

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**PROJETO DE ELEMENTOS DE AÇO E CONCRETO
COM ÊNFASE EM PILARES MISTOS**

ERIK TOLENTINO OLIVEIRA E SILVA

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>FOLHA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVOS	4
3	OBJETIVOS ESPECIFICOS	4
4	PROGRAMAS UTILIZADOS	4
5	DESENVOLVIMENTO	5
6	CARREGAMENTO	5
7	DIMENSIONAMENTO DAS LAJES MISTAS	7
8	DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS MISTAS	8
9	INTRODUÇÃO AOS PILARES MISTOS PARCIALMENTE E TOTALMENTE ENVOLVIDOS POR CONCRETO	12
10	DIMENSIONAMENTO DO PILAR MISTO PARCIALMENTE ENVOLVIDO POR CONCRETO	13
11	DIMENSIONAMENTO DO PILAR MISTO TOTALMENTE ENVOLVIDO POR CONCRETO	16
12	CONCLUSÃO	19
13	NORMAS E BIBLIOGRAFIAS ADOTADAS	19
14	ANEXOS	20

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o dimensionamento de elementos constitutivos de sistemas estruturais mistos de aço e concreto.

Denomina-se estrutura mista de aço e concreto aquela na qual um perfil de aço trabalha em conjunto com o concreto armado ou não, formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista. A interação entre o aço e o concreto pode ser estabelecida através do uso de conectores, ressalto, cantos reentrantes dentre outros meios mecânicos ou por simples atrito ou aderência entre os materiais.

Os sistemas estruturais mistos de aço e concreto são normalmente empregados na construção de edifícios e pontes.

2 OBJETIVOS

Dimensionar as lajes, vigas e pilares mistos de aço e concreto de uma estrutura de um edifício comercial constituído de 10 pavimentos típicos acima do térreo, considerando apenas as ações gravitacionais.

3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Para o edifício comercial:

- Dimensionar as lajes mistas de aço e concreto;
- Criar planilhas para dimensionar as vigas mistas de aço e concreto;
- Criar planilhas para dimensionar os pilares mistos de aço, parcialmente e totalmente envolvidos por concreto;
- Estimar e comparar os pesos dos pilares mistos de aço, parcialmente e totalmente envolvidos por concreto dimensionados;
- Estimar e comparar os pesos por unidade de área do edifício considerando os pilares mistos de aço, parcialmente e totalmente envolvidos por concreto dimensionados.

4 PROGRAMAS UTILIZADOS

- Ftool – Two-Dimensional Frame Analysis Tool – Versão Educacional 2.12 – Fevereiro de 2008 - PUC-Rio Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro –

Departamento de Engenharia Civil e Tecgraf/PUC Rio Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica.

- Excel 2010;
- Autocad 2015.

5 DESENVOLVIMENTO

Cada andar do edifício é composto por módulos típicos de piso idênticos conforme mostrado na figura 1 abaixo:

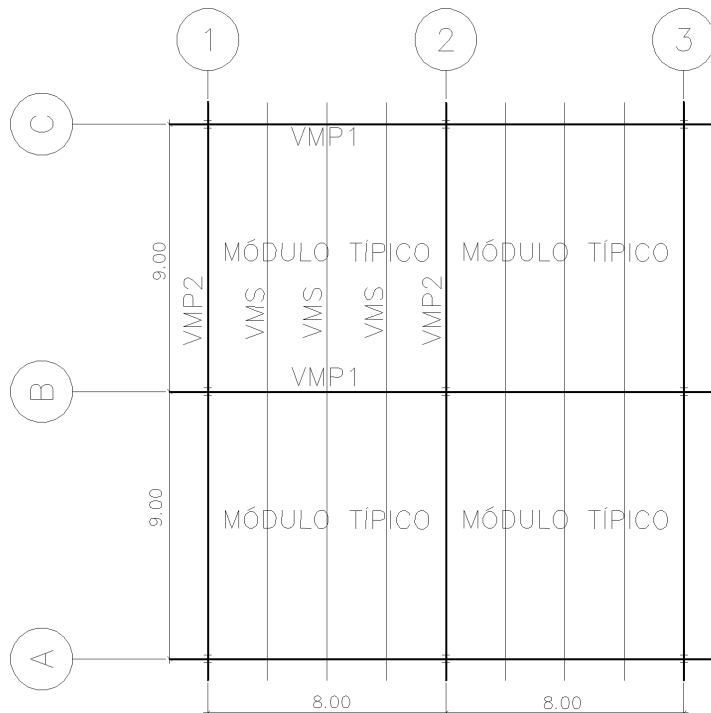


Figura 1: Módulos típicos de piso de cada andar do edifício

Legenda:

VMP1 e VMP2 – Vigas Mistas Principais 1 e 2 respectivamente;

VMS – Viga Mista Secundária.

