

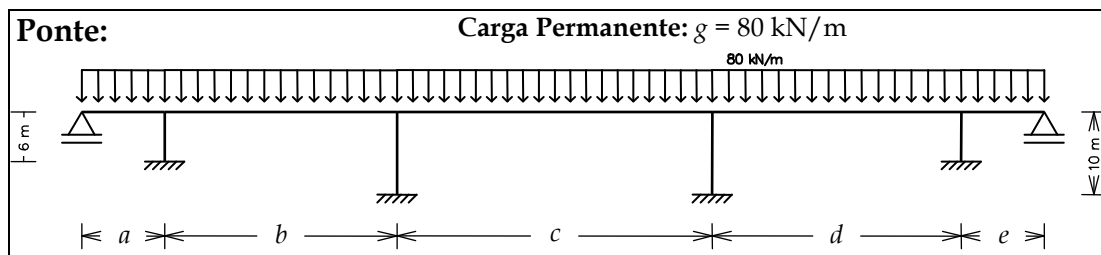
ENG 1204 - ANÁLISE DE ESTRUTURAS II - 1º Semestre - 2020

Terceiro trabalho (T3): carregamento móvel e linhas de influência

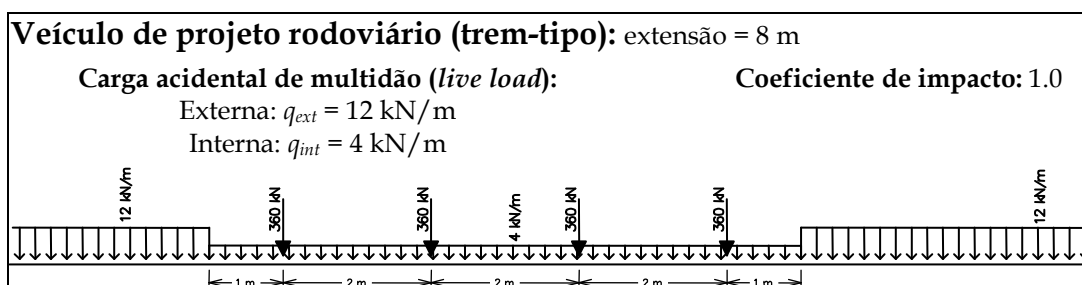
1ª questão do grau G3 (1,5 pontos) - Aplicação: 01/06/2020 - Entrega: 08/06/2020

Utilizando o Ftool, determine envoltórias de mínimos e máximos de esforço cortante e momento fletor para um dos modelos estruturais de ponte mostrados abaixo. Cada aluno tem um modelo de ponte. Veja valores para os vãos da ponte (parâmetros a , b , c , d e e) na tabela na próxima página. Utilize o módulo de elasticidade do concreto. As seções transversais da viga e dos pilares da ponte estão mostradas abaixo. A ponte está solicitada por uma carga permanente uniformemente distribuída (g) e por um carregamento móvel, que é o veículo de projeto (trem-tipo) com quatro cargas concentradas e cargas acidentais de multidão uniformemente distribuídas, q_{int} e q_{ext} , conforme indicado. As envoltórias devem ser traçadas para o efeito combinado da carga permanente e do veículo de projeto. Os valores das envoltórias devem ser mostradas com um passo de visualização de 2 metros, isto é, os valores devem ser mostrados em seções dos elementos estruturais da ponte a cada 2 metros.

O trabalho consiste em escrever um relatório descrevendo, com figuras, os procedimentos para determinação das envoltórias. A nota do trabalho vai ser baseada no conteúdo e na qualidade de apresentação do relatório. No relatório deve constar uma memória de cálculo para a verificação dos valores mínimos e máximos calculados para as envoltórias de esforço cortante e de momento fletor na seção central do segundo vão da viga da ponte (vão com comprimento c). As linhas de influência nesta seção devem ser desenhadas e devem ser indicadas as posições do carregamento móvel que determinam os valores mínimos e máximos de esforço cortante e momento fletor para esta seção. As áreas das linhas de influência, nos seus trechos positivos e negativos, devem ser calculadas com base nas ordenadas da linha de influência usando a regra dos trapézios.



| Parâmetros das seções transversais | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|------|---|------|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|---|-----|------|-----|------|---|-----|------|-----|------|---|
| Viga (Girder Section) | | <table border="1"> <tr> <td>b1:</td> <td>6.00</td> <td>b2:</td> <td>1.00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>tw:</td> <td>0.60</td> <td>d1:</td> <td>0.25</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>d2:</td> <td>0.20</td> <td>d3:</td> <td>1.00</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>d4:</td> <td>0.20</td> <td>d5:</td> <td>0.20</td> <td>m</td> </tr> </table> | b1: | 6.00 | b2: | 1.00 | m | tw: | 0.60 | d1: | 0.25 | m | d2: | 0.20 | d3: | 1.00 | m | d4: | 0.20 | d5: | 0.20 | m |
| b1: | 6.00 | b2: | 1.00 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tw: | 0.60 | d1: | 0.25 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d2: | 0.20 | d3: | 1.00 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d4: | 0.20 | d5: | 0.20 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pilar (retangular) | | <table border="1"> <tr> <td>d:</td> <td>0.60</td> <td>m</td> </tr> <tr> <td>b:</td> <td>2.00</td> <td>m</td> </tr> </table> | d: | 0.60 | m | b: | 2.00 | m | | | | | | | | | | | | | | |
| d: | 0.60 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b: | 2.00 | m | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Na *homepage* da disciplina tem disponível um roteiro para criação de um modelo de ponte com trem-tipo, e visualização de posições críticas do trem-tipo ao longo de linhas de influência e de envoltórias de esforços internos: http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftool400roteirotremtipo.pdf.

Sugestão de opções de configuração no Ftool:

Unidades: kN-m

Número de casas decimais para distâncias: 0 (nenhuma casa decimal)

Número de casas decimais para forças: 1

Número de casas decimais para momentos: 1

Número de casas decimais para cargas distribuídas: 0 (nenhuma casa decimal)

Número de casas decimais para dimensões de seção transversal (em metros): 2

Tamanho do passo (*Step*) de visualização: 2 m

Opção de desenho de valores de resultados (*Display/Result Values*): ativa.

Opção de desenho de valores de resultados em passos (*Display/Step Values*): ativa.

Opção de desenho transversal de valores de resultados (*Display/Transversal Values*): ativa.

