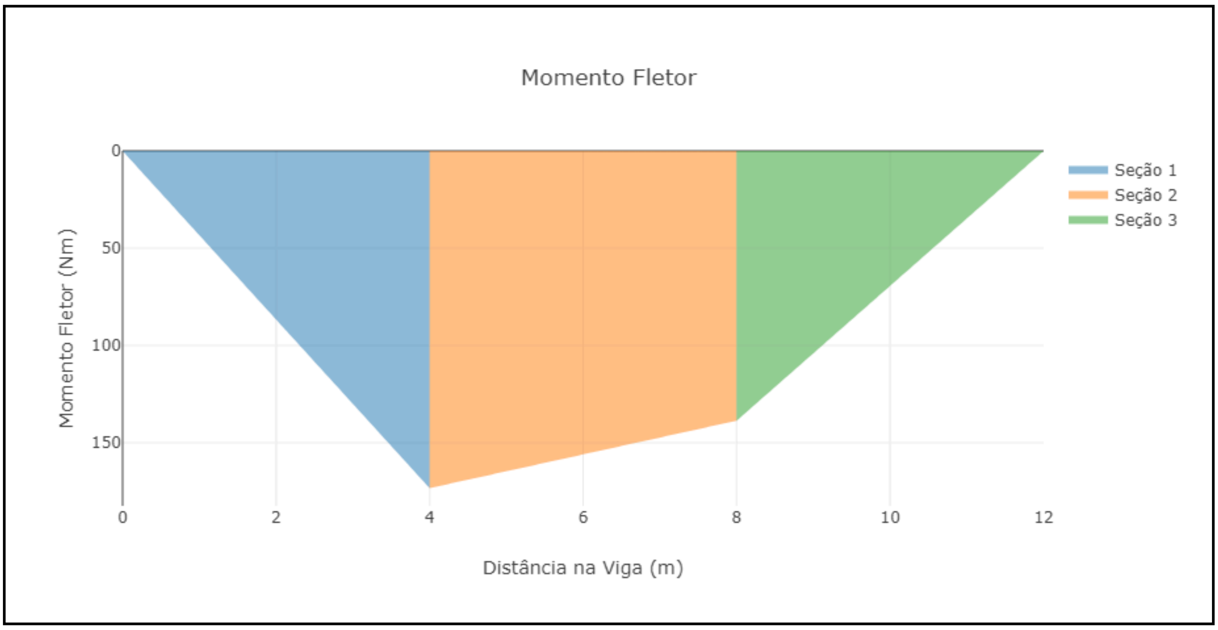


Diagrama de momento fletor

3.2. Tensão máxima de flexão:

Primeiramente, calculamos o centro de gravidade “y” na secção transversal da viga:

$$y = \frac{h}{2} = \frac{30}{2} = 15\text{cm} \rightarrow y = 0,15m \tag{17}$$

Agora calculamos o momento de inércia:

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0,12 * 0,3^3}{12} = \frac{0,12 * 0,027}{12} = 0,00027 \tag{18}$$

Para calcular a tensão máxima de flexão, utilizamos a fórmula:

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \tag{19}$$

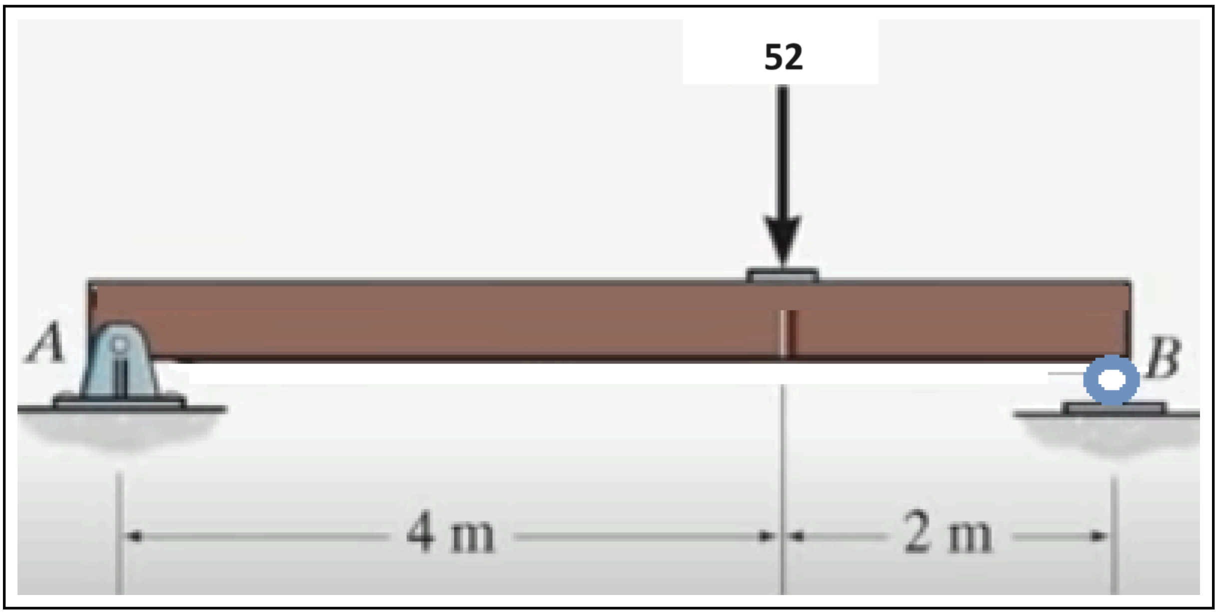
Aplicando aos valores obtidos na questão, temos que:

$$\sigma = \frac{173,33k * 0,15}{0,00027} = \frac{25,999k}{0,00027} = 96294444,44\frac{N}{m^2} \tag{20}$$

4. Questão 2:

Desenhe os diagramas de esforço cortante e momento fletor para a viga bi-apoiada. A viga tem perfil retangular com medidas de 8cm x 25cm. Determine também qual é a tensão máxima de flexão.

Figure 5: Elaborada pelo Autor



Questão 2

Inicialmente, partimos que o somatório das forças em y é igual a 0, portanto:

$$R_1 - 52k + R_2 = 0 \quad (21)$$

Desta forma, temos que:

$$R_1 + R_2 = 52k \quad (22)$$

Em seguida, determinamos que o somatório dos momentos é 0, portanto:

$$R_2 * 6 = 52k * 4 \rightarrow R_2 = \frac{52k * 4}{6} = 34,666k \quad (23)$$

Como temos a relação de $R_1 + R_2 = 52k$, temos que:

$$R_1 + R_2 = 52k \rightarrow R_1 + 34,666k = 52k \rightarrow R_1 = 17,333k \quad (24)$$

4.1. Calculo de esforço cortante e Momento fletor:

4.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 4$):

Apliando a formula $-R_1 + V_x = 0$, temos que:

$$-17,333k + V_x = 0 \quad (25)$$

Portanto:

$$V_x = 17,333k \quad (26)$$

Em seguida, para calcular o momento fletor, temos que:

$$M_x = V_x \rightarrow M_x = 17,333k_x \tag{27}$$

4.1.2. Seção 2 ($4 \leq x \leq 6$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-17,333k + 52k + V_x = 0 \tag{28}$$

Portanto:

$$V_x = -52k + 17,333k = -34,666k \tag{29}$$

Em seguida, para calcular o momento fletor, temos que:

$$52k(4 - 0) - 34,666k + M_x = 0 \tag{30}$$

Portanto:

$$M(x) = 208k - 34,666k_x \tag{31}$$

4.1.3. Gráficos:

A partir dos valores vistos acima, temos o seguinte gráfico de esforço cortante:

Figure 6: Elaborada pelo Autor

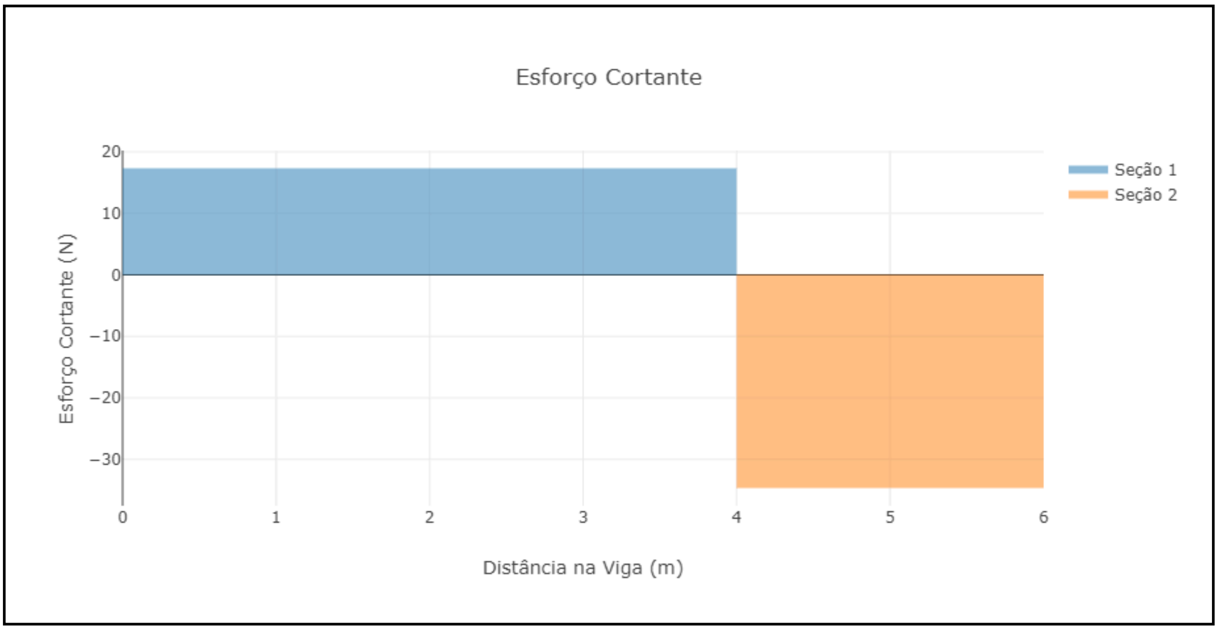


Diagrama de esforço cortante

E também, apresentado abaixo, o gráfico de momento fletor:

Figure 7: Elaborada pelo Autor

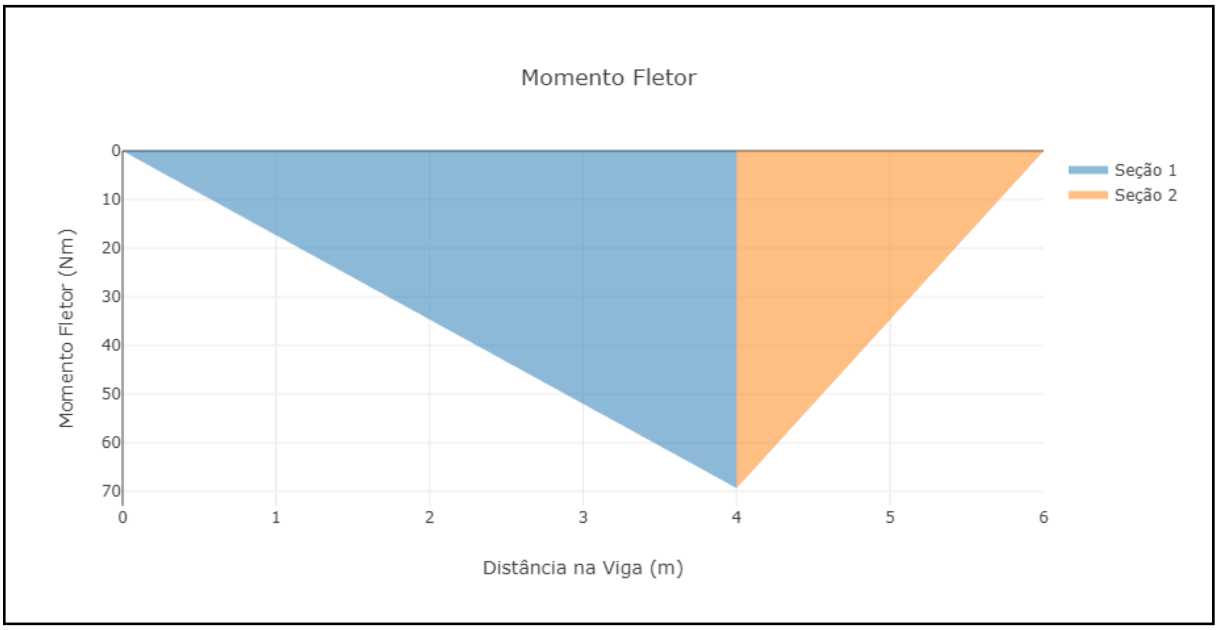


Diagrama de momento fletor

4.2. Tensão máxima de flexão:

Primeiramente, calculamos o centro de gravidade "y" na secção transversal da viga:

$$y = \frac{h}{2} = \frac{25}{2} = 12,5\text{cm} \rightarrow y = 0,125m \tag{32}$$

Agora calculamos o momento de inércia:

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0,08 * 0,25^3}{12} = \frac{0,08 * 0,015625}{12} = 0,010416 \tag{33}$$

Para calcular a tensão máxima de flexão, utilizamos a fórmula:

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \tag{34}$$

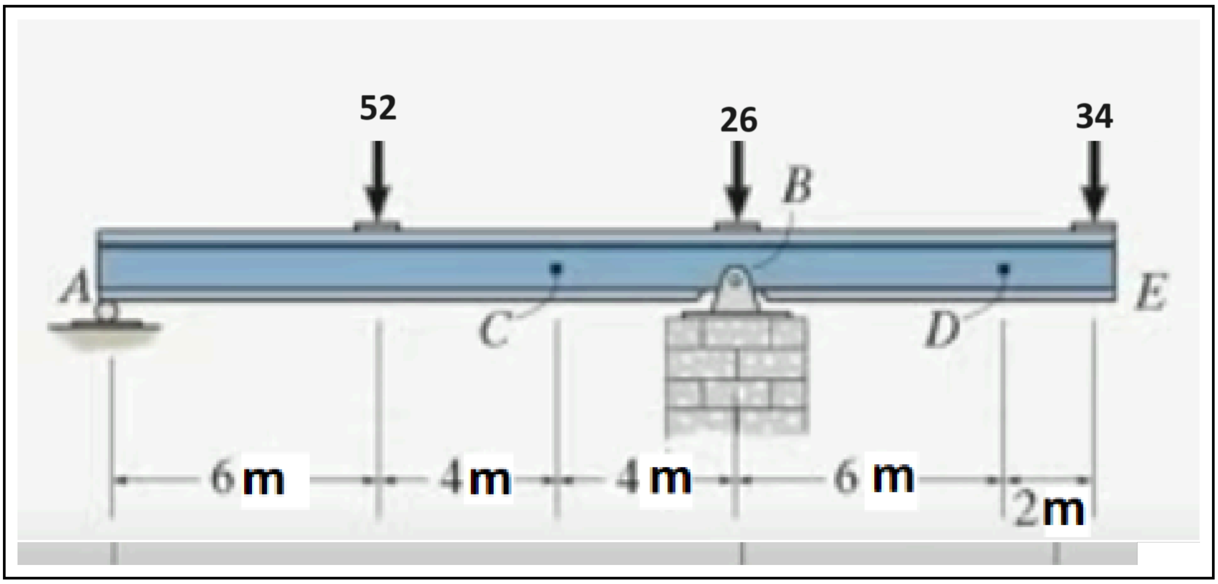
Aplicando aos valores obtidos na questão, temos que:

$$\sigma = \frac{69,333k * 0,125}{0,010416} = \frac{8,666k}{0,010416} = 832049,251 \frac{N}{m^2} \tag{35}$$

5. Questão 3:

Desenhe os diagramas de esforço cortante e momento fletor para a viga mostrada abaixo:

Figure 8: Elaborada pelo Autor



Questão 3

5.1. Calculo de esforço cortante e Momento fletor:

Inicialmente, partimos que o somatório das forças em y é igual a 0, portanto:

$$R_1 - 52k - 26k + R_2 - 34k = 0 \tag{36}$$

Desta forma, temos que:

$$R_1 + R_2 = 52k + 26k + 34k = 112k \tag{37}$$

Em seguida, determinamos que o somatório dos momentos é 0, portanto:

$$R_2 * 14 = 52k * 6 + 26k * 14 + 34k * 22 \tag{38}$$

Desta forma, temos que:

$$R_2 = \frac{52k * 6 + 26k * 14 + 34k * 22}{14} = \frac{1424k}{14} = 101,714k \tag{39}$$

Como temos a relação de $R_1 + R_2 = 112k$, temos que:

$$R_1 + R_2 = 112k \rightarrow R_1 + 101,714k = 112k \rightarrow R_1 = 10,286k \tag{40}$$

5.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 6$):

Apliando a formula $-R_1 + V_x = 0$, temos que:

$$-10,286k + V_x = 0 \tag{41}$$

Portanto:

$$V_x = 10,286k \tag{42}$$

Em seguida, para calcular o momento fletor, temos que:

$$M(x) = V_x \to M_x = 10,286k_x \tag{43}$$

5.1.2. Seção 2 ($6 \leq x \leq 14$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-10,286k + 52k + V_x = 0 \tag{44}$$

Portanto:

$$V_x = -52k + 10,286k = -41,714k \tag{45}$$

Em seguida, para calcular o momento fletor, temos que:

$$52k(6-0) - 41,714k + M_x = 0 \tag{46}$$

Portanto:

$$M_x = 312k - 41,714k_x \tag{47}$$

5.1.3. Seção 3 ($14 \leq x \leq 22$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$+10,286k + 101,714k - 52k - 26k + V_x = 0 \tag{48}$$

Portanto:

$$V_x = -52k - 26k + 101,714k + 10,286k = 34k \tag{49}$$

Em seguida para calcular o momento fletor, temos que:

$$52k(6-0) + 26k(14-0) - 34k + M_x = 0 \tag{50}$$

Portanto:

$$M_x = -748k + 34k_x \tag{51}$$

5.1.4. Gráficos:

A partir dos valores vistos acima, temos o seguinte gráfico de esforço cortante:

Figure 9: Elaborada pelo Autor

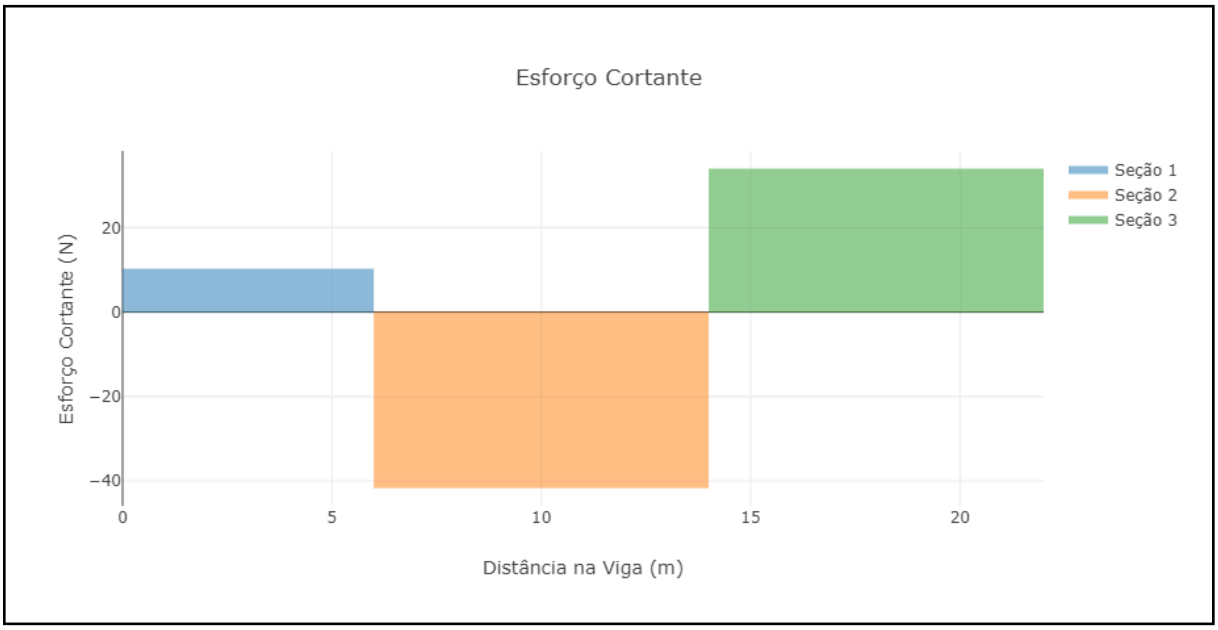


Diagrama de esforço cortante

E também, apresentado abaixo, o gráfico de momento fletor:

Figure 10: Elaborada pelo Autor

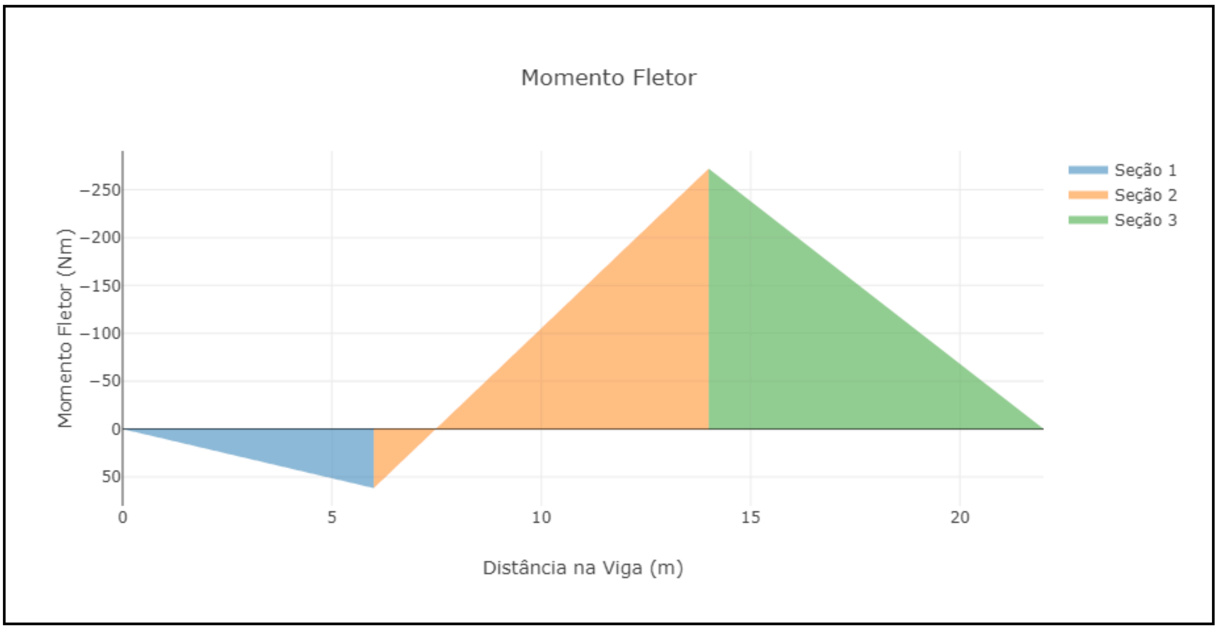


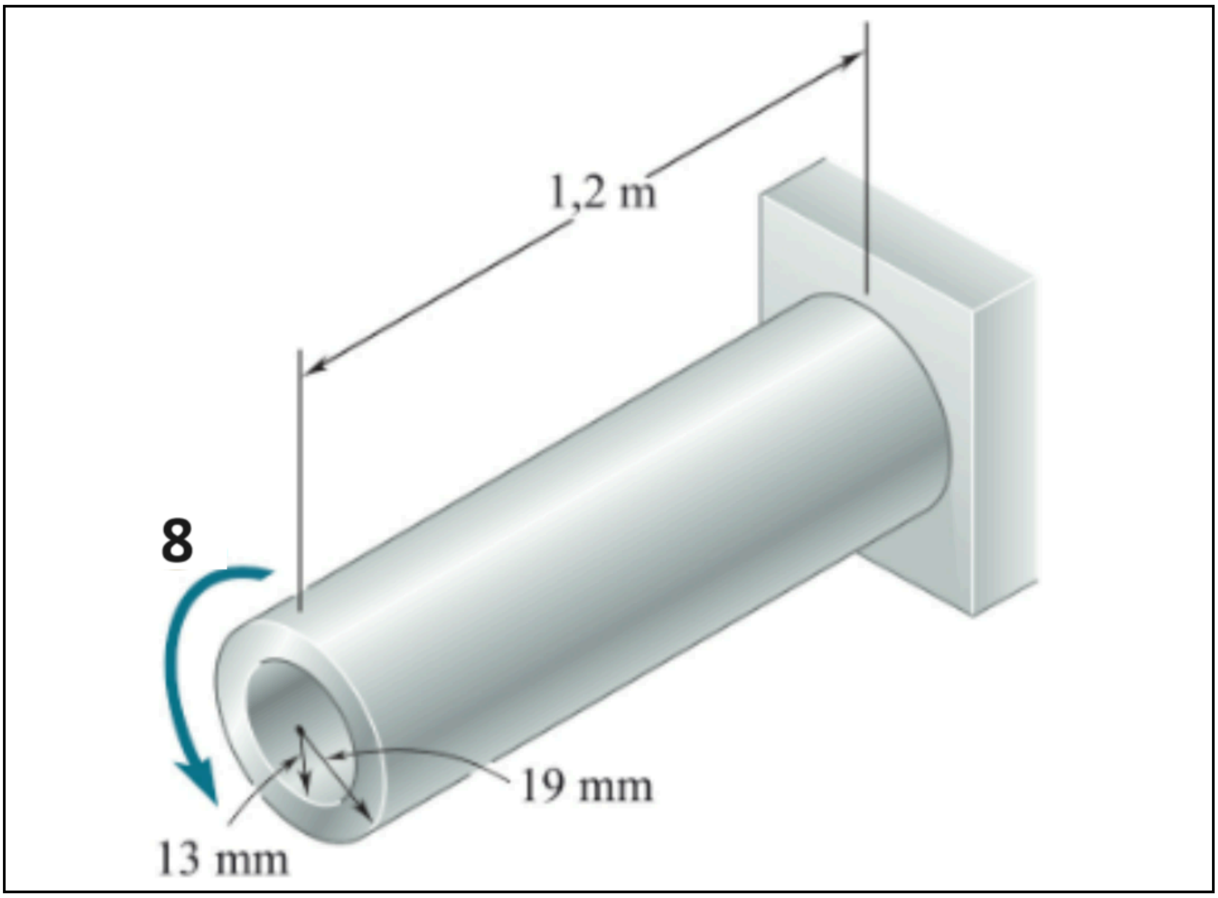
Diagrama de momento fletor

6. Questão 4:

Determine a Tensão de cisalhamento do eixo vazado abaixo quando submetido ao momento de torção T3.

Nota: Foi solicitado considerar outro valor para o material do eixo: Aço com modulo de elasticidade de 77GPa.

Figure 11: Elaborada pelo Autor



Questão 4

Para calcular a tensão de cisalhamento, inicialmente, precisamos calcular o momento polar de inércia, para isso temos que:

$$\tau = \frac{\pi}{2}(R_2^4 - R_1^4) \tag{52}$$

Aplicando os valores da questão na formula, ficamos com a seguinte expressão:

$$\tau = \frac{\pi}{2}(0,019^4 - 0,013^4) \rightarrow \tau = \frac{\pi}{2}(1,30321 * 10^{-7} - 0,28561 * 10^{-7}) \tag{53}$$

Portanto, temos que:

$$\tau = \frac{\pi}{2}[(1,30321 - 0,28561) * 10^{-7}] = 1,59844 * 10^{-7} \tag{54}$$

Agora podemos calcular a Tensão de cisalhamento aplicando a seguinte formula:

$$T = \frac{\varepsilon * J}{C} \tag{55}$$

Portanto:

$$8k = \frac{\varepsilon * 1,59844 * 10^{-7}}{0,019} \rightarrow 0,0152 = \varepsilon * 1,59844 * 10^{-7} \tag{56}$$

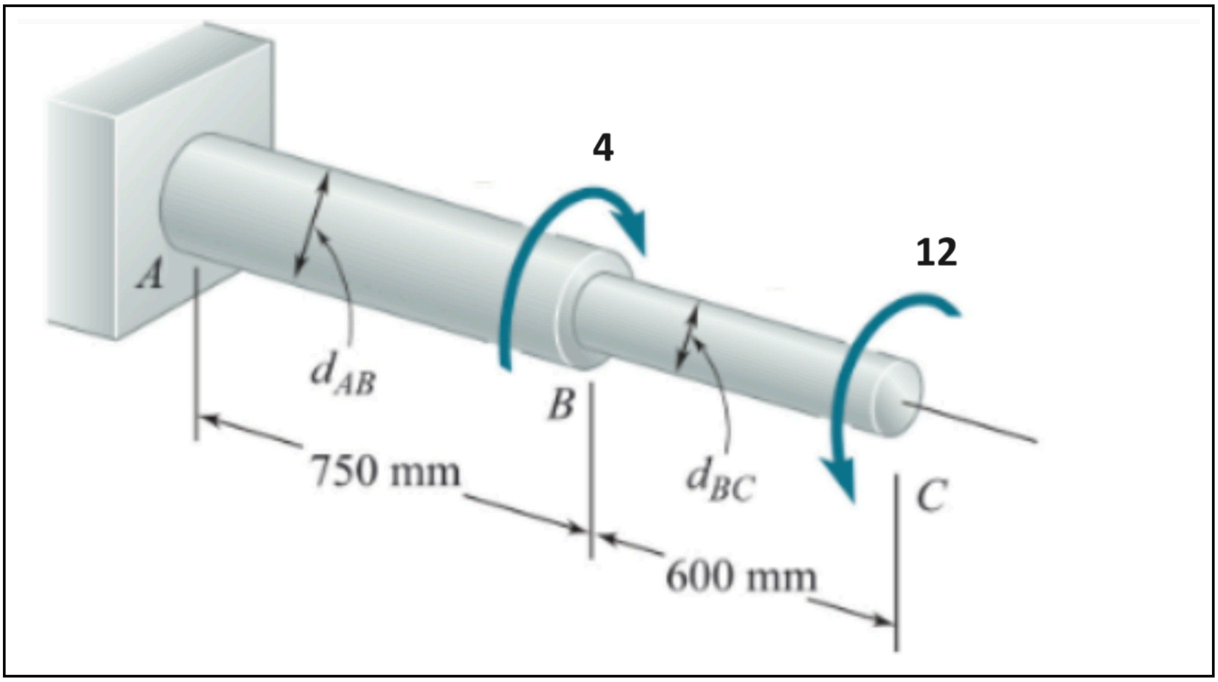
E assim calculamos a tensão de cisalhamento admissível:

$$\varepsilon = \frac{0,152}{1,59844 * 10^{-7}} = 950927.153 \frac{N}{m^2} \tag{57}$$

7. Questão 5:

Considere o eixo mostrado abaixo. A tensão de cisalhamento máxima admissível para o latão é de 55MPa. Dimensione os diâmetros mínimos dos eixos AB e BC.