6 CARREGAMENTO

Dados os carregamentos em cada piso:

- Sobrecarga de $3,00 \text{ kN/m}^2$;
- Peso próprio da laje igual a $2,08 \text{ kN/m}^2$;
- Peso próprio da estrutura das vigas de aço igual a $0,30 \text{ kN/m}^2$;
- Peso próprio das divisórias igual a $1,00 \text{ kN/m}^2$ e;
- Peso próprio do revestimento de piso igual a $0,50 \text{ kN/m}^2$.

Obtêm-se os carregamentos nominais e de cálculo conforme mostrados abaixo:

- **Vigas VMS e VMP2:**

Carga distribuída nominal (q_{sn}):

$$q_{sn} = 13,76 \text{ kN/m}$$

Carga distribuída de cálculo (q_{sd}):

$$q_{sd} = 19,26 \text{ kN/m}$$

Reação nos apoios (R_{Sd_1}) igual ao cortante solicitante máximo (V_{Sd_1}):

$$R_{Sd_1} = 86,67 \text{ kN}$$

Momento fletor solicitante máximo (M_{Sd_1}):

$$M_{Sd_1} = 195,01 \text{ kNm}$$

7 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES MISTAS

Foram utilizados os sistemas tabelados de Steel Deck MF-50 e MF-75, conforme tabela 1 apresentada no Anexo I, para seleção das fôrmas adequadas.

O dimensionamento das lajes mistas é apresentado a seguir:

- Carga sobreposta máxima = $3+1+0,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$.

Considerando como critérios para a seleção do Steel Deck, o menor peso da chapa de aço da fôrma, ou seja, a menor espessura de chapa e o menor peso próprio do sistema que corresponde praticamente ao peso de concreto da laje, foi selecionado o Steel Deck MF-50 (a partir dos dados da tabela 1) em aço ASTM A-653 Grau 40 (ZAR 280) com tensão de escoamento $f_y F=280 \text{ Mpa}$, espessura de 0,8 mm, área de aço igual a $9,97 \text{ cm}^2$ a cada 915 mm de comprimento, carga sobreposta máxima de $8,10 \text{ kN/m}^2$ maior que a calculada que foi de $4,5 \text{ kN/m}^2$, peso próprio de $2,08 \text{ kN/m}^2$ e altura total da laje de 110 mm.

Para combater os efeitos de retração e temperatura na laje mista deve ser usada uma tela Q-75.

Os cálculos das armaduras de costura e continuidade são apresentados no Anexo VIII. Conclui-se, portanto, que de acordo com os cálculos apresentados no Anexo VIII, não há necessidade de armadura de costura.

Para a armadura de continuidade foram adotados 4 barras de diâmetro igual a 10 mm em aço CA-50 com comprimento de 1125 mm. O desenho esquemático da armadura de continuidade é apresentado no Anexo IX.

8 DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS MISTAS

O dimensionamento das vigas mistas é apresentado no Anexo III. O desenho esquemático das vigas é apresentado no Anexo IV. Abaixo são apresentados dados e conclusões sobre o dimensionamento das vigas VMS, VMP2 e VMP1:

- **Vigas VMS e VMP2**

Dados:

- Vão (L) = 900 cm;
- Módulo de elasticidade (E) = 20000 kN/cm²;
- Resistência de cálculo ao escoamento (F_{yd}) = 31,82 kN/cm²;

Propriedades do perfil:

- Tipo: VS 500 x 86;
- Altura total (d) = 50 cm;
- Espessura da alma (t_w) = 0,63 cm;
- Largura da mesa (b_f) = 25 cm;
- Espessura da mesa (t_f) = 1,6 cm;
- Altura da alma (h) = 46,8 cm;
- Área bruta da seção transversal do perfil (A_g=A_a) = 109,5 cm²;
- Momento de inércia (I_x) = 52500 cm⁴;
- Módulo de resistência elástico (W_x) = 2090 cm³;
- Módulo plástico (Z_x) = 2281 cm³;
- Peso p= 0,86 KN/m.