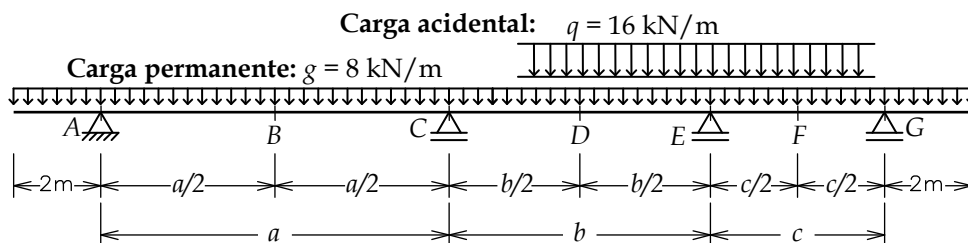
Opção de desenho de sinais de momentos fletores (*Display/Bending Moment Signs*): ativa.

| | Matrícula | <i>a</i> [m] | <i>b</i> [m] | <i>c</i> [m] | <i>d</i> [m] | <i>e</i> [m] |
|----|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 1321330 | 8 | 26 | 40 | 34 | 12 |
| 2 | 1420321 | 8 | 28 | 38 | 34 | 12 |
| 3 | 1421699 | 8 | 30 | 36 | 34 | 12 |
| 4 | 1511787 | 8 | 32 | 34 | 34 | 12 |
| 5 | 1512423 | 8 | 34 | 32 | 34 | 12 |
| 6 | 1512478 | 8 | 34 | 34 | 32 | 12 |
| 7 | 1520758 | 8 | 34 | 36 | 30 | 12 |
| 8 | 1520812 | 8 | 34 | 38 | 28 | 12 |
| 9 | 1520887 | 8 | 34 | 40 | 26 | 12 |
| 10 | 1520996 | 10 | 40 | 26 | 34 | 10 |
| 11 | 1611378 | 10 | 38 | 28 | 34 | 10 |
| 12 | 1611768 | 10 | 36 | 30 | 34 | 10 |
| 13 | 1612042 | 10 | 34 | 32 | 34 | 10 |
| 14 | 1612589 | 10 | 32 | 34 | 34 | 10 |
| 15 | 1620460 | 10 | 34 | 34 | 32 | 10 |
| 16 | 1711313 | 10 | 36 | 34 | 30 | 10 |
| 17 | 1711666 | 10 | 38 | 34 | 28 | 10 |
| 18 | 1720639 | 10 | 40 | 34 | 26 | 10 |
| 19 | 1920012 | 10 | 34 | 26 | 40 | 10 |
| 20 | 2010186 | 10 | 34 | 28 | 38 | 10 |

ENG 1204 - ANÁLISE DE ESTRUTURAS II - 1º Semestre - 2020

2ª questão do grau G3 (4,0 pontos) - Aplicação: 15/06/2020 - Entrega: 22/06/2020

Considere a viga abaixo com carga permanente (g) e carga acidental (q) uniformemente distribuídas mostradas. Cada aluno tem um conjunto de valores para os parâmetros de comprimento (a , b , e c). Consulte pelo número de matrícula os dados do seu modelo na tabela fornecida. Adote para toda a viga um módulo de elasticidade do material $E = 2 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ e uma seção transversal retangular com base 0.30 m e altura 0.60 m.



| Matrícula | a [m] | b [m] | c [m] |
|-----------|---------|---------|---------|
| 1321330 | 10 | 8 | 8 |
| 1420321 | 10 | 8 | 6 |
| 1421699 | 10 | 8 | 4 |
| 1511787 | 10 | 8 | 2 |
| 1512478 | 8 | 6 | 10 |
| 1520758 | 8 | 6 | 6 |
| 1520812 | 8 | 6 | 4 |
| 1520887 | 8 | 6 | 2 |
| 1520996 | 6 | 4 | 10 |
| 1611378 | 6 | 4 | 8 |
| 1612042 | 6 | 4 | 4 |
| 1612589 | 6 | 4 | 2 |
| 1620460 | 4 | 10 | 10 |
| 1711313 | 4 | 10 | 8 |
| 1711666 | 4 | 10 | 6 |
| 1720639 | 4 | 10 | 2 |
| 1920012 | 2 | 8 | 6 |
| 2010186 | 2 | 8 | 4 |

Pede-se:

Item (a) (0,5 ponto)

Utilizando o Ftool trace as linhas de influência de momentos fletores para as seções A, B, C, D, E, F e G indicadas. Os valores das linhas de influência devem ser indicados com um passo (*Step*) de 1 m. Utilize 4 casas decimais para os valores das linhas de influência. Sugestão: para não acavalar os valores das linhas de influência, selecione a opção *Transversal Values* do menu *Display*.

Item (b) (1,0 ponto)

Crie um carregamento que possibilite o cálculo dos valores de todas as linhas de influência do item (a) na seção B. Mostre no diagrama de momentos fletores para esse carregamento onde estão esses valores, identificando-os por: valor da LIM_A em B, valor da LIM_B em B, valor da LIM_C em B, valor da LIM_D em B, valor da LIM_E em B, valor da LIM_F em B, e valor da LIM_G em B. Utilize 4 casas decimais para os valores dos momentos fletores.

Item (c) (0,5 ponto)

Com base nas linhas de influência traçadas no item (a), defina os carregamentos que devem atuar na viga de forma a minimizar e maximizar os momentos fletores nas seções indicadas. Indique, para cada carregamento, os trechos onde atuam somente a carga permanente e os trechos onde atuam a carga permanente junto com a carga acidental.

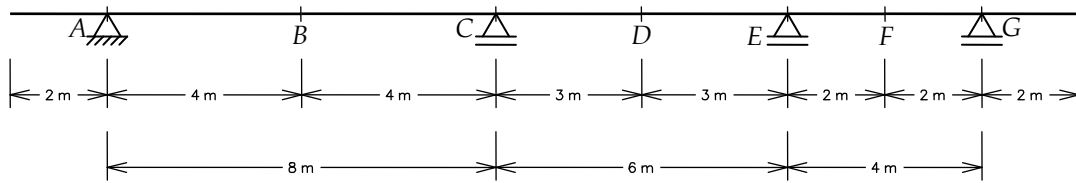
Item (d) (2,0 pontos)

Com base nas linhas de influência traçadas no item (a) e nos carregamentos definidos no item (c), calcule as envoltórias de mínimos e máximos de momentos fletores. As áreas dos trechos negativos e positivos das linhas de influência devem ser calculadas pela regra dos trapézios com um passo (*Step*) de 1 m. A unidade para os valores dos momentos fletores nas envoltórias deve ser [kNm] e devem ser mostrados com uma casa decimal. Mostre as envoltórias determinadas pelo Ftool e compare com as envoltórias calculadas utilizando a regra dos trapézios.