Figure 12: Elaborada pelo Autor



Questão 5

7.1. Diâmetros dos eixos BC:

Primeiramente, calculamos o momento polar de inércia para o eixo BC, para isso temos que:

$$J = \frac{\pi}{2}\left(\left(\frac{d_{\text{BC}}}{2}\right)^4\right) \rightarrow J = \frac{\pi}{2}\frac{d_{\text{BC}}^4}{16} \tag{58}$$

Em seguida, podemos utilizar a formula de tensão de cisalhamento para realizar o calculo:

$$T = \frac{\varepsilon * J}{C} \rightarrow T = \frac{\varepsilon * J}{\frac{d}{2}} \tag{59}$$

Agora, aplicamos a formula de calculo de inércia para o eixo BC:

$$12k = \frac{55 * 10^6 * J}{\frac{d_{\text{BC}}}{2}} \rightarrow 12k = \frac{55 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{2} \frac{d_{\text{BC}}^4}{16}\right)}{\frac{d_{\text{BC}}}{2}} \tag{60}$$

Desta forma, temos que:

$$12k = \frac{55 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{2} \frac{d_{\text{BC}}^4}{16}\right)}{\frac{d_{\text{BC}}}{2}} \rightarrow 12k * d_{\text{BC}} = 2 * 55 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{2} \frac{d_{\text{BC}}^4}{16}\right) \tag{61}$$

$$12k * d_{\text{BC}} = 2 * 55 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{2}\right) * \frac{d_{\text{BC}}^4}{16} \rightarrow \frac{12k}{2 * 55 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{32}\right)} = \frac{d_{\text{BC}}^4}{d_{\text{BC}}} \tag{62}$$

$$\frac{12 * 10^3}{110 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{32}\right)} = d_{\text{BC}}^3 \rightarrow \frac{12}{110 * 10^3 * \left(\frac{\pi}{32}\right)} = d_{\text{BC}}^3 \tag{63}$$

$$d_{\text{BC}}^3 = 0.00111119087 \rightarrow d_{\text{BC}} = 0.00111119087^{\frac{1}{3}} = 0.103576m \text{ ou } 103,576\text{mm} \tag{64}$$

7.2. Diâmetros dos eixos AB:

Para calcular o diâmetro do eixo AB, da mesma forma, iniciamos calculando o momento polar de inercia para o eixo AB, para isso temos que:

$$J = \frac{\pi}{2}\left(\left(\frac{d_{\text{AB}}}{2}\right)^4\right) \rightarrow J = \frac{\pi}{2} \frac{d_{\text{AB}}^4}{16} \tag{65}$$

Em seguida, podemos utilizar a formula de tensão de cisalhamento para realizar o calculo:

$$T = \frac{\varepsilon * J}{C} \rightarrow T = \frac{\varepsilon * J}{\frac{d}{2}} \tag{66}$$

Agora, aplicamos a formula de calculo de inércia para o eixo AB:

$$4k = \frac{55 * 10^6 * J}{\frac{d_{\text{AB}}}{2}} \rightarrow 4k = \frac{55 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{2} \frac{d_{\text{AB}}^4}{16}\right)}{\frac{d_{\text{AB}}}{2}} \tag{67}$$

$$2 * 55 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{32}\right) * d_{\text{AB}}^4 = 4k * d_{\text{AB}} \rightarrow 110 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{32}\right) * d_{\text{AB}}^4 = 4k * d_{\text{AB}} \tag{68}$$

$$\frac{d_{\text{AB}}^4}{d_{\text{AB}}} = \frac{4k}{110 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{32}\right)} \rightarrow \frac{d_{\text{AB}}^4}{d_{\text{AB}}} = \frac{4 * 10^3}{110 * 10^6 * \left(\frac{\pi}{32}\right)} \rightarrow d_{\text{AB}}^3 = \frac{4}{110 * 10^3 * \left(\frac{\pi}{32}\right)} \tag{69}$$

$$d_{\text{AB}}^3 = 0.00037039695 \rightarrow d_{\text{AB}} = 0.00037039695^{\frac{1}{3}} = 0.071816m \text{ ou } 71,816\text{mm} \tag{70}$$

8. Questão 6:

Observe as ilustrações da estrutura apresentada abaixo.

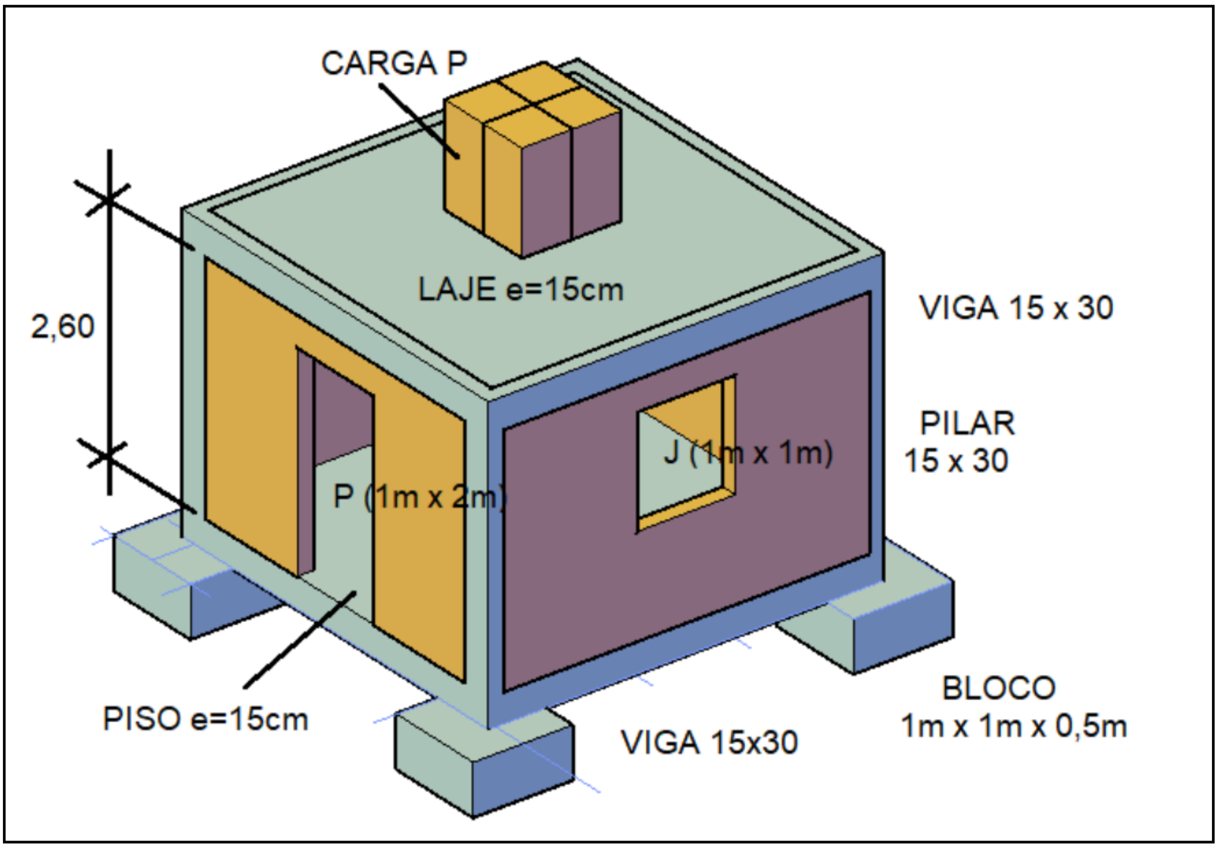
- A Carga adicional sobre a laje localizada bem no centro tem valor 52 (kN).
- Considere a densidade do concreto armado como sendo de 2.300kg/m³.
- As paredes têm largura de 15cm e densidade de 1300kg/m³.
- Desconsidere a porta e a janela para calcular a carga das paredes.
- A espessura da laje de cobertura e da laje de piso é de 15cm.
- Os 4 pilares têm medidas de secção de 40cm x 15cm.
- As vigas de cobertura e baldrames têm secções de 15cm por 30cm.
- As sapatas (ou blocos de fundação) têm medidas de 1m x 1m x 0,50m de altura.
- Os pilares são armados com 6 barras de aço de diâmetro "d".