Propriedades da laje de concreto:

- Largura efetiva (b) = 200 cm;
- Altura da laje acima da forma de aço (t_c) = 6,0 cm;
- Altura da laje embutida na forma de aço (h_f) = 5,0 cm;
- Resistência de cálculo do concreto a compressão (f_{cd}) = 2,14 kN/cm²;
- Módulo de elasticidade secante do concreto (E_c) = 2607,16 kN/cm².

Propriedades dos conectores pino com cabeça:

- Diâmetro do corpo do conector (d_{cs}) = 19 mm;
- Altura total do conector (h_{cs}) = 105 mm;
- Altura total do conector após soldagem no steel deck (h_{csi}) = 96 mm;
- Área da seção transversal do conector (A_{cs}) = 2,84 cm²;
- Módulo de elasticidade (E) = 20000 kN/cm²;
- Resistência à ruptura do conector (F_{ucs}) = 41,50 kN/cm².

➤ **Momento fletor resistente (MR_{d1})**

Para o cálculo do momento fletor resistente foi considerada construção não escorada antes da cura do concreto. Considerando-se, portanto, o estado limite último de flambagem local da alma e das mesas, como a relação $h/t_w = 74,29$ é menor que $3,76 (E/F_y)^{1/2} = 89,88$ e $bf/2t_f = 7,81$ é menor que $0,38 \times (E/F_y)^{1/2} = 9,08$, as vigas VMS e VMP2 foram dimensionadas considerando as propriedades plásticas da seção mista. Portanto, o momento fletor resistente calculado $MR_{d1} = 72577$ kNcm é maior que o momento fletor solicitante máximo $MS_{d1} = 19501$ kNcm, ou seja, as vigas VMS e VMP2 resistem ao carregamento solicitante.

Foi desconsiderado o efeito da flambagem lateral com torção, pois as formas do steel deck contêm lateralmente a viga.

Considerando a interação completa, como $A_a \times f_{yd} = 3484$ kN é maior que $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c = 2185$ kN, a linha neutra plástica (LNP) está no perfil de aço.

Como a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço $C_{ad} = (1/2) (A_a \times f_{yd} - C_{cd}) = 649$ kN (onde C_{cd} é a força resistente de cálculo da espessura

comprimida da laje de concreto) é menor que $A_{fs} \times F_{yd} = 1273 \text{ kN}$ (onde A_{fs} é a área da mesa superior do perfil de aço) a linha neutra plástica (LNP) está na mesa superior do perfil de aço.

➤ **Momento fletor resistente (MR_{d2})**

Após a cura do concreto o momento fletor resistente calculado $MR_{d2} = 104061 \text{ kNcm}$ é maior que o momento fletor solicitante máximo $MS_{d1} = 19501 \text{ kNcm}$, ou seja, as vigas VMS e VMP2 mistas resistem ao carregamento solicitante.

Agora considerando a interação parcial, determinou-se o grau de interação $\alpha_{max} = 0,52$. Para esta situação sabe-se que a linha neutra plástica (LNP) está no perfil de aço. Como a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço $C_{ad} = (1/2) (A_a \times f_{yd} - C_{cd}) = 1175 \text{ kN}$ (onde C_{cd} é a força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto) é menor que $A_{fs} \times F_{yd} = 1273 \text{ kN}$ (onde A_{fs} é a área da mesa superior do perfil de aço) a linha neutra plástica (LNP) está na mesa superior do perfil de aço.

➤ **Momento fletor resistente (MR_{d3})**

Após a cura do concreto o momento fletor resistente calculado $MR_{d3} = 90075 \text{ kNcm}$ é maior que o momento fletor solicitante máximo $MS_{d1} = 19501 \text{ kNcm}$, ou seja, as vigas VMS e VMP2 mistas resistem ao carregamento solicitante.

➤ **Disposição construtiva, quantidade e espaçamento dos conectores pino com cabeça**

Os conectores pino com cabeça foram dispostos em linha simples e soldados em uma nervura de forma de aço (steel deck) perpendicular ao perfil.

O número de conectores calculados foi $n = 16$ conectores dispostos entre o apoio e o ponto de momento fletor máximo.

O espaçamento longitudinal calculado entre as linhas de centros dos conectores foi de 28 cm.