ENG 1204 - ANÁLISE DE ESTRUTURAS II - 1º Semestre - 2020

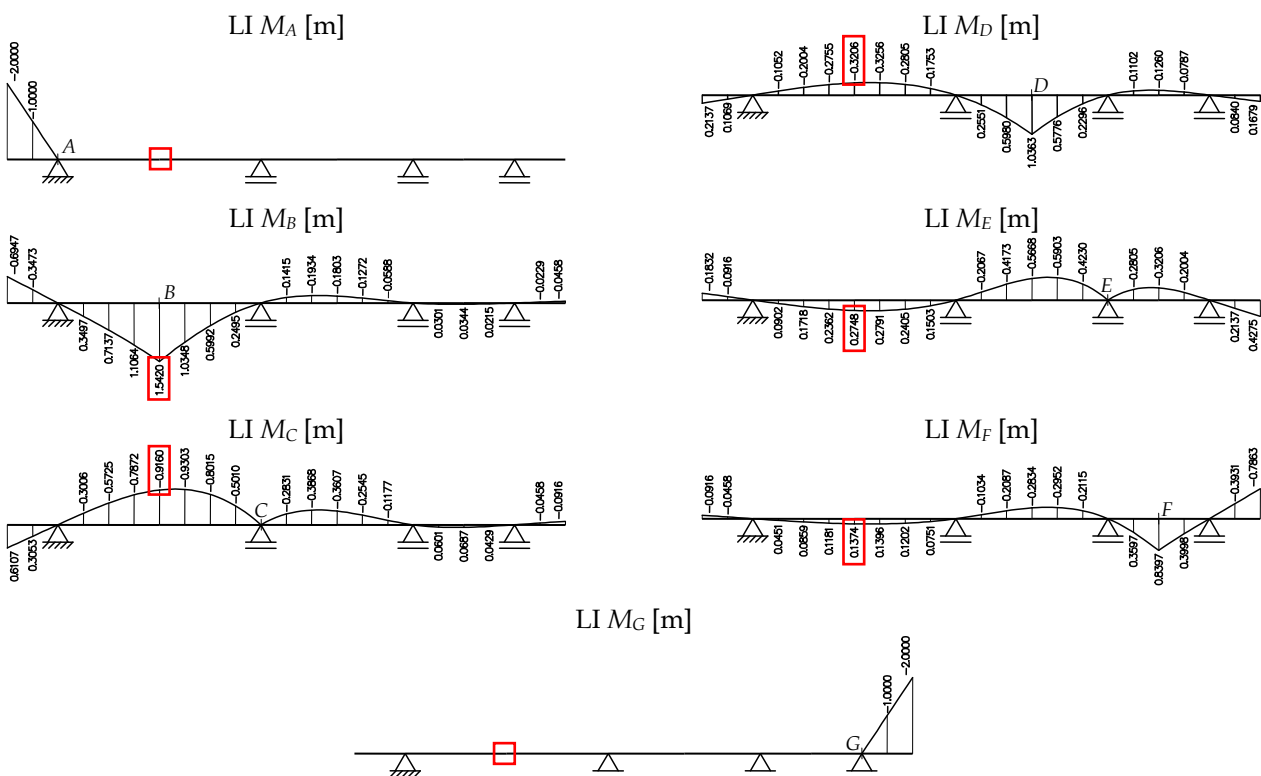
Grau G3 - 2ª Questão (4,0 pontos) - SOLUÇÃO

Esta solução adota os seguintes valores para os parâmetros de distância: $a = 8$ m, $b = 6$ m e $c = 4$ m.



Item (a)

Utilizando o Ftool trace as linhas de influência de momentos fletores para as seções A, B, C, D, E, F e G indicadas. Os valores das linhas de influência devem ser indicados com um passo (Step) de 1 m. Utilize 4 casas decimais para os valores das linhas de influência. Sugestão: para não acavalar os valores das linhas de influência, selecione a opção Transversal Values do menu Display.

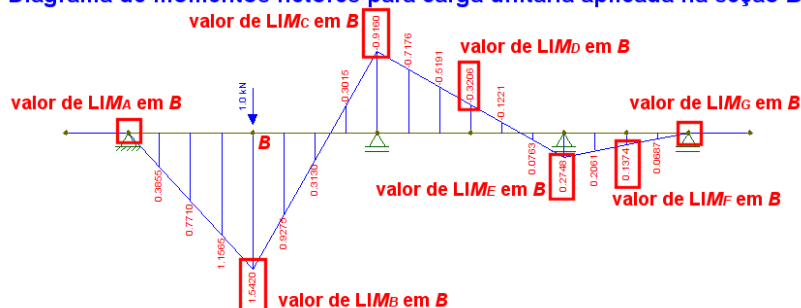


Item (b)

Crie um carregamento que possibilite o cálculo dos valores de todas as linhas de influência do item (a) na seção B. Mostre no diagrama de momentos fletores para esse carregamento onde estão esses valores, identificando-os por: valor da LIM_A em B, valor da LIM_B em B, valor da LIM_C em B, valor da LIM_D em B, valor da LIM_E em B, valor da LIM_F em B, e valor da LIM_G em B. Utilize 4 casas decimais para os valores dos momentos fletores.

O carregamento que possibilita o cálculo dos valores de todas as linhas de influência do item (a) na seção B (salientados com retângulos vermelhos) é uma carga vertical unitária aplicada na seção B, tal como mostrado em seguida:

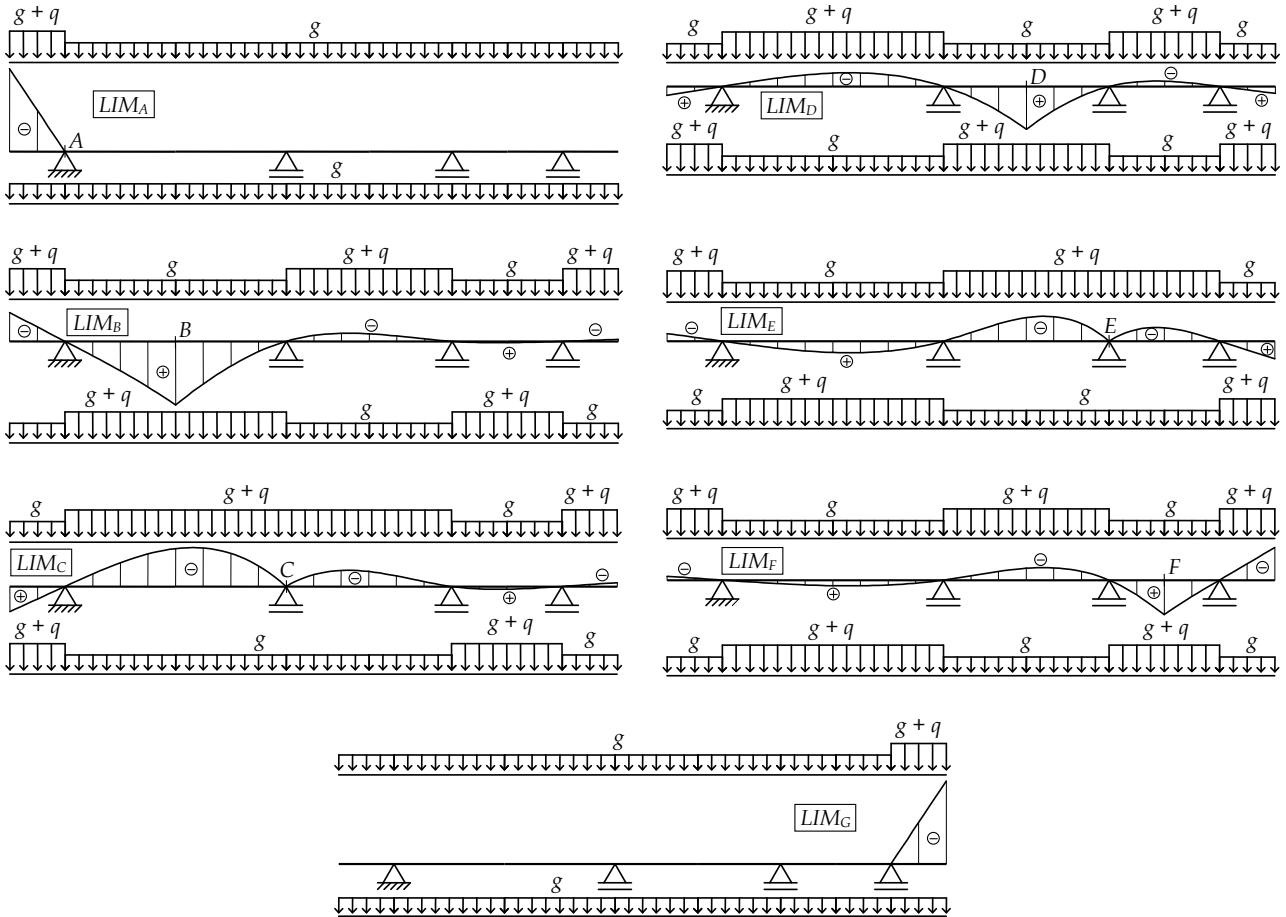
Diagrama de momentos fletores para carga unitária aplicada na seção B