Considere:
- E_aço= 200GPa
- E_conc= 20GPa.
- A carga das lajes e do peso P são descarregadas igualmente em todo o perímetro das vigas.

Determine:

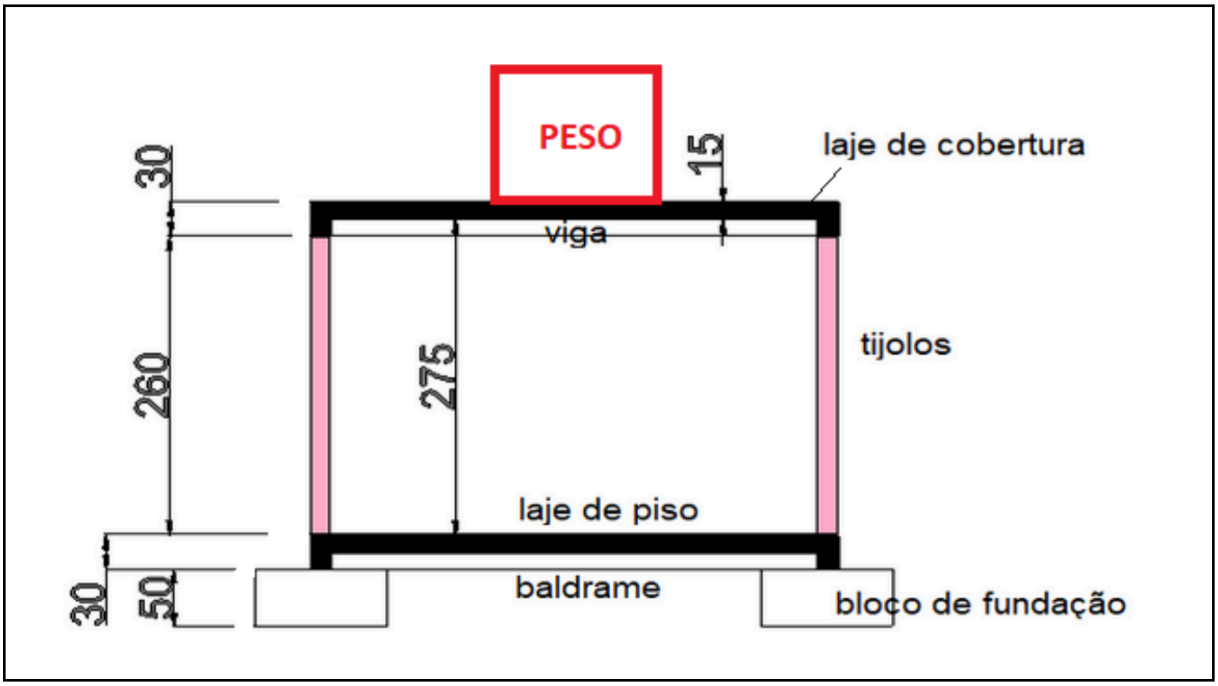
- Qual a pressão exercida pelas sapatas no solo (kN/m²).
- Para as vigas, determine qual a Tensão máxima de flexão decorrente do peso próprio e da carga das paredes / lajes.
- Determine o diâmetro dos pilares considerando que a carga da laje e da viga de cobertura é descarregada 75% no concreto e 25% no aço.

Figure 13: Elaborada pelo Autor



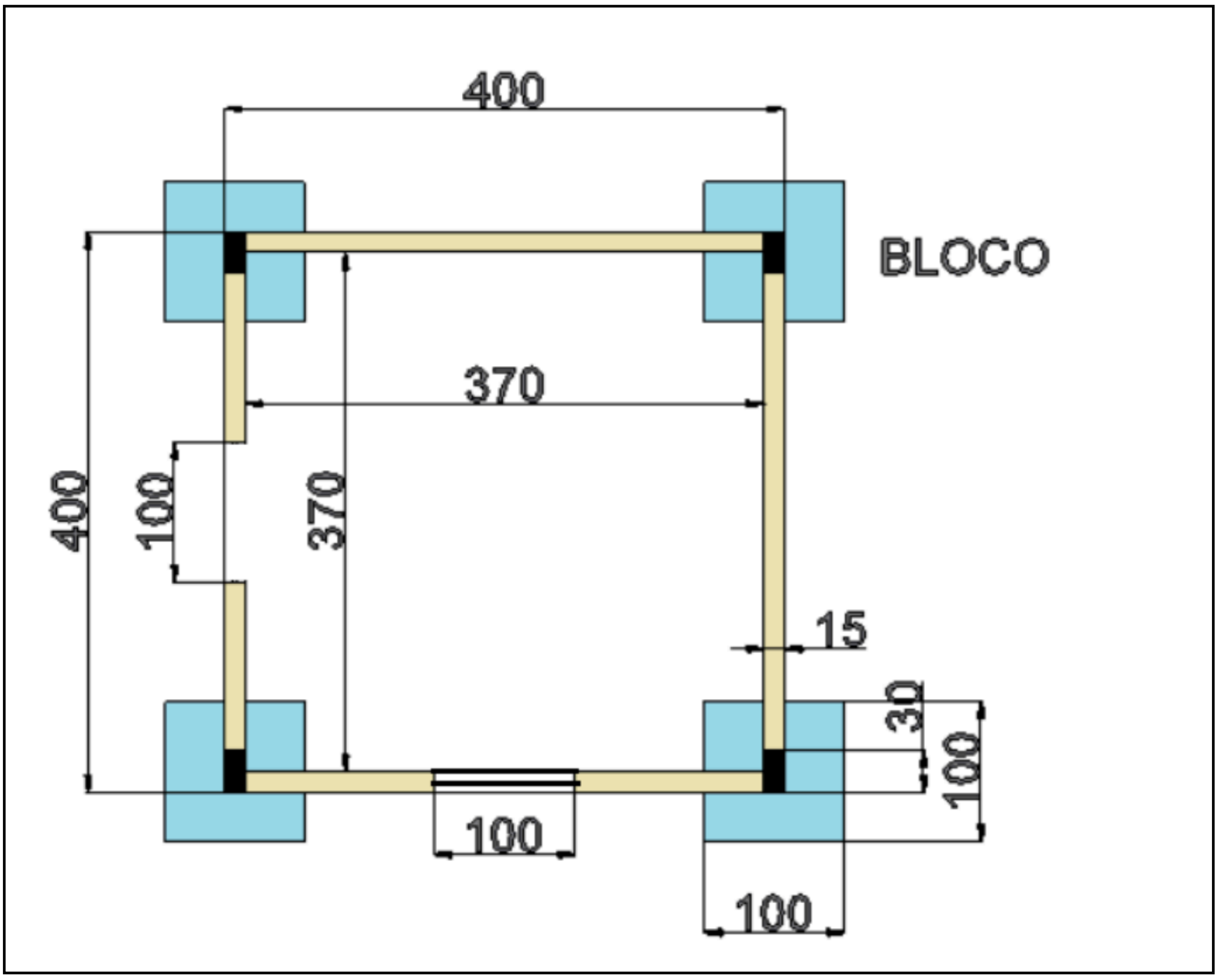
Questão 6 - Perspectiva Isometrica

Figure 14: Elaborada pelo Autor



Questão 6 - Corte da Estrutura

Figure 15: Elaborada pelo Autor



Questão 6 - Planta Baixa

8.1. Peso próprio da laje (sem vigas):

Inicialmente precisamos determinar o volume da laje, para isso temos que:

$$V_{\text{laje}} = B * H * L \to V_{\text{laje}} = 4 * 0,15 * 4 = 2,4m^3 \tag{71}$$

Em seguida, podemos calcular a massa da laje através do coeficiente de densidade do concreto armado:

$$M = V_{\text{laje}} * D_{\text{concreto}} \to P = 2,4 * 2300 = 5520\text{kg} \tag{72}$$

Utilizando o coeficiente graviacional como “g” = 9,807 m/s², temos que o peso é dado por:

$$P_{\text{laje}} = 5520 * 9,807 = 54134,64N \to P = 54,13464\text{kN} \tag{73}$$

