



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Projeto Final

Mecânica dos Sólidos

Arthur Cadore Matuella Barcella

20 de Agosto de 2024

Sumário

1. Introdução:	3
2. Questão 1:	3
2.1. Calculo de esforço cortante e Momento fletor:	4
2.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 4$):	4
2.1.2. Seção 2 ($4 \leq x \leq 8$):	4
2.1.3. Seção 3 ($8 \leq x \leq 12$):	5
2.1.4. Gráficos:	5
2.2. Tensão máxima de flexão:	6
3. Questão 2:	6
3.1. Calculo de esforço cortante e Momento fletor:	7
3.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 4$):	7
3.1.2. Seção 2 ($4 \leq x \leq 6$):	8
3.1.3. Gráficos:	8
3.2. Tensão máxima de flexão:	9
4. Questão 3:	9
4.1. Calculo de esforço cortante e Momento fletor:	10
4.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 6$):	10
4.1.2. Seção 2 ($6 \leq x \leq 14$):	11
4.1.3. Seção 3 ($14 \leq x \leq 22$):	11
4.1.4. Gráficos:	11
5. Questão 4:	12
6. Questão 5:	14
6.1. Diâmetros dos eixos BC:	14
6.2. Diâmetros dos eixos AB:	15
7. Questão 6:	16
7.1. Peso próprio da laje (sem vigas):	18
7.2. Peso próprio de todas as vigas:	18
7.3. Peso próprio dos pilares:	19
7.4. Peso próprio das paredes:	19
7.5. Peso próprio das sapatas:	20
7.6. Diâmetro das barras de aço do pilar:	20
7.7. Tensão exercida sobre o solo pelas sapatas:	21
7.8. Tabela de resultados:	22
7.9. Tensão máxima de flexão:	22
7.9.1. Calculo dos parâmetros iniciais:	22
7.9.2. Plotagem dos gráficos:	23
7.9.3. Calculo da tensão máxima de flexão:	23
8. Referências Bibliográficas:	24

1. Introdução:

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

Figure 1: Elaborada pelo Autor

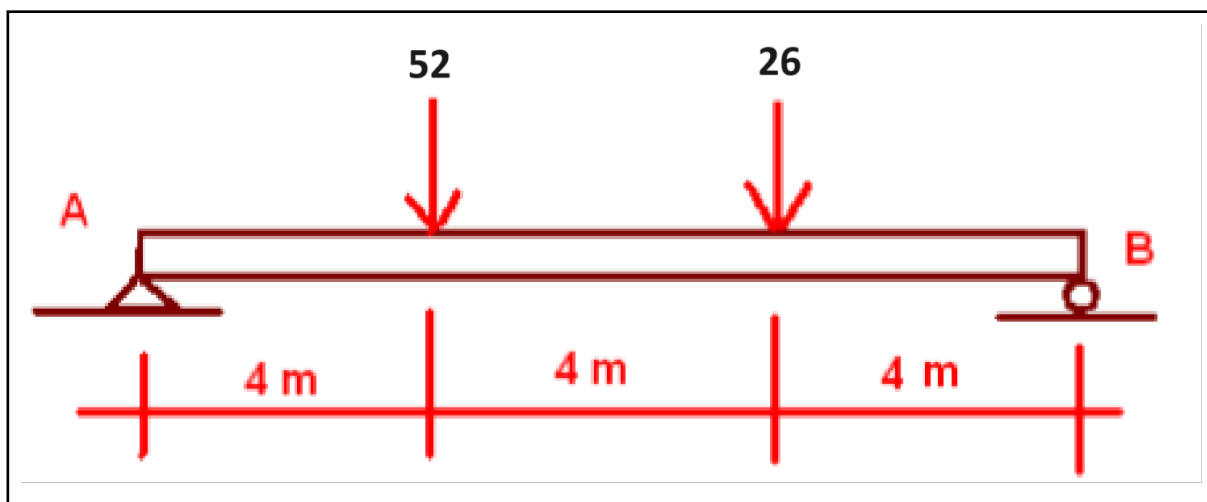
Aluno(a)	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN/m)	F4 (kN)	T1 (kN.m)	T2 (kN.m)	T3 (kN.m)	Carga P (kN) Questão 6
A	52	26	17	34	4	12	8	52
B	17	9	6	12	2	6	4	17
C	97	49	32	64	1	5	4	97
D	12	6	4	8	2	6	4	12
E	80	40	27	54	1	2	1	80

Forças a serem aplicadas no trabalho

2. 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

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

$$R_1 - 52k - 26k + R_2 = 0 \quad (1)$$

Desta forma, temos que:

$$R_1 + R_2 = 78k \quad (2)$$

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

$$R_2 * 12 = 52k * 4 + 26k * 8 \quad (3)$$

Desta forma, temos que:

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

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

$$R_1 + R_2 = 78k \rightarrow R_1 + 34,666k = 78k \rightarrow R_1 = 43,333k \quad (5)$$

2.1. Cálculo de esforço cortante e Momento fletor:

2.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 4$):

Aplicando a fórmula $-R_1 + V_x = 0$, temos que:

$$-43,333k + V_x = 0 \quad (6)$$

Portanto:

$$V_x = 43,333k \quad (7)$$

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

$$M_x = V_x \rightarrow M_x = 43,333k_x \quad (8)$$

2.1.2. Seção 2 ($4 \leq x \leq 8$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-43,333k + 52k + V_x = 0 \quad (9)$$

Portanto:

$$V_x = -52k + 43,333k = -8,666k \quad (10)$$

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

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

Portanto:

$$M_x = 208k - 8,666k_x \quad (12)$$

2.1.3. Seção 3 ($8 \leq x \leq 12$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-43,333k + 52k + 26k + V_x = 0 \quad (13)$$

Portanto:

$$V_x = -52k - 26k + 43,333k = -34,666k \quad (14)$$

Em seguida para calcular o momento fletor, temos que:

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

Portanto:

$$M_x = 416k - 34,666k_x \quad (16)$$

2.1.4. Gráficos:

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

Figure 3: Elaborada pelo Autor

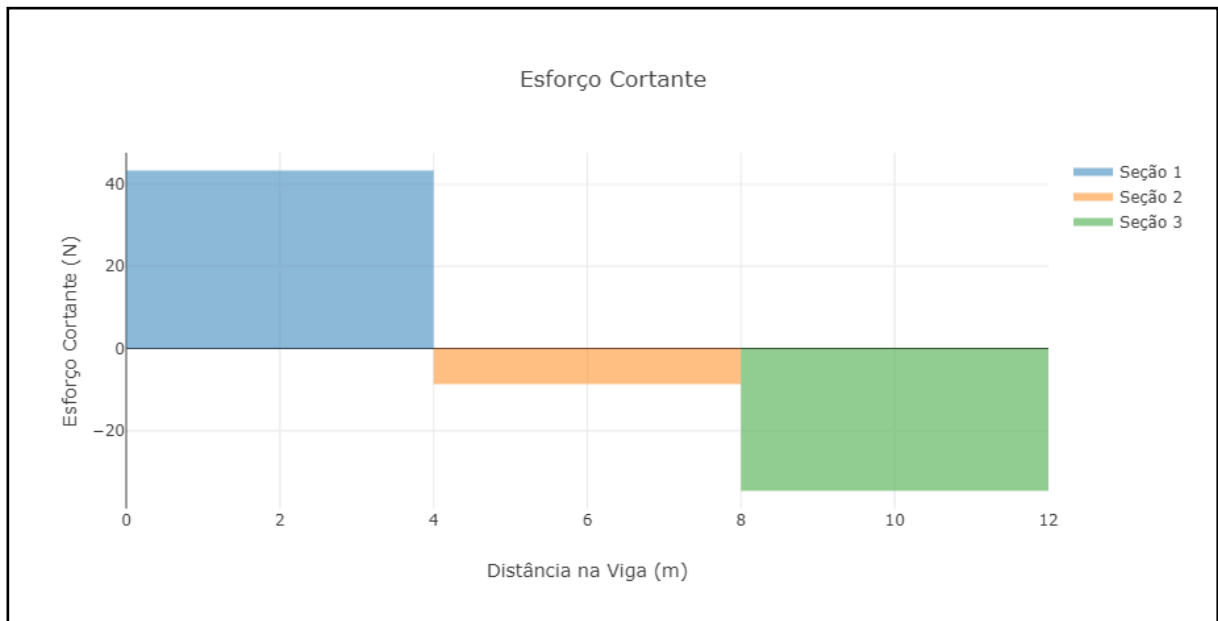


Diagrama de esforço cortante

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

Figure 4: Elaborada pelo Autor

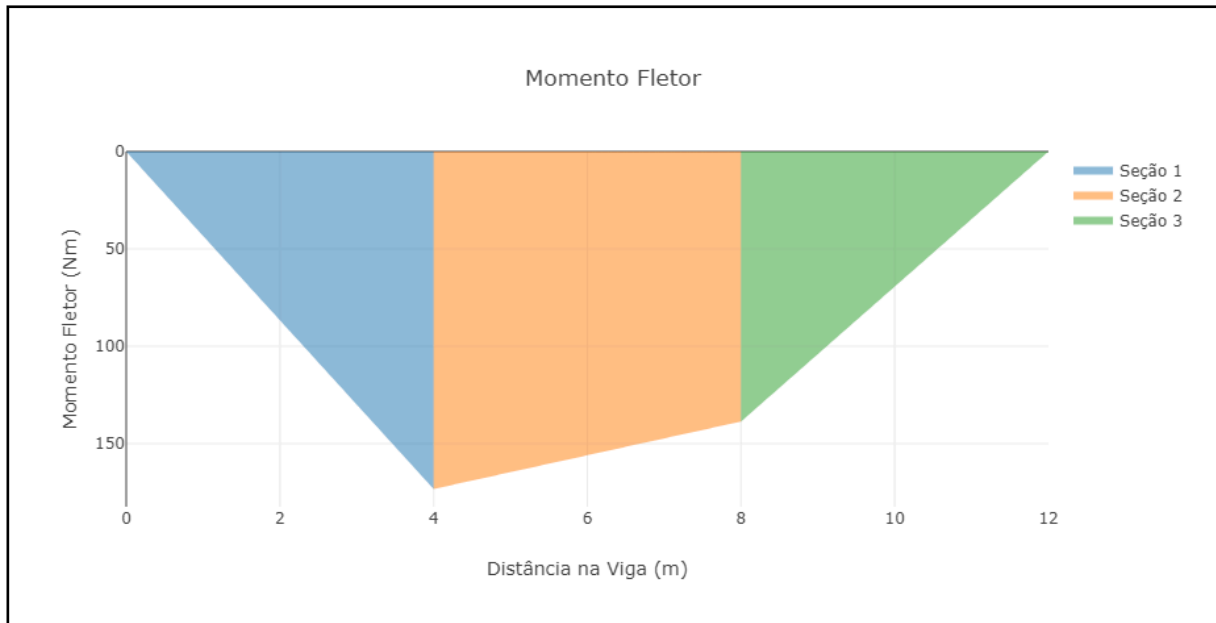


Diagrama de momento fletor

2.2. Tensão máxima de flexão:

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

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

Agora calculamos o momento de inércia:

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

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

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \quad (19)$$

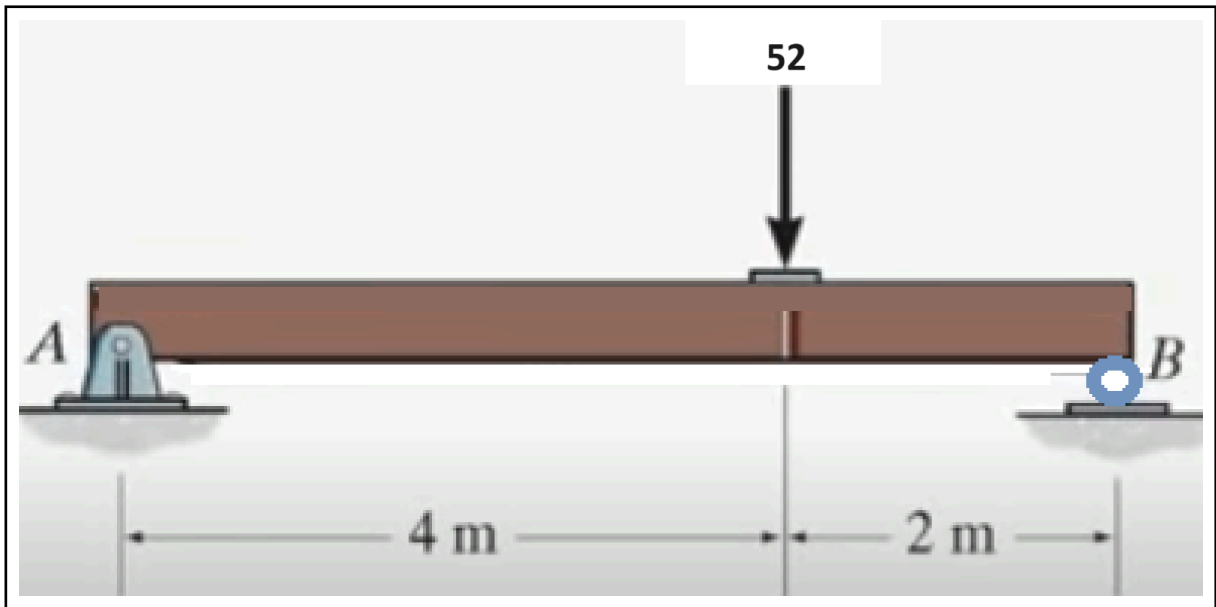
Aplicando aos valores obtidos na questão, temos que:

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

3. 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:

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

3.1. Calculo de esforço cortante e Momento fletor:

3.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 4$):

Aplicando 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:

$$M_x = V_x \rightarrow M_x = 17,333k_x \quad (27)$$

3.1.2. Seção 2 ($4 \leq x \leq 6$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-17,333k + 52k + V_x = 0 \quad (28)$$

Portanto:

$$V_x = -52k + 17,333k = -34,666k \quad (29)$$

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

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

Portanto:

$$M(x) = 208k - 34,666k_x \quad (31)$$

3.1.3. Gráficos:

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

Figure 6: Elaborada pelo Autor

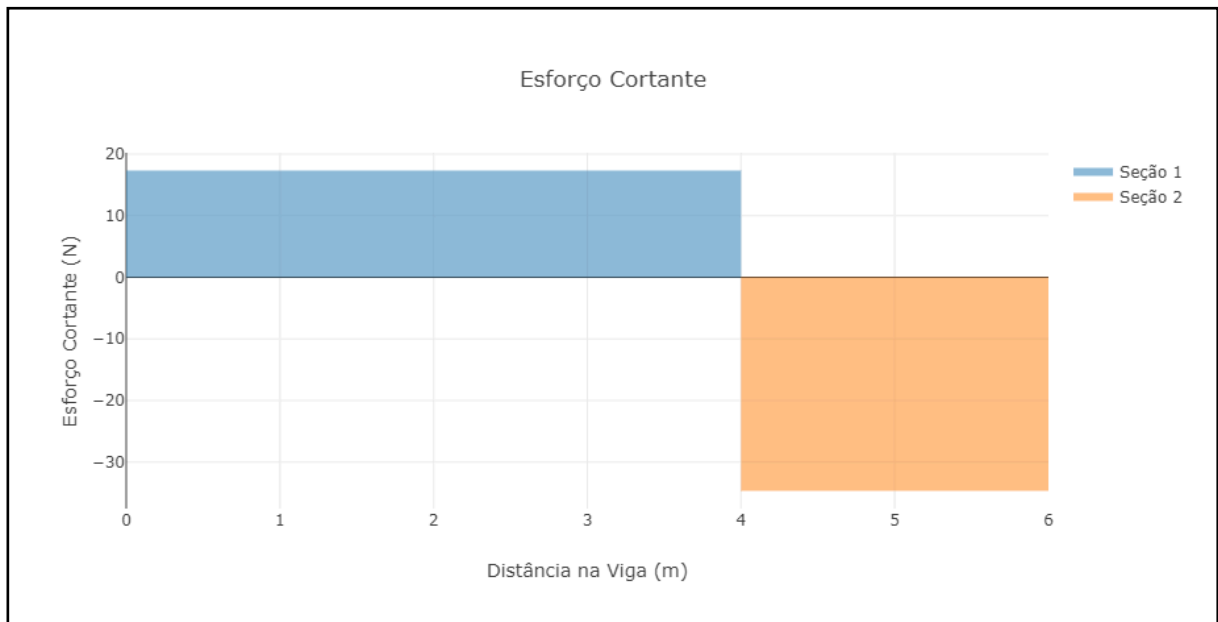


Diagrama de esforço cortante

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

Figure 7: Elaborada pelo Autor

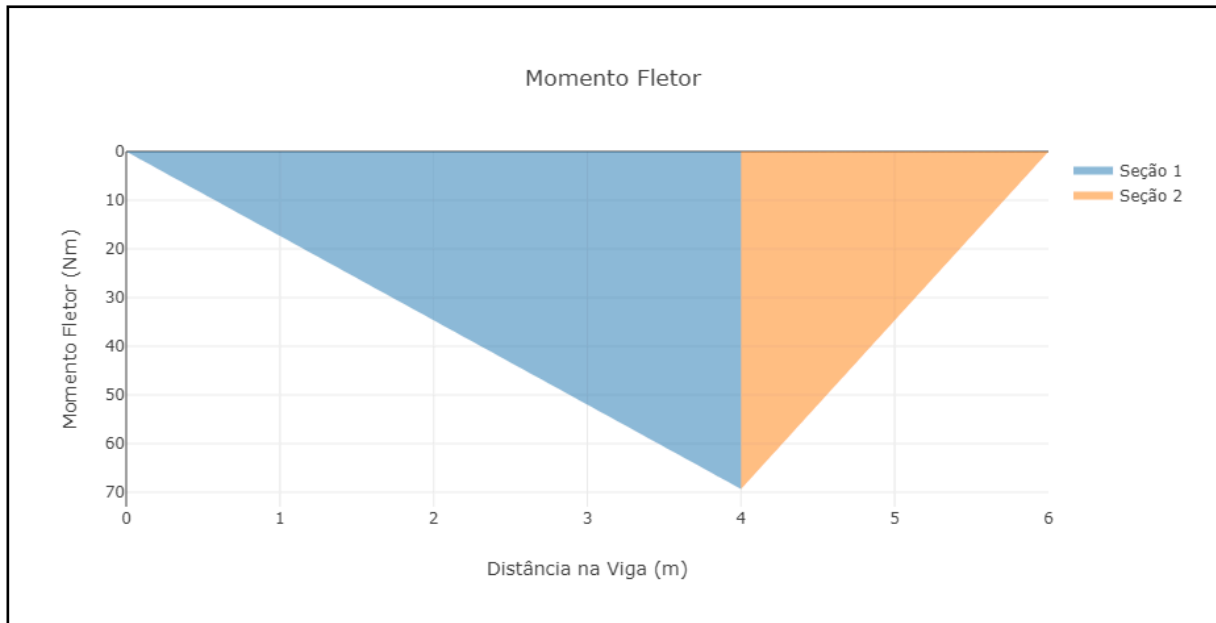


Diagrama de momento fletor

3.2. Tensão máxima de flexão:

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

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

Agora calculamos o momento de inércia:

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

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

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \quad (34)$$

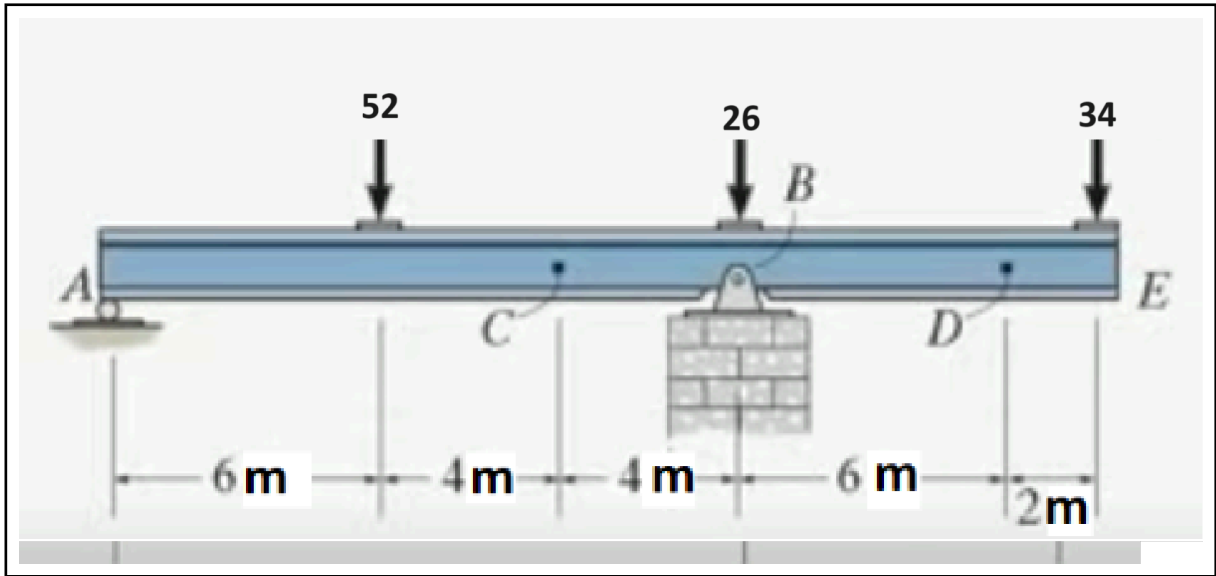
Aplicando aos valores obtidos na questão, temos que:

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

4. Questão 3:

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

Figure 8: Elaborada pelo Autor



Questão 3

4.1. Cálculo de esforço cortante e Momento fletor:

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

$$R_1 - 52k - 26k + R_2 - 34k = 0 \quad (36)$$

Desta forma, temos que:

$$R_1 + R_2 = 52k + 26k + 34k = 112k \quad (37)$$

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

$$R_2 * 14 = 52k * 6 + 26k * 14 + 34k * 22 \quad (38)$$

Desta forma, temos que:

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

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

$$R_1 + R_2 = 112k \rightarrow R_1 + 101,714k = 112k \rightarrow R_1 = 10,286k \quad (40)$$

4.1.1. Seção 1 ($0 \leq x \leq 6$):

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

$$-10,286k + V_x = 0 \quad (41)$$

Portanto:

$$V_x = 10,286k \quad (42)$$

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

$$M(x) = V_x \rightarrow M_x = 10,286k_x \quad (43)$$

4.1.2. Seção 2 ($6 \leq x \leq 14$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$-10,286k + 52k + V_x = 0 \quad (44)$$

Portanto:

$$V_x = -52k + 10,286k = -41,714k \quad (45)$$

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

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

Portanto:

$$M_x = 312k - 41,714k_x \quad (47)$$

4.1.3. Seção 3 ($14 \leq x \leq 22$):

Resolvendo o balanço de forças na seção:

$$+10,286k + 101,714k - 52k - 26k + V_x = 0 \quad (48)$$

Portanto:

$$V_x = -52k - 26k + 101,714k + 10,286k = 34k \quad (49)$$

Em seguida para calcular o momento fletor, temos que:

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

Portanto:

$$M_x = -748k + 34k_x \quad (51)$$

4.1.4. Gráficos:

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

Figure 9: Elaborada pelo Autor

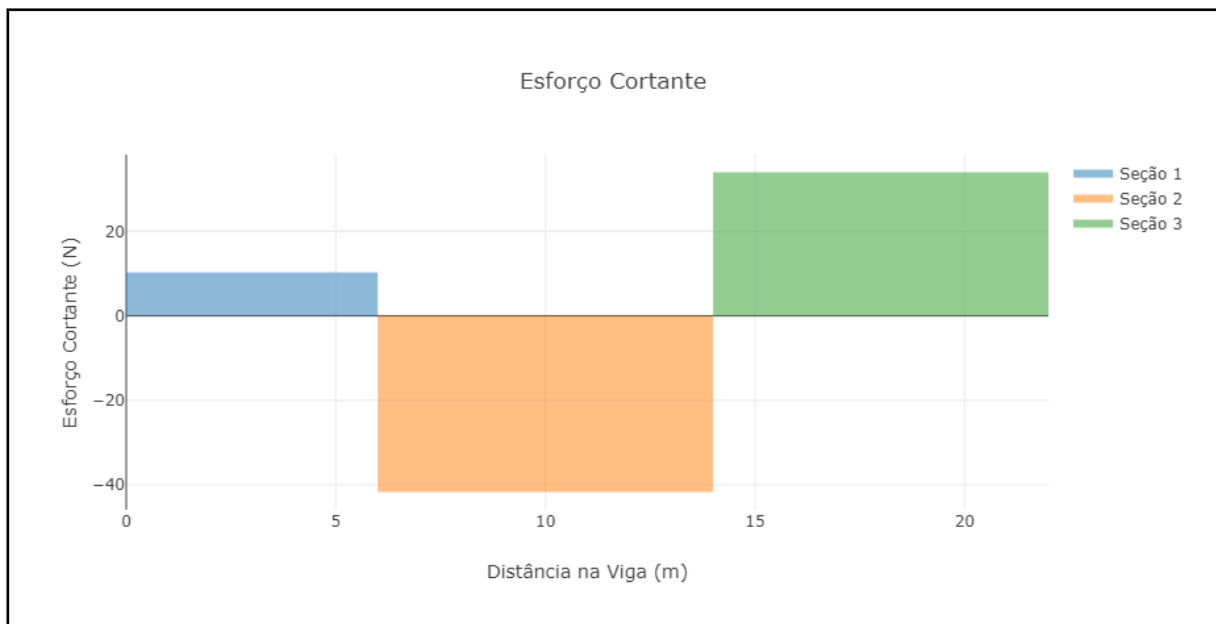


Diagrama de esforço cortante

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

Figure 10: Elaborada pelo Autor

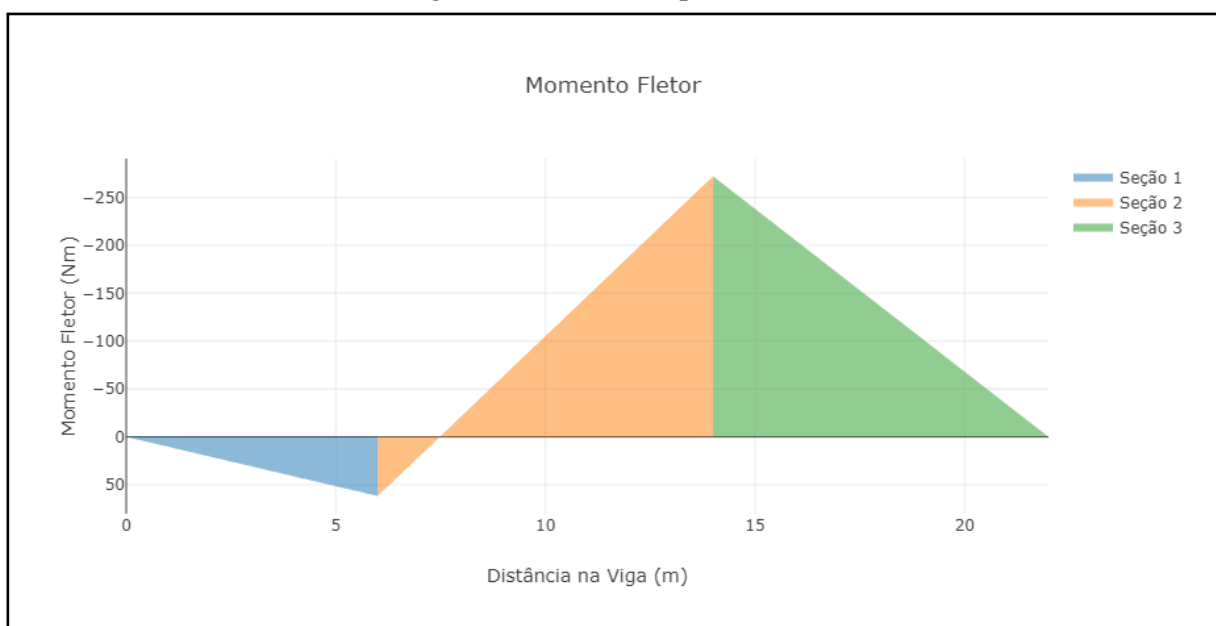


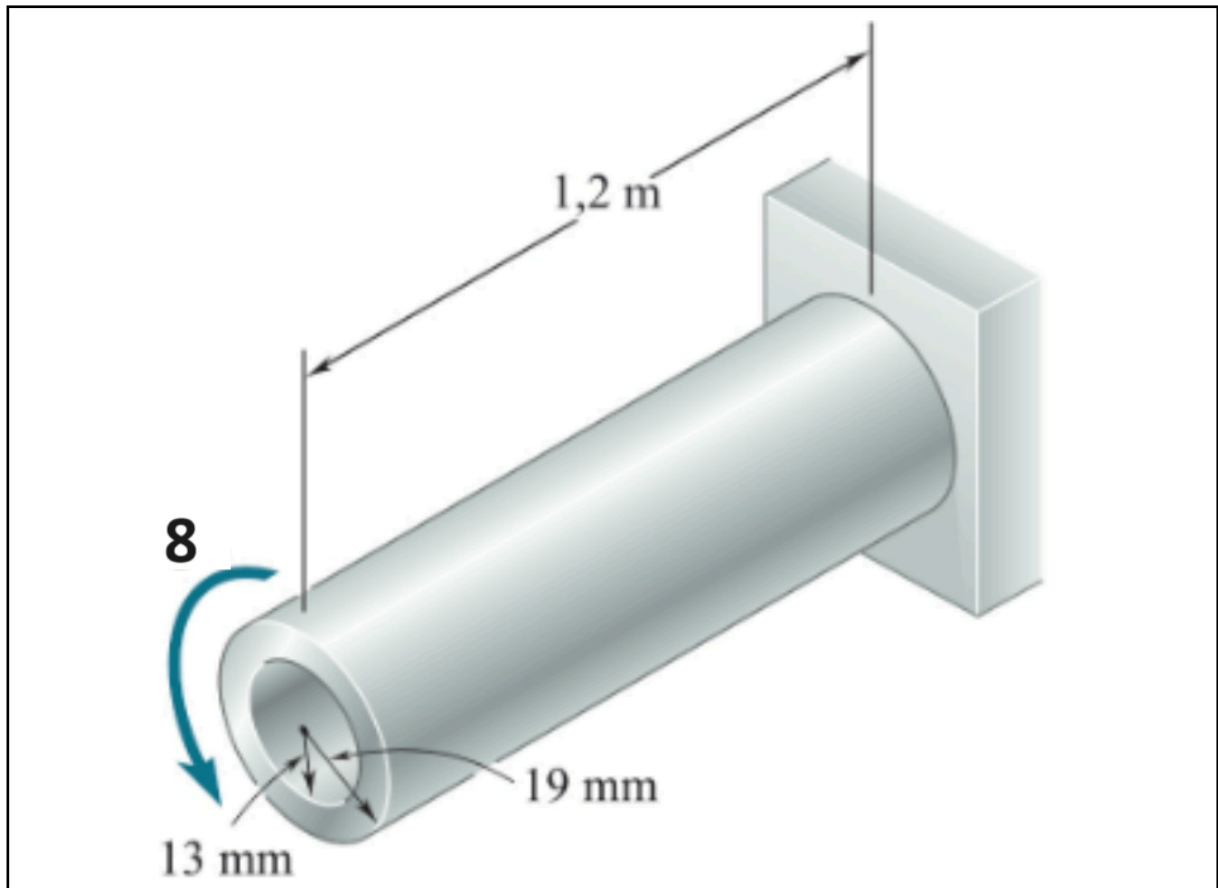
Diagrama de momento fletor

5. 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:

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

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

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

Portanto, temos que:

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

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

$$T = \frac{\varepsilon * J}{C} \quad (55)$$

Portanto:

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

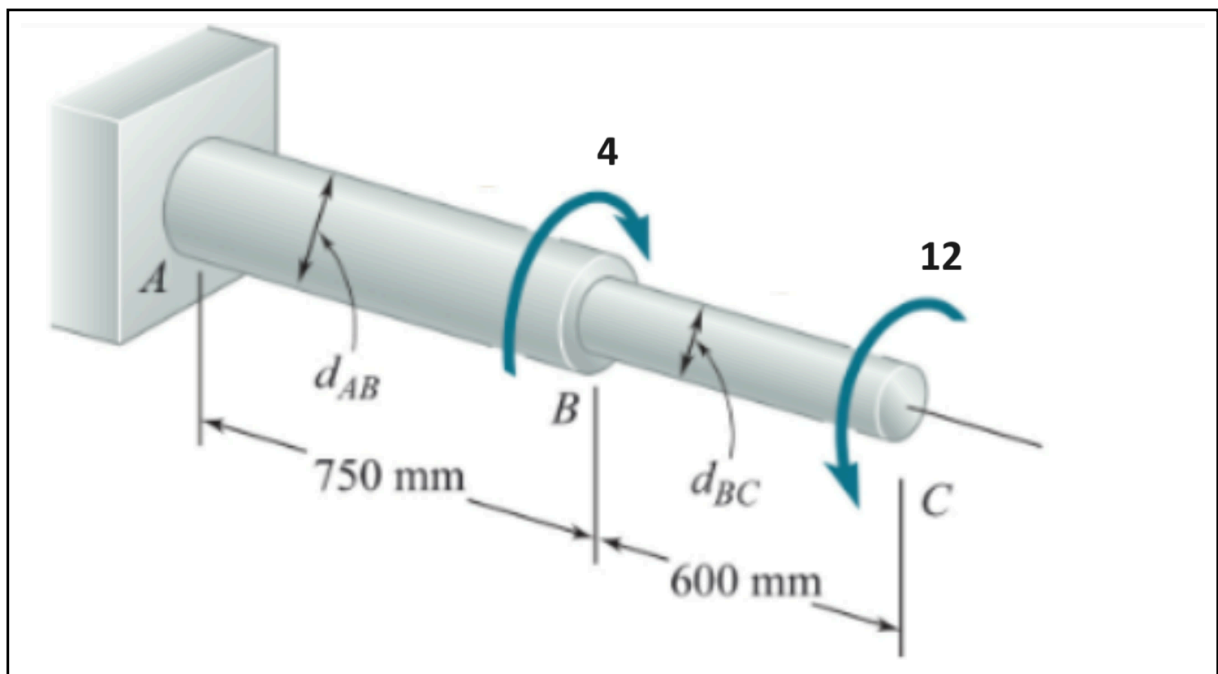
E assim calculamos a tensão de cisalhamento admissível:

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

6. 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

6.1. Diâmetros dos eixos BC:

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

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

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

$$T = \frac{\varepsilon * J}{C} \rightarrow T = \frac{\varepsilon * J}{\frac{d}{2}} \quad (59)$$

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

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

Desta forma, temos que:

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

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

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

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

6.2. 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:

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

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

$$T = \frac{\varepsilon * J}{C} \rightarrow T = \frac{\varepsilon * J}{\frac{d}{2}} \quad (66)$$

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

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

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

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

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

7. 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/m^3 .
- As paredes têm largura de 15cm e densidade de 1300kg/m^3 .
- 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 baldrame 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”.

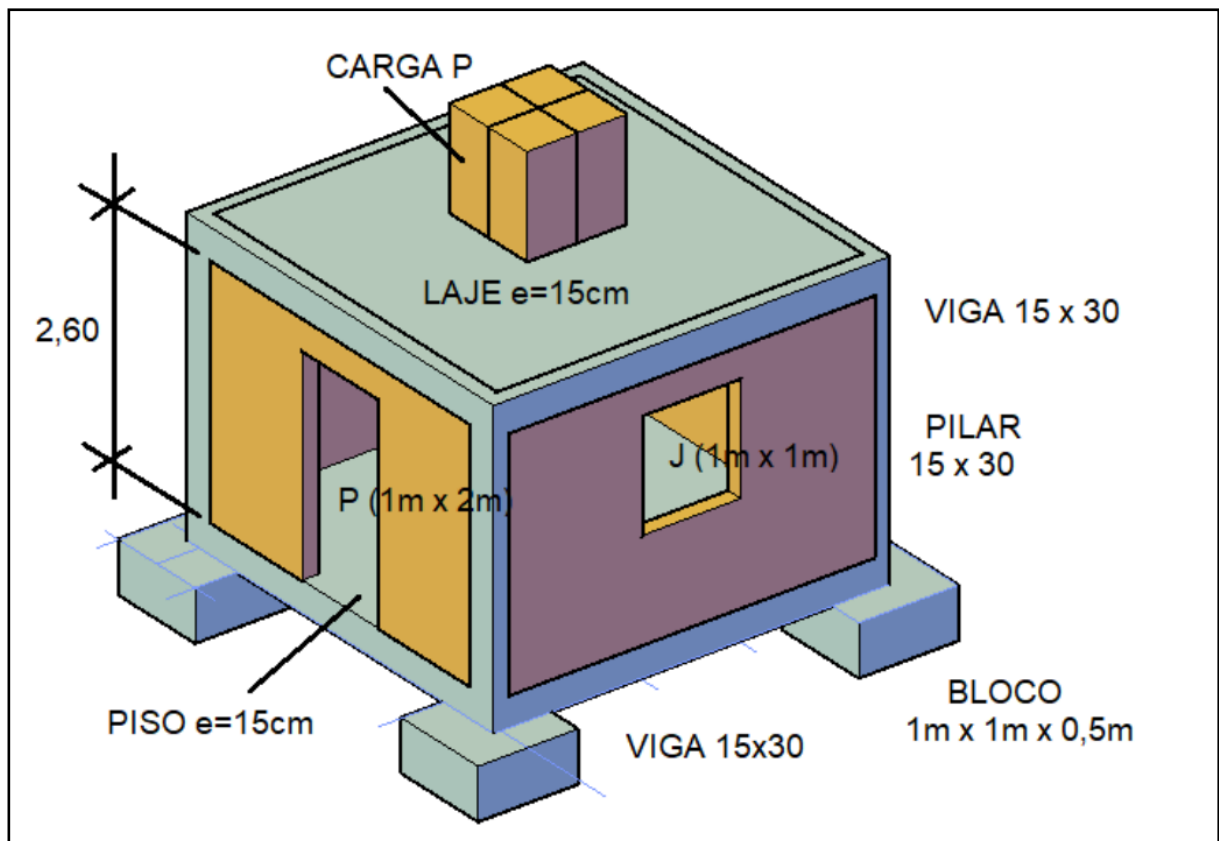
Considere:

- $E_{\text{aço}} = 200\text{GPa}$
- $E_{\text{conc}} = 20\text{GPa}$.
- A carga das lajes e do peso P são descarregadas igualmente em todo o perímetro das vigas.