Item (c)

Com base nas linhas de influência traçadas no item (a), defina os carregamentos que devem atuar na viga de forma a minimizar e maximizar os momentos fletores nas seções indicadas. Indique, para cada carregamento, os trechos onde atuam somente a carga permanente e os trechos onde atuam a carga permanente junto com a carga accidental.

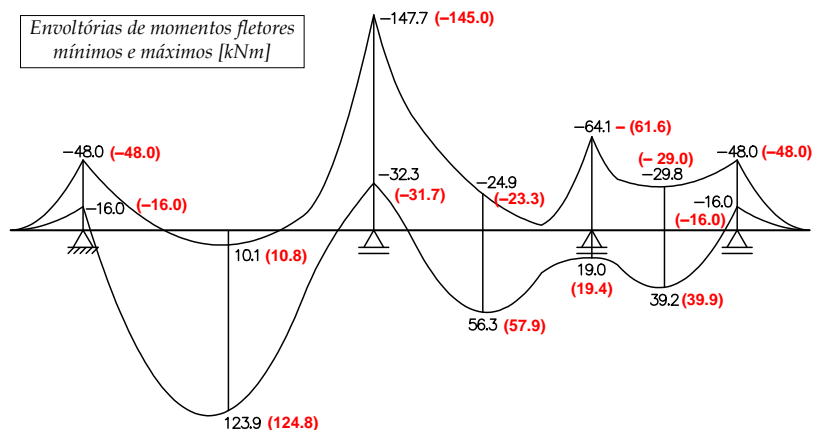
Para cada uma das linhas de influência selecionadas, o carregamento superior é o que provoca o mínimo momento fletor e o carregamento inferior é o que provoca o máximo momento fletor na seção de referência:



Item (d)

Com base nas linhas de influência traçadas no item (a) e nos carregamentos definidos no item (c), calcule as envoltórias de mínimos e máximos de momentos fletores. As áreas dos trechos negativos e positivos das linhas de influência devem ser calculadas pela regra dos trapézios com um passo (Step) de 1 m. A unidade para os valores dos momentos fletores nas envoltórias deve ser [kNm] e devem ser mostrados com uma casa decimal. Mostre as envoltórias determinadas pelo Ftool e compare com as envoltórias calculadas utilizando a regra dos trapézios.

A figura abaixo mostra as envoltórias de momentos fletores mínimos e máximos provocadas pelas cargas permanente e accidental. O traçado pelo Ftool está mostrado em cor preta. Os valores em vermelho entre parênteses são os valores calculados utilizando a regra dos trapézios com base nos valores indicados no item (a). A planilha na página seguinte mostra o cálculo pela regra dos trapézios. Observa-se que as diferenças são pequenas.



G3 - Questão 2 - SOLUÇÃO

Cálculo pela regra dos trapézios (passo de 1 m) das áreas dos trechos negativos e positivos das linhas de influência de momentos fletores nas seções selecionadas.

| LIM _A [m] | Áreas [m ²] | LIM _B [m] | Áreas [m ²] | LIM _C [m] | Áreas [m ²] | LIM _D [m] | Áreas [m ²] | LIM _E [m] | Áreas [m ²] | LIM _F [m] | Áreas [m ²] | LIM _G [m] | Áreas [m ²] |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| -2.0000 | -2.0000 | -0.6947 | -0.6947 | 0.6107 | 0.6107 | 0.2137 | 0.2137 | -0.1832 | -0.1832 | -0.0916 | -0.0916 | | 0.0000 |
| | | 0.3497 | | -0.3006 | | -0.1052 | | 0.0902 | | 0.0451 | | | |
| | | 0.7137 | | -0.5725 | | -0.2004 | | 0.1718 | | 0.0859 | | | |
| | | 1.1064 | | -0.7872 | | -0.2755 | | 0.2362 | | 0.1181 | | | |
| | | 1.5420 | | -0.9160 | | -0.3206 | | 0.2748 | | 0.1374 | | | |
| | | 1.0348 | | -0.9303 | | -0.3256 | | 0.2791 | | 0.1396 | | | |
| | | 0.5992 | | -0.8015 | | -0.2805 | | 0.2405 | | 0.1202 | | | |
| | 0.0000 | 0.2495 | 5.5953 | -0.5010 | -4.8091 | -0.1753 | -1.6831 | 0.1503 | 1.4429 | 0.0751 | 0.7214 | | 0.0000 |
| | | -0.1415 | | -0.2831 | | 0.2551 | | -0.2067 | | -0.1034 | | | |
| | | -0.1934 | | -0.3868 | | 0.5980 | | -0.4173 | | -0.2087 | | | |
| | | -0.1803 | | -0.3607 | | 1.0363 | | -0.5668 | | -0.2834 | | | |
| | | -0.1272 | | -0.2545 | | 0.5776 | | -0.5903 | | -0.2952 | | | |
| | 0.0000 | -0.0588 | -0.7012 | -0.1177 | -1.4028 | 0.2296 | 2.6966 | -0.4230 | -2.2041 | -0.2115 | -1.1022 | | 0.0000 |
| | | 0.0301 | | 0.0601 | | -0.1102 | | -0.2805 | | 0.3597 | | | |
| | | 0.0344 | | 0.0687 | | -0.1260 | | -0.3206 | | 0.8397 | | | |
| | 0.0000 | 0.0215 | 0.0860 | 0.0429 | 0.1717 | -0.0787 | -0.3149 | -0.2004 | -0.8015 | 0.3998 | 1.5992 | | 0.0000 |
| | 0.0000 | -0.0458 | -0.0458 | -0.0916 | -0.0916 | 0.1679 | 0.1679 | 0.4275 | 0.4275 | -0.7863 | -0.7863 | -2.0000 | -2.0000 |