➤ **Verificação à força cortante**

Levando-se em conta somente a resistência do perfil de aço à força cortante $VR_{k1} = 481 \text{ kN}$, que é maior que a força cortante solicitante $VS_{d1} = 87 \text{ kN}$, as vigas VMS e VMP2 resistem ao carregamento solicitante.

Estas vigas não tem enrijecedor intermediário.

➤ Verificação das deformações elásticas

A flecha (δ_{cp_i}) devido à ação permanente antes da cura do concreto é de 1,06 cm.

A flecha de curta duração (δ_{cp}) devido à ação permanente depois da cura do concreto é de 0,12 cm.

A flecha de longa duração (δ_{cp_1}) devido à ação permanente depois da cura do concreto é de 0,16 cm.

A flecha (δ_{sc}) devido à sobrecarga depois da cura do concreto é de 0,25 cm.

Logo a flecha total (δ_t) depois da cura do concreto é de 1,60 cm que é menor que a flecha admissível $\delta_{max} = L/350 = 2,57$ cm.

• Vigas VMP1

Dados:

- Vão (L) = 800 cm;
- Módulo de elasticidade (E) = 20000 kN/cm²;
- Resistência de cálculo ao escoamento (F_{yd}) = 31,82 kN/cm²;

Propriedades do perfil:

- Tipo: VS 500 x 86;
- Altura total (d) = 50 cm;
- Espessura da alma (t_w) = 0,63 cm;
- Largura da mesa (b_f) = 25 cm;
- Espessura da mesa (t_f) = 1,6 cm;
- Altura da alma (h) = 46,8 cm;
- Área bruta da seção transversal do perfil (A_g=A_a) = 109,5 cm²;
- Momento de inércia (I_x) = 52500 cm⁴;
- Módulo de resistência elástico (W_x) = 2090 cm³;
- Módulo plástico (Z_x) = 2281 cm³;
- Peso p = 0,86 kN/m.

➤ **Momento fletor resistente (MRd₄)**

Considerando-se o estado limite último de flambagem local da alma e das mesas, como a relação $h/t_w = 74,29$ é menor que $3,76 (E/F_y)^{1/2} = 89,88$ e $bf/2t_f = 7,81$ é menor que $0,38 \times (E/F_y)^{1/2} = 9,08$, as vigas VMP1 foram dimensionadas considerando as propriedades plásticas da seção mista. Portanto, o momento fletor resistente calculado $MR_{d4} = 72577 \text{ KNcm}$ é maior que o momento fletor solicitante máximo $MS_{d2} = 69340 \text{ KNcm}$, ou seja, as vigas VMP1 resistem ao carregamento solicitante.

➤ **Verificação à força cortante**

Como a resistência do perfil de aço à força cortante $VR_{k2} = 481 \text{ kN}$ é maior que a força cortante solicitante $VS_{d2} = 260 \text{ kN}$, as vigas VMP1 resistem ao carregamento solicitante.

Estas vigas não tem enrijecedor intermediário.

➤ **Verificação da deformação elástica**

A flecha total calculada pelo software Ftool é de 10,99 cm. Portanto, conclui-se ser necessário executar contra-flecha de 11 cm nas vigas VMP1.

O desenho esquemático das vigas mistas VMS, VMP1 e VMP2 é apresentado no Anexo IV.

9 INTRODUÇÃO AOS PILARES MISTOS PARCIALMENTE E TOTALMENTE ENVOLVIDOS POR CONCRETO

O propósito deste trabalho é enfatizar o dimensionamento dos pilares mistos de aço, parcialmente e totalmente envolvidos por concreto, estimando e comparando os seus pesos em busca da melhor solução de projeto.

Serão também estimados e comparados os pesos por unidade de área de piso típico do edifício considerando os pilares mistos de aço parcialmente e totalmente envolvidos por concreto dimensionados.

A seguir serão mostrados os dados e conclusões sobre o dimensionamento destes dois tipos de pilares, assim como os pesos estimados.