Determine:

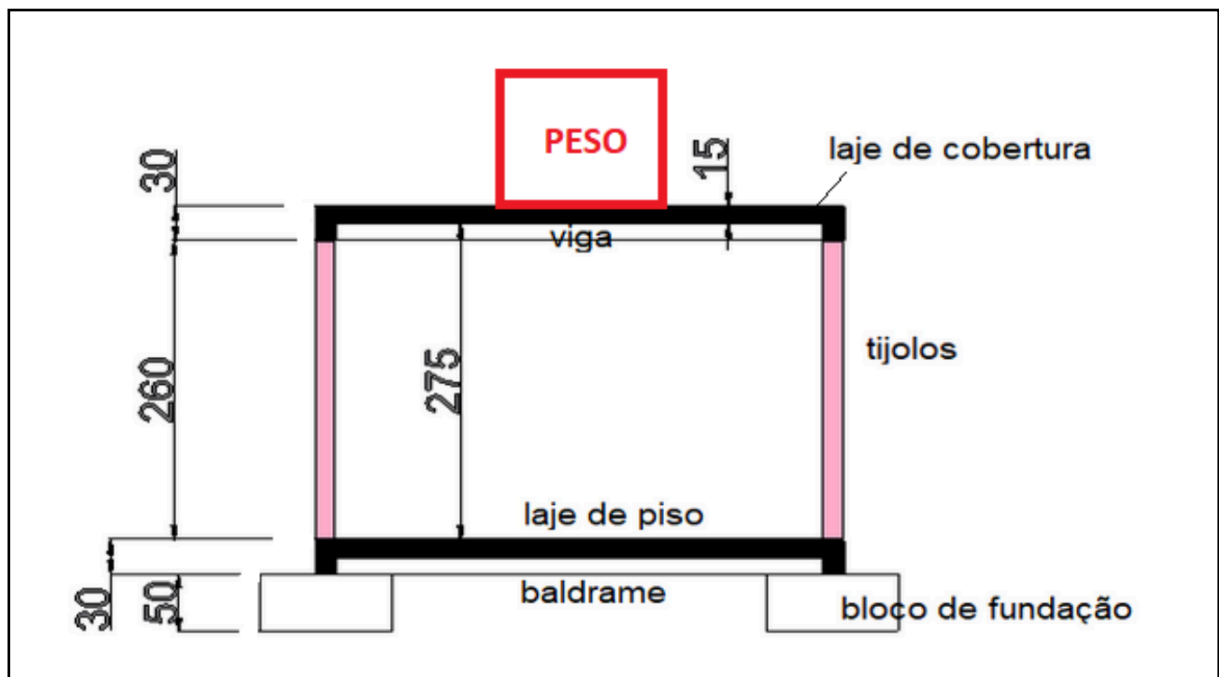
- Qual a pressão exercida pelas sapatas no solo (kN/m^2).
- Para as vigas, determine qual a Tensão máxima de flexão decorrente do peso próprio e da carga das paredes / lajes.
- Determine o diâmetro dos pilares considerando que a carga da laje e da viga de cobertura é descarregada 75% no concreto e 25% no aço.

Figure 13: Elaborada pelo Autor



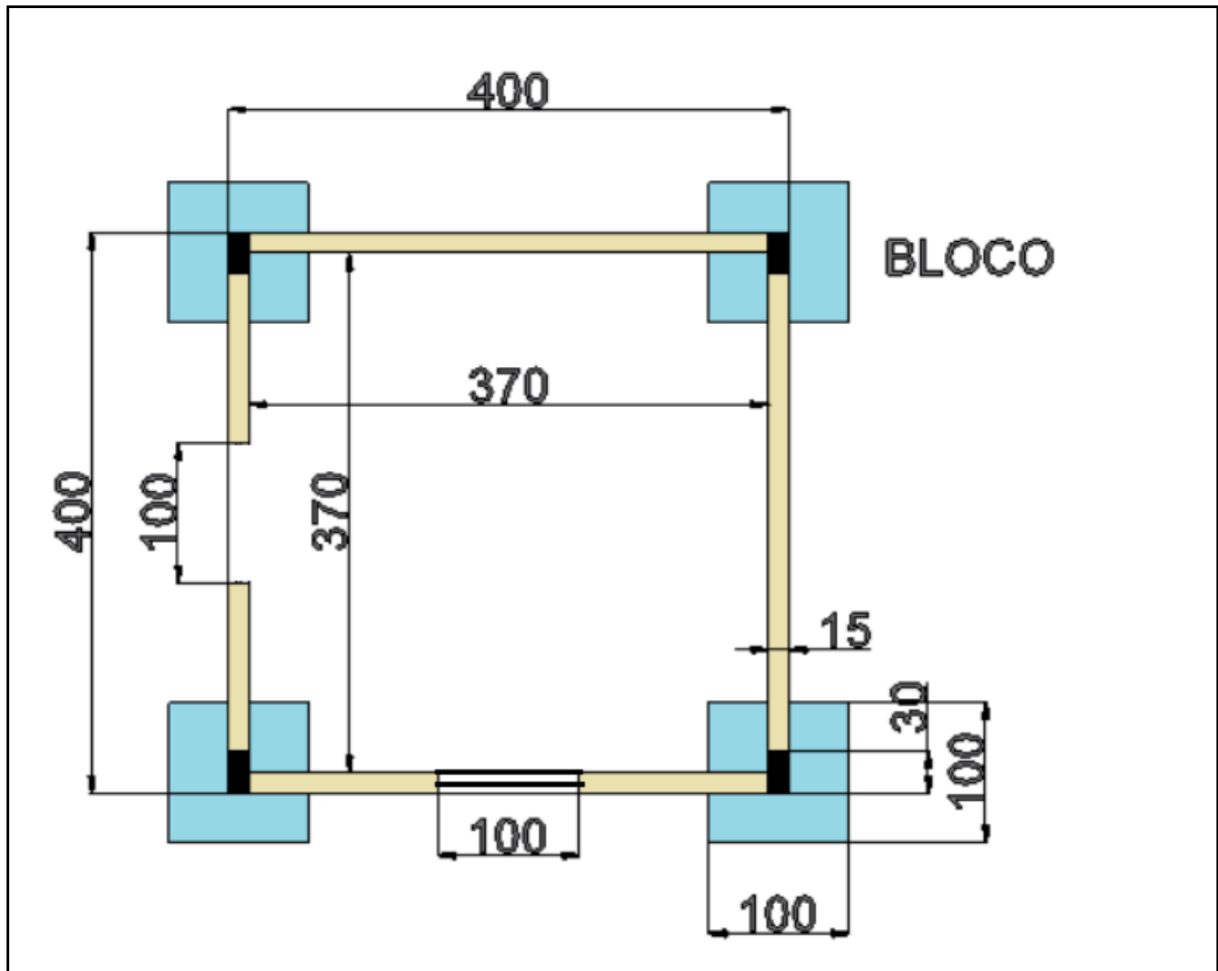
Questão 6 - Perspectiva Isometrica

Figure 14: Elaborada pelo Autor



Questão 6 - Corte da Estrutura

Figure 15: Elaborada pelo Autor



Questão 6 - Planta Baixa

7.1. Peso próprio da laje (sem vigas):

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

$$V_{\text{laje}} = B * H * L \rightarrow V_{\text{laje}} = 4 * 0,15 * 4 = 2,4m^3 \quad (71)$$