Valores das envoltórias de mínimos e máximos de momentos fletores nas seções selecionadas calculados com áreas de pela regra dos trapézios

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|--------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| M _{Amin} | -48.0 | M _{Bmin} | 10.8 | M _{Cmin} | -145.0 | M _{Dmin} | -23.3 | M _{Emin} | -61.6 | M _{Fmin} | -29.0 | M _{Gmin} | -48.0 |
| M _{Amax} | -16.0 | M _{Bmax} | 124.8 | M _{Cmax} | -31.7 | M _{Dmax} | 57.9 | M _{Emax} | 19.4 | M _{Fmax} | 39.9 | M _{Gmax} | -16.0 |

$$M_{\min} = \left(\sum \text{Áreas}^- + \sum \text{Áreas}^+ \right) \cdot g + \left(\sum \text{Áreas}^- \right) \cdot q$$

$$M_{\max} = \left(\sum \text{Áreas}^- + \sum \text{Áreas}^+ \right) \cdot g + \left(\sum \text{Áreas}^+ \right) \cdot q$$

em que:

$\sum \text{Áreas}^-$ → somatório das áreas dos trechos negativos de um linha de influência

$\sum \text{Áreas}^+$ → somatório das áreas dos trechos positivos de um linha de influência

$g = 8 \text{ kN/m}$ → carga permanente

$q = 16 \text{ kN/m}$ → carga acidental

ENG 1204 - ANÁLISE DE ESTRUTURAS II - 1º Semestre - 2020

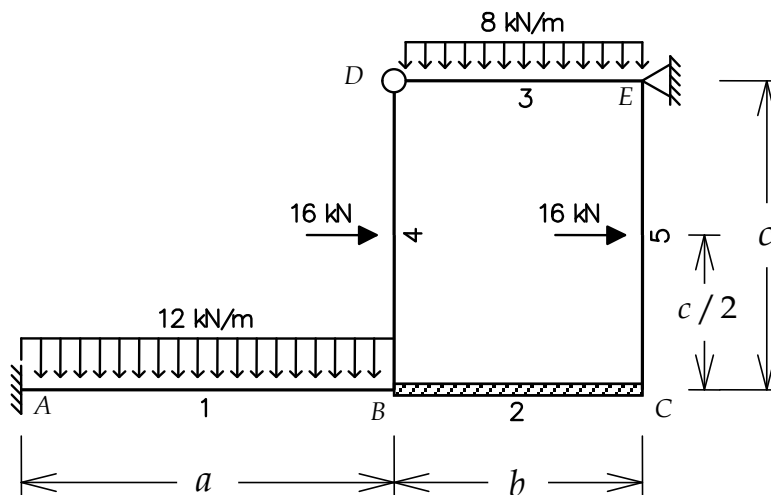
Grau G3 - 3ª Questão - Aplicação: 29/06/2020, 9 hs - Entrega: 06/07/2020, 9 hs

3ª Questão (4,5 pontos)

Empregando-se o Método dos Deslocamentos, obter o diagrama de momentos fletores para o pórtico plano mostrado abaixo com barras inextensíveis e uma barra infinitamente rígida (barra horizontal inferior na direita). Todos os passos da solução devem ser mostrados.

Despreza-se deformações axiais e deformações por cisalhamento. Considera-se apenas deformações por flexão. Todas as barras têm material com módulo de elasticidade $E = 1 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ e seção transversal com área $A = 0.012 \text{ m}^2$ e momento de inércia $I = 0.0012 \text{ m}^4$. A área da seção transversal não é utilizada porque são barras inextensíveis, assim como o momento de inércia da barra infinitamente rígida não é utilizado.

Sugestão: Crie o seu modelo estrutural no Ftool e verifique quais são as deslocabilidades do problema. Você pode verificar os valores dos termos de carga e coeficientes de rigidez globais pelo Ftool.



Consulte pelo seu número de matrícula os dados do seu modelo na tabela fornecida.

| Matrícula | a [m] | b [m] | c [m] |
|-----------|---------|---------|---------|
| 1321330 | 10 | 8 | 8 |
| 1420321 | 10 | 6 | 8 |
| 1421699 | 10 | 4 | 8 |
| 1511787 | 10 | 2 | 8 |
| 1512478 | 8 | 10 | 6 |
| 1520758 | 8 | 6 | 6 |
| 1520812 | 8 | 4 | 6 |
| 1520887 | 8 | 2 | 6 |
| 1520996 | 6 | 10 | 4 |
| 1611378 | 6 | 8 | 4 |
| 1612042 | 6 | 4 | 4 |
| 1612589 | 6 | 2 | 4 |
| 1620460 | 4 | 10 | 10 |
| 1711313 | 4 | 8 | 10 |
| 1711666 | 4 | 6 | 10 |
| 1720639 | 4 | 2 | 10 |
| 1920012 | 2 | 6 | 8 |
| 2010186 | 2 | 4 | 8 |