10 DIMENSIONAMENTO DO PILAR MISTO PARCIALMENTE ENVOLVIDO POR CONCRETO

O dimensionamento do pilar misto parcialmente envolvido por concreto é apresentado no Anexo V. O desenho esquemático é apresentado no Anexo VI. Abaixo são apresentados dados e conclusões sobre o dimensionamento do pilar misto parcialmente envolvido por concreto:

Dados:

- Pé direito (H) = 350 cm;

Propriedades do perfil:

- Aço Estrutural USI CIVIL 350;

- Módulo de elasticidade (E) = 20000 kN/cm²;

- Resistência de cálculo ao escoamento (F_{yd}) = 31,82 kN/cm²;

- Tipo: CS 600x305;

- Altura total (d) = 60 cm;

- Espessura da alma (t_w) = 1,6 cm;

- Largura da mesa (b_f) = 60 cm;

- Espessura da mesa (t_f) = 2,5 cm;

- Altura da alma (h) = 55 cm;

- Área bruta da seção transversal do perfil (A_g) = 388 cm²;

- Momento de inércia (I_x) = 270308 cm⁴;

- Módulo de resistência elástico (W_x) = 9010 cm³;

- Módulo plástico (Z_x) = 9835 cm³;

- Raio de giração (r_x) = 26,39 cm;

- Momento de inércia (I_y) = 90019 cm⁴;

- Módulo de resistência elástico (W_y) = 3001 cm³;

- Módulo plástico (Z_y) = 4335 cm³;

- Raio de giração (r_y) = 15,23 cm;
- Momento de inércia polar (J) = 704 cm⁴;
- Constante de torção (C_w) = 74390625 cm⁴;
- Peso (P) = 304,6 kg/m.

➤ **Esforço a ser transmitido pelo pilar**

O edifício comercial é constituído de 10 pavimentos acima do térreo com pé direito de 3,5 metros (distância entre as faces da laje). Logo, considerando estes dados, chega-se a uma carga axial solicitante de cálculo (NSd) a ser transmitida pelo pilar misto no primeiro pavimento de 6940 kN.

Propriedades da armadura:

- Aço CA 50:
- Números de barras (n): 8;
- Diâmetro das barras (d_b): 1,25 cm;
- Área total (A_s): 9,82 cm²;
- Momento de Inércia em x (I_{sx}): 5364 cm⁴;
- Momento de Inércia em y (I_{sy}): 3406 cm⁴;
- Resistência de cálculo da armadura (f_{sd}) = 43,48 kN/cm²;
- Módulo de elasticidade (E) = 21000 kN/cm².

Propriedades geométricas do concreto do pilar:

- Área de concreto do pilar (A_c): 3202 cm²;
- Momento de Inércia em x (I_{cx}): 804328 cm⁴;
- Momento de Inércia em y (I_{cy}): 986575 cm⁴;
- Resistência de cálculo do concreto a compressão: 2,14 kN/cm²;
- Módulo de elasticidade secante (E_c): 2607 kN/cm²;
- Módulo de elasticidade reduzido ($E_{c,red}$): 1043 kN/cm².

➤ **Verificação dos limites de aplicabilidade do pilar**

A seção transversal do pilar é duplamente simétrica e invariável ao longo do comprimento.

A relação entre a altura e a largura (d/bf) deve estar entre 0,2 e 5. A relação calculada d/bf é igual a 1, portanto, atende.

A relação entre as áreas da armadura e do concreto do pilar em porcentagem (As/Ac) deve estar entre 0,3% e 4%. A relação calculada As/Ac é igual a 0,31 % , portanto, atende.

O fator de contribuição do perfil de aço (δ) relação entre a força axial resistente de cálculo do perfil de aço ($N_{p,la}$) e a força axial resistente de cálculo da seção mista ($N_{pl,Rd}$) deve estar entre 0,2 e 0,9. A relação calculada δ é igual a 0,66, portanto, atende.

➤ **Força axial de compressão resistente de cálculo do pilar**

A rigidez efetiva à flexão da seção transversal mista $(EI)_{e,x}$ é igual a 6022090579 kN/cm² e $(EI)_{e,y}$ é igual 2489214806 kN/cm². Como $(EI)_{e,y} < (EI)_{e,x}$ e $k_x L_x = k_y L_y = 350$ cm a menor carga de flambagem elástica é $N_{e,y}$ que é igual a 200552 kN.

Com base na carga de flambagem elástica é $N_{e,y}$, a força axial de compressão resistente de cálculo do pilar ($N_{C,Rd}$) foi determinada e é igual a 17761 kN e é maior que a carga axial solicitante de cálculo (N_{Sd}) de 6940 kN, ou seja, o pilar resiste ao carregamento solicitante.

➤ **Introdução de carga no pilar**

A tensão de cisalhamento calculada no comprimento de introdução de carga τ_{sd} é igual a 0,021 MPa. Como 0,021 MPa é menor que 0,2 MPa não há necessidade de conectores.