8.2. Peso próprio de todas as vigas:

Para calcular o peso das vigas, precisamos determinar o volume das vigas, para isso temos que:

$$V_{\text{viga}} = B * H * L \rightarrow V_{\text{viga}} = 0,15 * 0,3 * 4 = 0,18m^3 \tag{74}$$

Em seguida, podemos calcular a massa das vigas através do coeficiente de densidade:

$$M = V_{\text{viga}} * D_{\text{concreto}} \rightarrow P = 0,18 * 2300 = 414\text{kg} \tag{75}$$

Utilizando o coeficiente graviacional como “g” = 9,807 m/s², temos que o peso é dado por:

$$P_{\text{viga}} = 414 * 9,807 = 4057,98N \rightarrow P = 4,05798\text{kN} \tag{76}$$

Agora, como são utilizadas no total 8 vigas para a construção da estrutura, temos seu peso final multiplicado por 8:

$$P_{\text{viga}} = 4,05798 * 8 = 32,46384\text{kN} \tag{77}$$

8.3. Peso próprio dos pilares:

Para calcular o peso dos pilares, precisamos determinar o volume dos pilares, para isso temos que:

$$V_{\text{pilar}} = B * H * L \rightarrow V_{\text{pilar}} = 0,4 * 0,15 * 2,6 = 0,156m^3 \tag{78}$$

Em seguida, podemos calcular a massa dos pilares através do coeficiente de densidade:

$$M = V_{\text{pilar}} * D_{\text{concreto}} \rightarrow P = 0,156 * 2300 = 358,8\text{kg} \tag{79}$$

Utilizando o coeficiente graviacional como “g” = 9,807 m/s², temos que o peso é dado por:

$$P_{\text{pilar}} = 358,8 * 9,807 = 3520,476N \rightarrow P = 3,520476\text{kN} \tag{80}$$

Como são utilizados 4 pilares para a construção da estrutura, temos seu peso final multiplicado por 4:

$$P_{\text{pilar}} = 3,520476 * 4 = 14,081904\text{kN} \tag{81}$$

8.4. Peso próprio das paredes:

Para calcular o peso das paredes, precisamos determinar o volume das paredes, para isso temos que:

$$V_{\text{paredes}} = B * H * L \rightarrow V_{\text{paredes}} = 0,15 * 2,6 * 4 = 1,56m^3 \tag{82}$$

Em seguida, podemos calcular a massa das paredes através do coeficiente de densidade:

$$M = V_{\text{paredes}} * D_{\text{paredes}} \rightarrow P = 1,56 * 1300 = 2028\text{kg} \tag{83}$$

Utilizando o coeficiente graviacional como “g” = 9,807 m/s², temos que o peso é dado por:

$$P_{\text{paredes}} = 2028 * 9,807 = 19899,816N \rightarrow P = 19,899816\text{kN} \quad (84)$$

Como são utilizadas 4 paredes para a construção da estrutura, temos seu peso final multiplicado por 4:

$$P_{\text{paredes}} = 19,899816 * 4 = 79,599264\text{kN} \quad (85)$$

8.5. Peso próprio das sapatas:

Para calcular o peso das sapatas, precisamos determinar o volume das sapatas, para isso temos que:

$$V_{\text{sapatas}} = B * H * L \rightarrow V_{\text{sapatas}} = 1 * 1 * 0,5 = 0,5m^3 \quad (86)$$

Em seguida, podemos calcular a massa das sapatas através do coeficiente de densidade:

$$M = V_{\text{sapatas}} * D_{\text{concreto}} \rightarrow P = 0,5 * 2300 = 1150\text{kg} \quad (87)$$

Utilizando o coeficiente graviacional como “g” = 9,807 m/s², temos que o peso é dado por:

$$P_{\text{sapatas}} = 1150 * 9,807 = 11278,5N \rightarrow P = 11,2785\text{kN} \quad (88)$$

Como são utilizadas 4 sapatas para a construção da estrutura, temos seu peso final multiplicado por 4:

$$P_{\text{sapatas}} = 11,2785 * 4 = 45,114\text{kN} \quad (89)$$

8.6. Diâmetro das barras de aço do pilar:

Para calcular o diâmetro do pilar, primeiramente devemos definir o peso sobre ele:

$$P = P_{\text{carga}} + P_{\text{laje}} + P_{\text{viga}} \quad (90)$$

Portanto temos que:

$$P = 52k + 54,13464 + 32,46384 = 138,598\text{kN} \quad (91)$$

Entretanto, esse peso é dividio igualmente entre os quatro pilares, desta forma, temos que:

$$P_{\text{1pilar}} = 138,\frac{598}{4} = 34,6495\text{kN} \quad (92)$$

Como dito pela questão que 75% da carga é descarregada no concreto e 25% no aço, temos que:

$$P_{\text{aco}} = 0,25 * 34,6495 = 8,662375\text{kN} \quad (93)$$

$$P_{\text{concreto}} = 0,75 * 34,6495 = 25,987125\text{kN} \quad (94)$$

Em seguida, podemos aplicar a formula para calcular o a área do aço na secção do pilar:

$$\frac{P_{\text{aco}}}{E_{\text{aco}} * A_{\text{aco}}} = \frac{P_{\text{concreto}}}{E_{\text{concreto}} * A_{\text{concreto}}} \tag{95}$$

Portanto, temos que:

$$\frac{8,662375k}{200 * 10^9 * A_{\text{aco}}} = \frac{25,987125k}{20 * 10^9 * A_{\text{concreto}}} \tag{96}$$

Como sabemos a quantidade de barras de aço, temos que:

$$\frac{8,662375k}{200 * 10^9 * A_{\text{aco}}} = \frac{25,987125k}{20 * 10^9 * (0,06 - A_{\text{aco}})} \rightarrow \frac{8,662375k}{10 * A_{\text{aco}}} = \frac{25,987125k}{0,06 - A_{\text{aco}}} \tag{97}$$

$$\frac{8,662375k}{A_{\text{aco}}} = \frac{250,987125k}{0,06 - A_{\text{aco}}} \rightarrow \frac{29 * (8,662375k)}{29 * (A_{\text{aco}})} = \frac{250,987125k}{0,06 - A_{\text{aco}}} \tag{98}$$

$$\frac{250,987125k}{29 * A_{\text{aco}}} = \frac{250,987125k}{0,06 - A_{\text{aco}}} \tag{99}$$

$$\frac{1}{29 * A_{\text{aco}}} = \frac{1}{0,06 - A_{\text{aco}}} \rightarrow 29A_{\text{aco}} = 0,06 - A_{\text{aco}} \tag{100}$$

$$A_{\text{aco}} = \frac{0,06}{30} = 0,002m^2 \tag{101}$$

Uma vez com a área do aço, calculada, podemos determinar o diâmetro das barras de aço:

$$0,002 = \frac{6 * \pi * d^2}{4} \rightarrow 0,008 = 6 * \pi * d^2 \rightarrow d^2 = \frac{0,008}{6 * \pi} \tag{102}$$

$$d^2 = 0.00042441318 \rightarrow d = \sqrt{0.00042441318} = 0.0206012m \text{ ou } 20,6012\text{mm} \tag{103}$$

8.7. Tensão exercida sobre o solo pelas sapatas:

Para determinar a tensão exercida sobre o solo pelas sapatas, verificando a imagem temos que a área de cada sapata no solo é de 1m^2. Dessa forma, basta verificar o peso sobre as sapatas:

- P_laje = 54,13464kN
- P_piso = 54,13464kN
- P_vigas = 32,46384kN
- P_pilares = 14,081904kN
- P_paredes = 79,599264kN
- P_sapatas = 45,114kN

Desta forma temos que:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{laje}} + P_{\text{piso}} + P_{\text{vigas}} + P_{\text{pilares}} + P_{\text{paredes}} + P_{\text{sapatas}} + P_{\text{carga}} \tag{104}$$