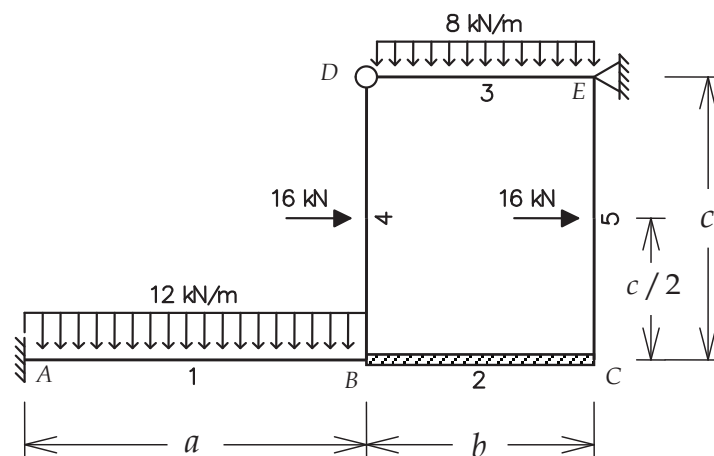
Método dos Deslocamentos

Grau G3 – 3ª Questão

Aplicação: 29/06/2020, 9 hs – Entrega: 06/07/2020, 9 hs

**Pórtico com barras ortogonais e
barra horizontal infinitamente rígida**

Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

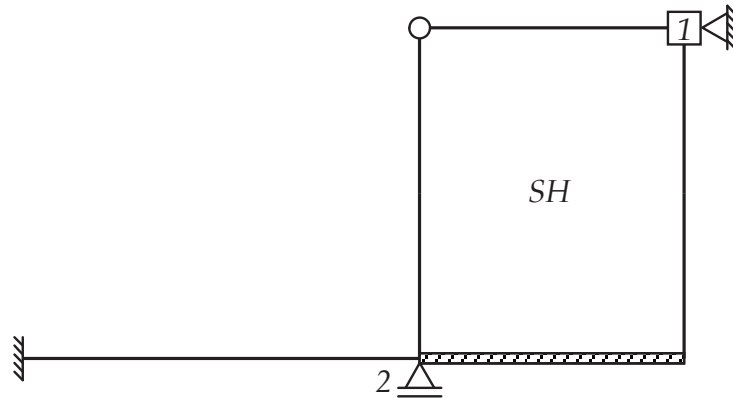


Todas as barras são inextensíveis, com inércia à flexão EI constante, exceto a barra horizontal inferior direita, que é infinitamente rígida.

Pede-se o diagrama de momentos fletores.

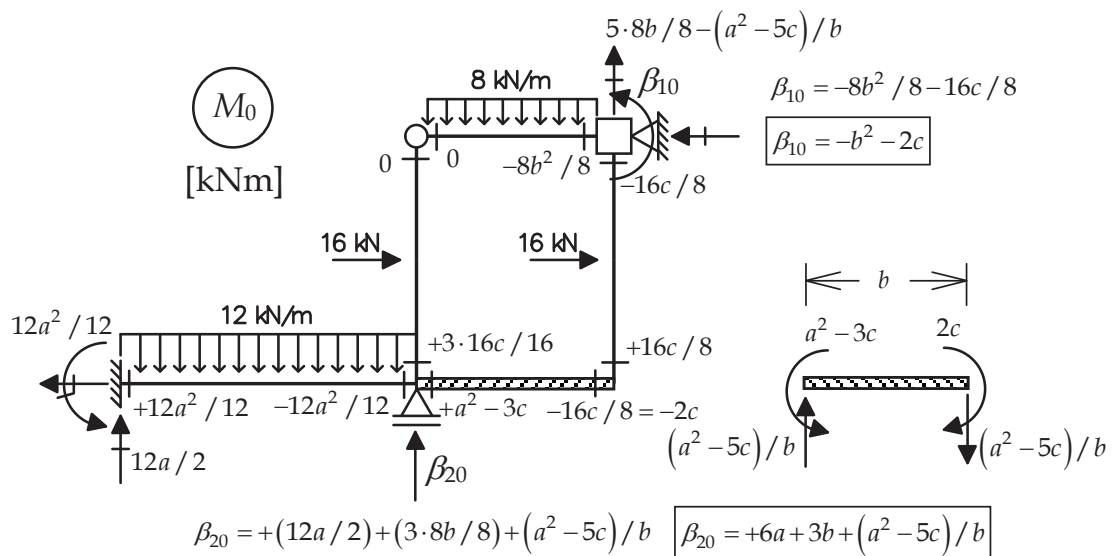
Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Sistema Hipergeométrico:



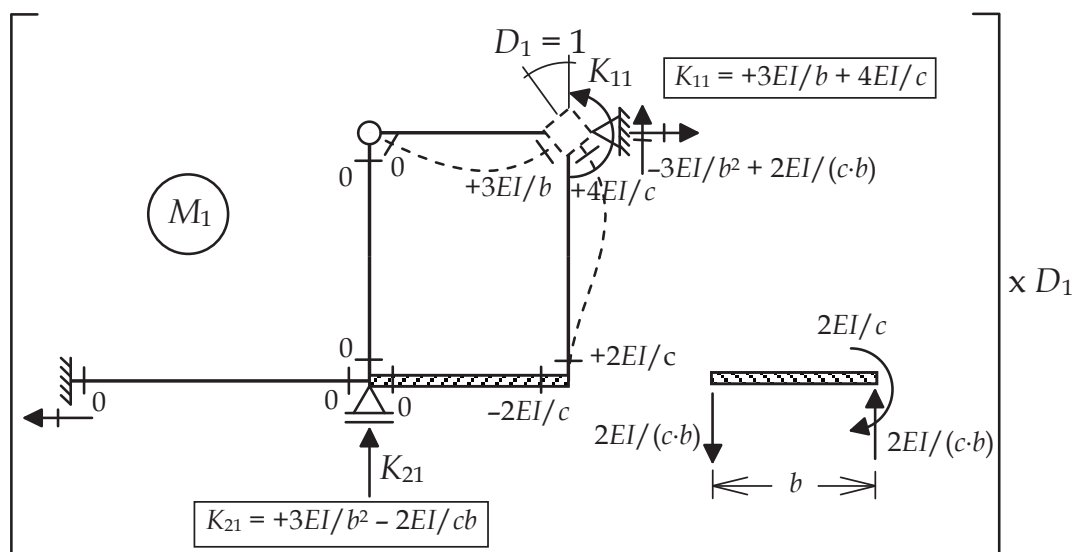
Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Caso (0) - Solicitação externa (carregamento) isolada no SH



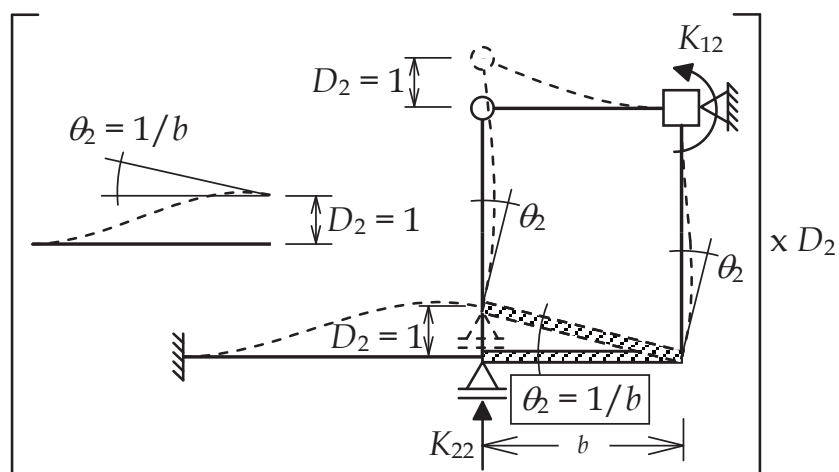
Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Caso (1) - Deslocabilidade D_1 isolada no SH