➤ **Peso total de 1 pilar (P1)**

P1 = Peso do perfil de aço + peso da armadura + peso do concreto

Peso do perfil de aço = 1066 kg;

Peso da armadura = 27 kg;

Peso do concreto = 2802 kg.

P1 = 3895 kg.

11 DIMENSIONAMENTO DO PILAR MISTO TOTALMENTE ENVOLVIDO POR CONCRETO

O dimensionamento do pilar misto totalmente envolvido por concreto é apresentado no Anexo V. O desenho esquemático é apresentado no Anexo VII. Abaixo são apresentados dados e conclusões sobre o dimensionamento do pilar misto totalmente envolvido por concreto:

Dados:

- Pé direito (H) = 350 cm;

Propriedades do perfil:

- Aço Estrutural USI CIVIL 350;

- Módulo de elasticidade (E_a) = 20000 kN/cm²;

- Resistência de cálculo ao escoamento (F_{yd}) = 31,82 kN/cm².

- Tipo: CS 600x305;

- Altura total (d) = 60 cm;

- Espessura da alma (t_w) = 1,6 cm;

- Largura da mesa (b_f) = 60 cm;

- Espessura da mesa (t_f) = 2,5 cm;

- Altura da alma (h) = 55 cm;

- Área bruta da seção transversal do perfil (A_g) = 388 cm²;

- Momento de inércia (I_x) = 270308 cm⁴;

- Módulo de resistência elástico (W_x) = 9010 cm³;

- Módulo plástico (Z_x) = 9835 cm³;

- Raio de giração (r_x) = 26,39 cm;

- Momento de inércia (I_y) = 90019 cm⁴;

- Módulo de resistência elástico (W_y) = 3001 cm³;

- Módulo plástico (Z_y) = 4335 cm³;

- Raio de giração (r_y) = 15,23 cm;
- Momento de inércia polar (J) = 704 cm⁴;
- Constante de torção (C_w) = 74390625 cm⁴;
- Peso (P) = 304,6 kg/m.

➤ **Esforço a ser transmitido pelo pilar**

O edifício comercial é constituído de 10 pavimentos acima do térreo com pé direito de 3,5 metros (distância entre as faces da laje). Logo, considerando estes dados, chega-se a uma carga axial solicitante de cálculo (NSd) a ser transmitida pelo pilar misto no primeiro pavimento de 6940 kN.

Propriedades da armadura:

- Aço CA 50:
- Números de barras (n): 4;
- Diâmetro das barras (d_b): 2,54 cm;
- Área total (A_s): 20,27 cm²;
- Momento de Inércia em x (I_{sx}): 10016 cm⁴;
- Momento de Inércia em y (I_{sy}): 10016 cm⁴;
- Resistência de cálculo da armadura (f_{sd}) = 43,48 kN/cm²;
- Módulo de elasticidade (E) = 21000 kN/cm².

Propriedades geométricas do concreto do pilar:

- Área de concreto do pilar (A_c): 5992 cm²;
- Momento de Inércia em x (I_{cx}): 3133009 cm⁴;
- Momento de Inércia em y (I_{cy}): 3313298 cm⁴;
- Resistência de cálculo do concreto a compressão: 2,14 kN/cm²;
- Módulo de elasticidade secante (E_c): 2607 kN/cm²;
- Módulo de elasticidade reduzido ($E_{c,red}$): 1043 kN/cm².

➤ **Verificação dos limites de aplicabilidade do pilar**

A seção transversal do pilar é duplamente simétrica e invariável ao longo do comprimento.

A relação entre a altura e a largura (h_c/b_c) deve estar entre 0,2 e 5. A relação calculada h_c/b_c é igual a 1, portanto, atende.

A relação entre as áreas da armadura e do concreto do pilar em porcentagem (A_s/A_c) deve estar entre 0,3% e 4%. A relação calculada A_s/A_c é igual a 0,34 % , portanto, atende.

O fator de contribuição do perfil de aço (δ) relação entre a força axial resistente de cálculo do perfil de aço (N_{p,l_a}) e a força axial resistente de cálculo da seção mista ($N_{p,l,Rd}$) deve estar entre 0,2 e 0,9. A relação calculada δ é igual a 0,51, portanto, atende.