Portanto:

$$P_{\text{total}} = 2 * 54,1344k + 32,4384k + 14,0904k + 79,5994k + 45,114k + 52k \quad (105)$$

$$P_{\text{total}} = 331,5286\text{kN} \quad (106)$$

Como o peso está sendo dividido entre as 4 sapatas e cada uma possui uma área de contato de $1m^2$ com o solo, temos que:

$$P_{\text{solo}} = \frac{331,5286}{4} = 82,8821\frac{\text{kN}}{m^2} \text{ ou } 82,8821\text{Mpa} \quad (107)$$

8.8. Tabela de resultados:

Table 1: Elaborada pelo Autor

Item	Estrutura	Resultado
1	peso próprio da laje (sem vigas)	54,13464 kN
2	peso próprio de todas as vigas	32,46384 kN
3	peso próprio dos pilares	14,081904 kN
4	peso próprio das paredes	79,599264 kN
5	peso próprio das sapatas	45,114 kN
6	Diâmetro das barras de aço do pilar	20,6012 mm
7	Tensão exercida sobre o solo pelas sapatas	82,8821 MPa

Tabela de resultados obtidos

8.9. Tensão máxima de flexão:

8.9.1. Calculo dos parâmetros iniciais:

Para calcular a tensão máxima de flexão, primeiramente, precisamos calcular o momento de inércia da viga, para isso temos que:

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{0,15 * 0,3^3}{12} = 0,003375 \quad (108)$$

Agora, como deve-se calcular a tensão máxima de flexão partindo de todos os pesos da estrutura (exceto o peso da sapata pois não é apoiada na viga), temos que:

$$P = P_{\text{total}} - \text{P\_sapatas} = 331,5286 - 45,114 = 286,4146\text{kN} \quad (109)$$

Agora, como são utilizadas 4 vigas na estrutura, o peso é idealmente divido entre as 4:

$$P = \frac{286,4146}{4} = 71,60365\text{kN} \quad (110)$$

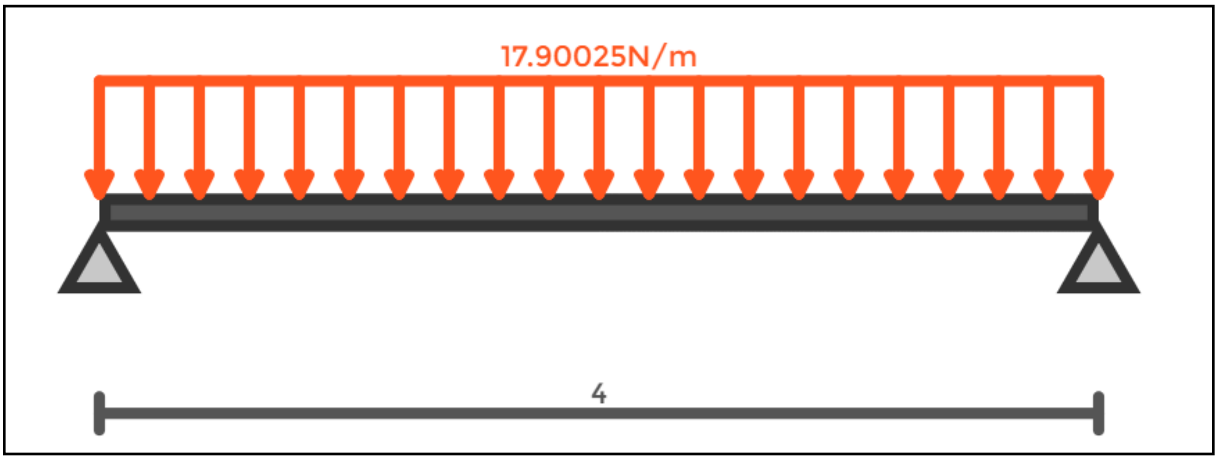
Como orientado no enunciado, o peso é idealmente distribuido pela viga, como o comprimento da mesma é de 4 metros, podemos calcular o peso distribuido:

$$P_{\text{distribuido}} = \frac{71,60365}{4} = 17,90025\text{kN/m} \tag{111}$$

8.9.2. Plotagem dos gráficos:

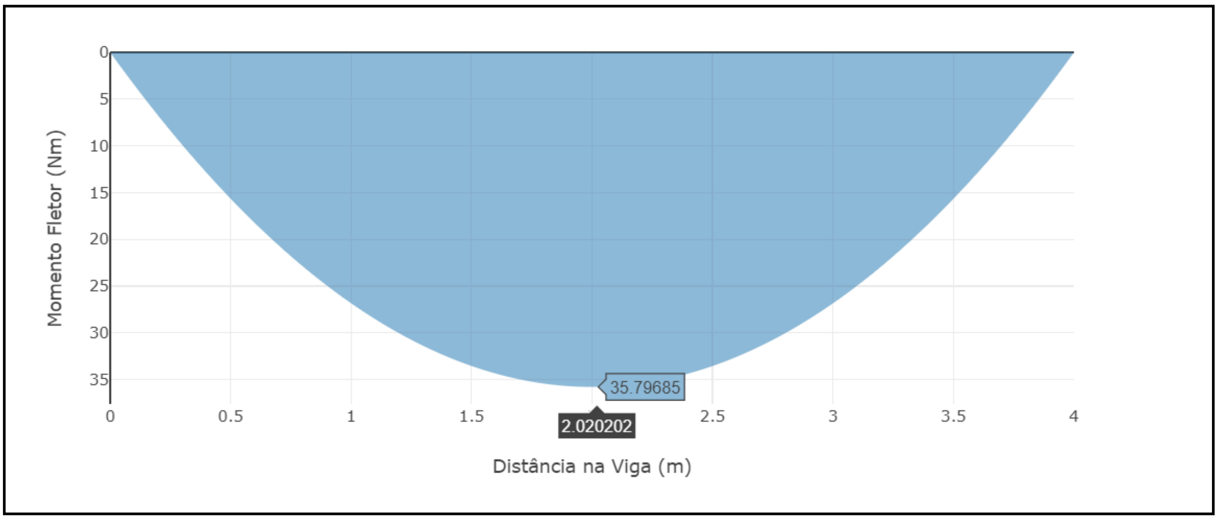
A partir dos valores vistos acima, utilizei o aplicativo "viga online" para plotar a estrutura da viga e o gráfico de momento fletor:

Figure 16: Elaborada pelo Autor



Viga montada com a força distribuida

Figure 17: Elaborada pelo Autor



Máximo momento fletor

Dessa forma, podemos concluir que o maior momento fletor é de 35,796kNm.

8.9.3. Calculo da tensão máxima de flexão:

Para calcular a tensão máxima de flexão, agora verificamos o centro de gravidade "y" na secção transversal da viga:

$$y = \frac{h}{2} = 0,\frac{3}{2} = 0,15m \tag{112}$$

Em seguida, aplicamos a fórmula para calcular a tensão máxima de flexão:

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \tag{113}$$

Portanto, temos que:

$$\sigma = \frac{35,796k * 0,15}{0,003375} = 1.590.933,333\frac{N}{m^2} \text{ ou } 1,590933 \text{ MPa} \tag{114}$$

9. Conclusão:

A partir dos conceitos vistos, desenvolvimento e resultados obtidos, podemos concluir que os calculos voltados para a determinação de tensão máxima de flexão, tensão de cisalhamento, e diâmetro de barras de aço determinam limites para os materiais que são utilizados na montagem de estruturas e são fundamentais para a análise de sua estabilidade, garantindo a segurança e estabilidade das mesmas.

10. Referências Bibliográficas:

- Jesué Graciliano da Silva. Momento fletor. Youtube - JESUE REFRIGERACAO CLIMATIZACAO, 2018.
- Jesué Graciliano da Silva. Aula resumo sobre torção - versão preliminar. Youtube - Jesue Graciliano da Silva, 2023.
- Jesué Graciliano da Silva. Diametro das barras de aço. Youtube - JESUE REFRIGERACAO CLIMATIZACAO, 2018.