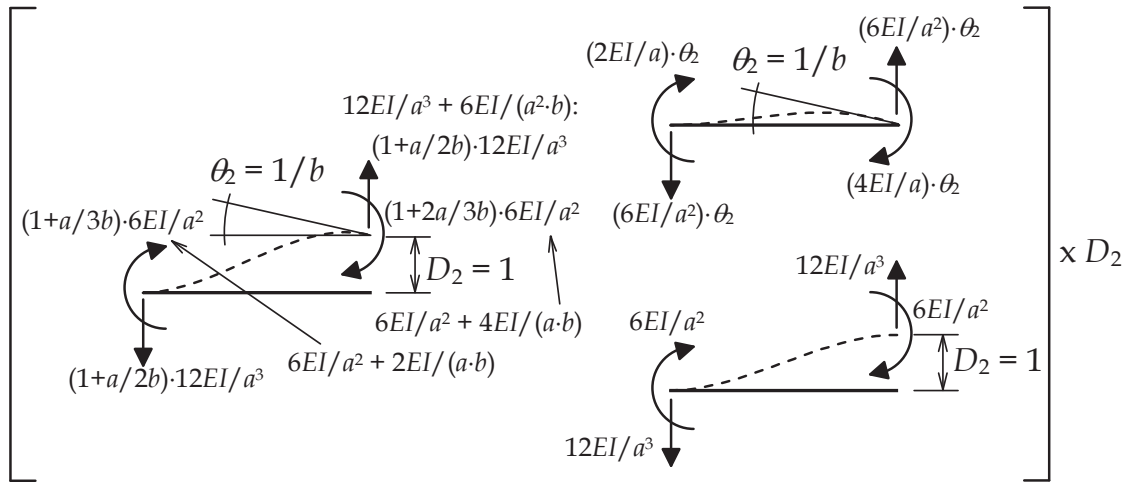
Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Caso (2) - Deslocabilidade D_2 isolada no SH



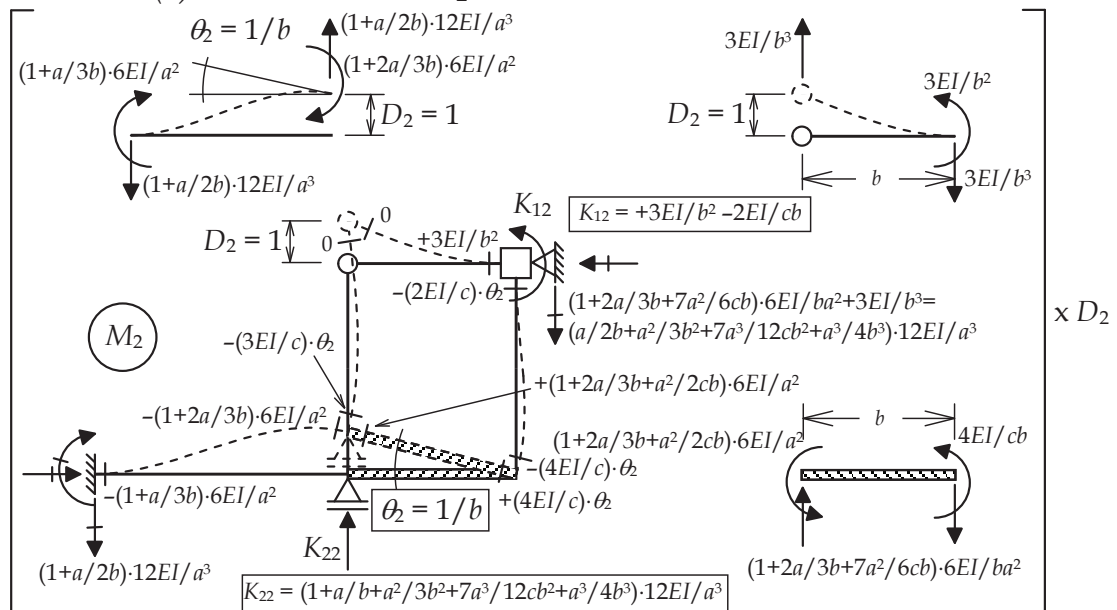
Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Caso (2) - Deslocabilidade D_2 isolada no SH



Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Caso (2) - Deslocabilidade D_2 isolada no SH



Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Equações de equilíbrio e cálculo das deslocabilidades:

$$\begin{cases} \beta_{10} + K_{11}D_1 + K_{12}D_2 = 0 \\ \beta_{20} + K_{21}D_1 + K_{22}D_2 = 0 \end{cases}$$

$$\beta_{10} = -b^2 - 2c$$

$$\beta_{20} = +6a + 3b + (a^2 - 5c)/b$$

$$K_{11} = +3EI/b + 4EI/c$$

$$K_{12} = K_{21} = +3EI/b^2 - 2EI/cb$$

$$K_{22} = (1 + a/b + a^2/3b^2 + 7a^3/12cb^2 + a^3/4b^3) \cdot 12EI/a^3$$

Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

| Matrícula | a [m] | b [m] | c [m] | β_{10} | β_{20} | K_{11} | $K_{12} =$ K_{21} | K_{22} |
|-----------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------|------------------------|----------------|
| 1321330 | 10 | 8 | 8 | -80 | 91.5 | $7EI/8$ | $EI/64$ | $1689EI/32000$ |
| 1420321 | 10 | 6 | 8 | -52 | 88 | EI | $EI/24$ | $2927EI/36000$ |
| 1421699 | 10 | 4 | 8 | -32 | 87 | $5EI/4$ | $EI/8$ | $2697EI/16000$ |
| 1511787 | 10 | 2 | 8 | -20 | 96 | $2EI$ | $5EI/8$ | $3063EI/4000$ |
| 1512478 | 8 | 10 | 6 | -112 | 81.4 | $29EI/30$ | $-EI/300$ | $2969EI/48000$ |
| 1520758 | 8 | 6 | 6 | -48 | $215/3$ | $7EI/6$ | $EI/36$ | $397EI/3456$ |
| 1520812 | 8 | 4 | 6 | -28 | 68.5 | $17EI/12$ | $5EI/48$ | $85EI/384$ |
| 1520887 | 8 | 2 | 6 | -16 | 71 | $13EI/6$ | $7EI/12$ | $349EI/384$ |
| 1520996 | 6 | 10 | 4 | -108 | 67.6 | $13EI/10$ | $-EI/50$ | $2089EI/18000$ |
| 1611378 | 6 | 8 | 4 | -72 | 62 | $11EI/8$ | $-EI/64$ | $649EI/4608$ |
| 1612042 | 6 | 4 | 4 | -24 | 52 | $7EI/4$ | $EI/16$ | $97EI/288$ |
| 1612589 | 6 | 2 | 4 | -12 | 50 | $5EI/2$ | $EI/2$ | $173EI/144$ |
| 1620460 | 4 | 10 | 10 | -120 | 50.6 | $7EI/10$ | $EI/100$ | $113EI/400$ |
| 1711313 | 4 | 8 | 10 | -84 | 43.75 | $31EI/40$ | $7EI/320$ | $803EI/2560$ |
| 1711666 | 4 | 6 | 10 | -56 | $109/3$ | $9EI/10$ | $EI/20$ | $269EI/720$ |
| 1720639 | 4 | 2 | 10 | -24 | 13 | $19EI/10$ | $13EI/20$ | $109EI/80$ |
| 1920012 | 2 | 6 | 8 | -52 | 24 | EI | $EI/24$ | $67EI/32$ |
| 2010186 | 2 | 4 | 8 | -32 | 15 | $5EI/4$ | $EI/8$ | $317EI/128$ |