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

$$M = V_{\text{laje}} * D_{\text{concreto}} \rightarrow P = 2,4 * 2300 = 5520\text{kg} \quad (72)$$

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

$$P_{\text{laje}} = 5520 * 9,807 = 54134,64N \rightarrow P = 54,13464\text{kN} \quad (73)$$

7.2. Peso próprio de todas as vigas:

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

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

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

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

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

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

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

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

7.3. Peso próprio dos pilares:

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

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

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

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

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

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

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

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

7.4. Peso próprio das paredes:

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

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

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

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

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

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

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

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

7.5. 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:

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

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

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

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

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

7.6. 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:

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{P_{aco}}{E_{aco} * A_{aco}} = \frac{P_{concreto}}{E_{concreto} * A_{concreto}} \quad (95)$$

Portanto, temos que:

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

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

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

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

$$\frac{250,987125k}{29 * A_{aco}} = \frac{250,987125k}{0,06 - A_{aco}} \quad (99)$$

$$\frac{1}{29 * A_{aco}} = \frac{1}{0,06 - A_{aco}} \rightarrow 29A_{aco} = 0,06 - A_{aco} \quad (100)$$

$$A_{aco} = \frac{0,06}{30} = 0,002m^2 \quad (101)$$

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

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

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

7.7. 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:

- $P_{laje} = 54,13464kN$
- $P_{pisso} = 54,13464kN$
- $P_{vigas} = 32,46384kN$
- $P_{pilares} = 14,081904kN$
- $P_{paredes} = 79,599264kN$
- $P_{sapatas} = 45,114kN$

Desta forma temos que:

$$P_{total} = P_{laje} + P_{pisso} + P_{vigas} + P_{pilares} + P_{paredes} + P_{sapatas} + P_{carga} \quad (104)$$

Portanto:

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

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

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:

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

7.8. 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

7.9. Tensão máxima de flexão:

7.9.1. Cálculo 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:

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

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

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

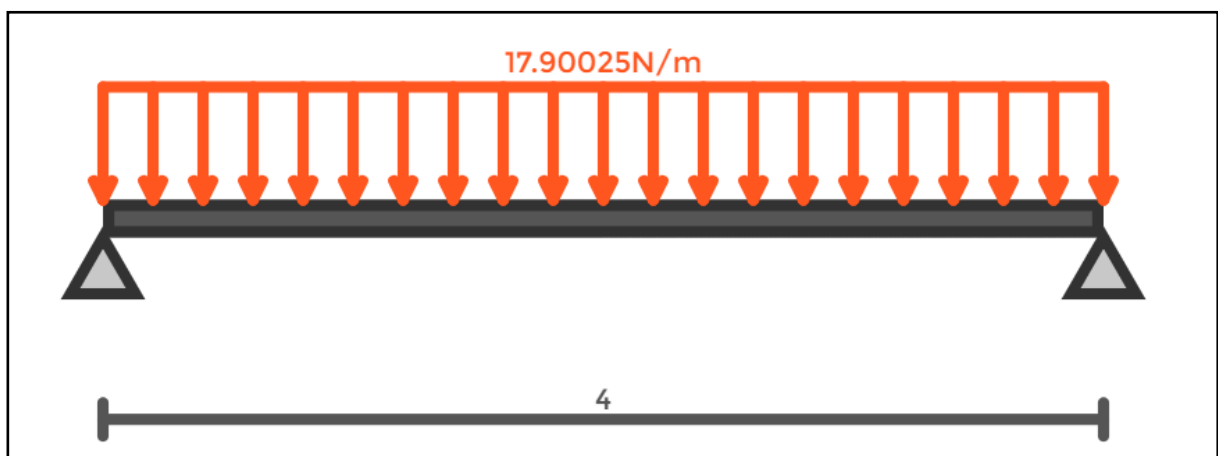
Como orientado no enunciado, o peso é idealmente distribuído pela viga, como o comprimento da mesma é de 4 metros, podemos calcular o peso distribuído:

$$P_{\text{distribuído}} = \frac{71,60365}{4} = 17,90025 \text{ kN/m} \quad (111)$$

7.9.2. Plotagem dos gráficos:

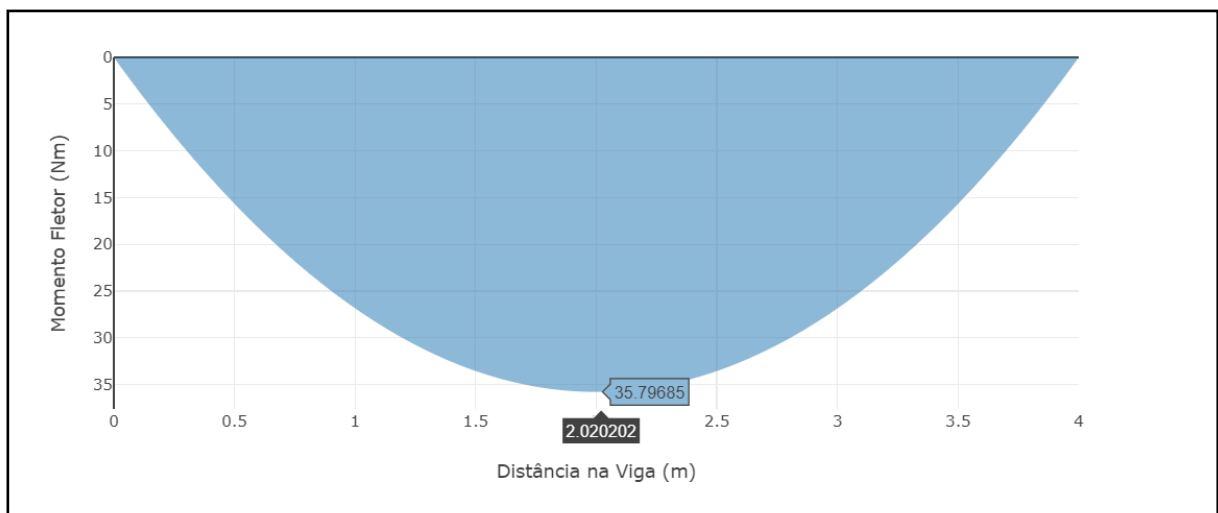
A partir dos valores vistos acima, utilizei o aplicativo “viga online” para plotar a estrutura da viga e o gráfico de momento fletor:

Figure 16: Elaborada pelo Autor



Viga montada com a força distribuída

Figure 17: Elaborada pelo Autor



Máximo momento fletor

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

7.9.3. Cálculo da tensão máxima de flexão:

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

$$y = \frac{h}{2} = 0, \frac{3}{2} = 0,15m \quad (112)$$

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

$$\sigma = \frac{M * y}{I} \quad (113)$$

Portanto, temos que:

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

8. 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.