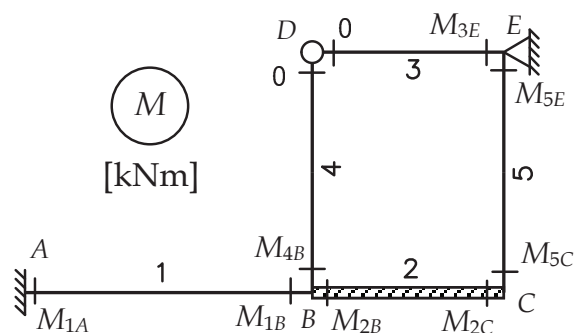
Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Solução do sistema de equações de equilíbrio: valores das deslocabilidades

| Matrícula | a [m] | b [m] | c [m] | D_1 | D_2 |
|-----------|---------|---------|---------|-------------------|---------------------|
| 1321330 | 10 | 8 | 8 | $2893920/23521EI$ | $-41632000/23521EI$ |
| 1420321 | 10 | 6 | 8 | $568408/5729EI$ | $-6492000/5729EI$ |
| 1421699 | 10 | 4 | 8 | $94656/1135EI$ | $-131200/227EI$ |
| 1511787 | 10 | 2 | 8 | $602520/9127EI$ | $-1636000/9127EI$ |
| 1512478 | 8 | 10 | 6 | $639008/5739EI$ | $-7518080/5739EI$ |
| 1520758 | 8 | 6 | 6 | $51872/921EI$ | $-195712/307EI$ |
| 1520812 | 8 | 4 | 6 | $4096/93EI$ | $-153536/465EI$ |
| 1520887 | 8 | 2 | 6 | $42976/1251EI$ | $-125312/1251EI$ |
| 1520996 | 6 | 10 | 4 | $402552/5417EI$ | $-3085920/5417EI$ |
| 1611378 | 6 | 8 | 4 | $169056/3565EI$ | $-1550592/3565EI$ |
| 1612042 | 6 | 4 | 4 | $26112/1349EI$ | $-213120/1349EI$ |
| 1612589 | 6 | 2 | 4 | $11352/793EI$ | $-37728/793EI$ |
| 1620460 | 4 | 10 | 10 | $688120/3953EI$ | $-732400/3953EI$ |
| 1711313 | 4 | 8 | 10 | $699020/6211EI$ | $-915040/6211EI$ |
| 1711666 | 4 | 6 | 10 | $163720/2403EI$ | $-28400/267EI$ |
| 1720639 | 4 | 2 | 10 | $32920/1733EI$ | $-32240/1733EI$ |
| 1920012 | 2 | 6 | 8 | $63288/1205EI$ | $-15072/1205EI$ |
| 2010186 | 2 | 4 | 8 | $41536/1577EI$ | $-11648/1577EI$ |

Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Diagrama de momentos fletores finais: $M = M_0 + M_1D_1 + M_2D_2$



Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

| Matrícula | a [m] | b [m] | c [m] | M_{1A} [kNm] | M_{1B} [kNm] | M_{2B} [kNm] | M_{2C} [kNm] | M_{3E} [kNm] | M_{4B} [kNm] | M_{5C} [kNm] | M_{5E} [kNm] |
|-----------|------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1321330 | 10 | 8 | 8 | 250.4 | 94.7 | -201.7 | -157.4 | -100.8 | 107.0 | 157.4 | 100.8 |
| 1420321 | 10 | 6 | 8 | 205.8 | 43.5 | -138.4 | -135.2 | -80.8 | 94.8 | 135.2 | 80.8 |
| 1421699 | 10 | 4 | 8 | 163.6 | -7.5 | -70.7 | -109.1 | -61.8 | 78.2 | 109.1 | 61.8 |
| 1511787 | 10 | 2 | 8 | 128.7 | -53.4 | -4.2 | -77.3 | -39.4 | 57.6 | 77.3 | 39.4 |
| 1512478 | 8 | 10 | 6 | 219.6 | 124.3 | -207.8 | -136.4 | -105.9 | 83.5 | 136.4 | 105.9 |
| 1520758 | 8 | 6 | 6 | 150.3 | 48.9 | -120.0 | -101.6 | -61.0 | 71.1 | 101.6 | 61.0 |
| 1520812 | 8 | 4 | 6 | 115.6 | 8.2 | -67.5 | -81.7 | -44.9 | 59.3 | 81.7 | 44.9 |
| 1520887 | 8 | 2 | 6 | 85.9 | -29.6 | -13.5 | -56.8 | -27.6 | 43.0 | 56.8 | 27.6 |
| 1520996 | 6 | 10 | 4 | 149.9 | 96.9 | -151.6 | -102.1 | -94.8 | 54.7 | 102.1 | 94.8 |
| 1611378 | 6 | 8 | 4 | 126.6 | 72.7 | -125.5 | -86.1 | -66.6 | 52.8 | 86.1 | 66.6 |
| 1612042 | 6 | 4 | 4 | 75.5 | 16.7 | -58.3 | -57.2 | -31.1 | 41.6 | 57.2 | 31.1 |
| 1612589 | 6 | 2 | 4 | 51.9 | -12.2 | -17.6 | -38.9 | -18.2 | 29.8 | 38.9 | 18.2 |
| 1620460 | 4 | 10 | 10 | 94.7 | 72.0 | -107.6 | -62.2 | -53.3 | 35.6 | 62.2 | 53.3 |
| 1711313 | 4 | 8 | 10 | 80.5 | 57.7 | -93.2 | -49.9 | -28.7 | 35.5 | 49.9 | 28.7 |
| 1711666 | 4 | 6 | 10 | 64.8 | 41.6 | -76.9 | -40.7 | -10.8 | 35.3 | 40.7 | 10.8 |
| 1720639 | 4 | 2 | 10 | 27.6 | 0.3 | -33.1 | -27.5 | 10.5 | 32.8 | 27.5 | -10.5 |
| 1920012 | 2 | 6 | 8 | 24.8 | 18.9 | -43.7 | -30.2 | -10.8 | 24.8 | 30.2 | 10.8 |
| 2010186 | 2 | 4 | 8 | 16.9 | 10.8 | -35.5 | -23.5 | 2.4 | 24.7 | 23.5 | -2.4 |

Pórtico com barra horizontal infinitamente rígida

Diagrama de momentos fletores finais: $M = M_0 + M_1 D_1 + M_2 D_2$

Adotando $a = 6$ m; $b = 4$ m; $c = 5$ m:

$$D_1 = 4915/187EI$$

$$D_2 = -31500/187EI$$