➤ **Força axial de compressão resistente de cálculo do pilar**

A rigidez efetiva à flexão da seção transversal mista $(EI)_{e,x}$ é igual a 7576878494 kN/cm^2 e $(EI)_{e,y}$ é igual 4083908611 kN/cm^2 . Como $(EI)_{e,y} < (EI)_{e,x}$ e $k_x L_x = k_y L_y = 350 \text{ cm}$ a menor carga de flambagem elástica é $N_{e,y}$ que é igual a 329035 kN .

Com base na carga de flambagem elástica é $N_{e,y}$, a força axial de compressão resistente de cálculo do pilar ($N_{C,Rd}$) foi determinada e é igual a 23240 kN e é maior que a carga axial solicitante de cálculo (N_{Sd}) de 6940 kN , ou seja, o pilar resiste ao carregamento solicitante.

➤ **Introdução de carga no pilar**

A tensão de cisalhamento calculada no comprimento de introdução de carga τ_{sd} é igual a 0,0305 MPa . Como 0,0305 MPa é menor que 0,2 MPa não há necessidade de conectores.

➤ **Peso total de 1 pilar (P2)**

$P2 = \text{Peso do perfil de aço} + \text{peso da armadura} + \text{peso do concreto}$

Peso do perfil de aço = 1066 kg;

Peso da armadura = 56 kg;

Peso do concreto = 5243 kg.

$P2 = 6365 \text{ kg}$.

12 CONCLUSÃO

Foram apresentados os dimensionamentos dos diversos elementos constitutivos de sistemas estruturais mistos de aço e concreto: lajes, vigas e pilares para o edifício comercial.

Foram criadas as planilhas para o cálculo das vigas mistas e para os pilares mistos parcialmente e totalmente envolvidos por concreto do edifício.

As planilhas são didáticas e facilitam o dimensionamento das vigas e pilares mistos que podem ser projetados com maior eficiência e rapidez.

Comparando-se os pesos calculados para os pilares parcialmente e totalmente envolvidos por concreto, 3895 kg e 6365 kg, nos itens 10 e 11 respectivamente, conclui-se que a opção por utilizar o pilar parcialmente envolvido por concreto seria a alternativa mais viável por apresentar menor peso.

Assim, o peso por metro quadrado de piso típico do edifício será aproximadamente:

- 1- Com pilar parcialmente envolvido por concreto: 67,36 kg/m²;
- 2- Com pilar totalmente envolvido por concreto: 67,36 kg/m².

Para o cálculo do peso por metro quadrado de piso típico do edifício foram considerados apenas os pesos dos perfis.

Assim, os pesos por metro quadrado de piso típico do edifício, serão os mesmos quando utilizamos os pilares parcialmente ou totalmente envolvidos por concreto.

13 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS ADOTADAS

- Dimensionamento Básico de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto – Parte 2 – Versão 9 – Prof. Ricardo Hallal Fakury, Prof. Ana Lydia R. de Castro e Silva, Prof. Rodrigo Barreto Caldas.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8800 - Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios – Rio de Janeiro, 2008.
- Manual de Construção em Aço – Estruturas Mistas – Vol. 1 – 2ª Edição – Gilson Queiroz, Roberval José Pimenta, Alexander Galvão Martins – Rio de Janeiro, 2012.

ANEXO II – CÁLCULO DOS CARREGAMENTOS NOMINAIS E DE CÁLCULO ATUANTES NAS VIGAS COM AUXÍLIO DO PROGRAMA FTOOL

Obtêm-se os carregamentos nominais e de cálculo nas conforme abaixo:

- **Vigas VMS e VMP2:**

Carga distribuída nominal (q_{sn}):

$$q_{sn} = 2 \times (3 + 2,08 + 0,3 + 1 + 0,5) = 13,76 \text{ kN/m}$$

Carga distribuída de cálculo (q_{sd}):

$$q_{sd} = 1,4 \times 13,76 = 19,26 \text{ kN/m}$$

Reação nos apoios (R_{sd1}) igual ao cortante máximo (V_{sd1}):

$$R_{sd1} = V_{sd1} = (19,26 \times 9)/2 = 86,67 \text{ kN}$$

Momento máximo (M_{sd1}):

$$M_{sd1} = (19,26 \times 9^2)/8 = 195,01 \text{ kNm}$$

Com o programa Ftool obtêm-se os diagramas de corpo livre das vigas VMS, VMP2 e VMP1 conforme a seguir:

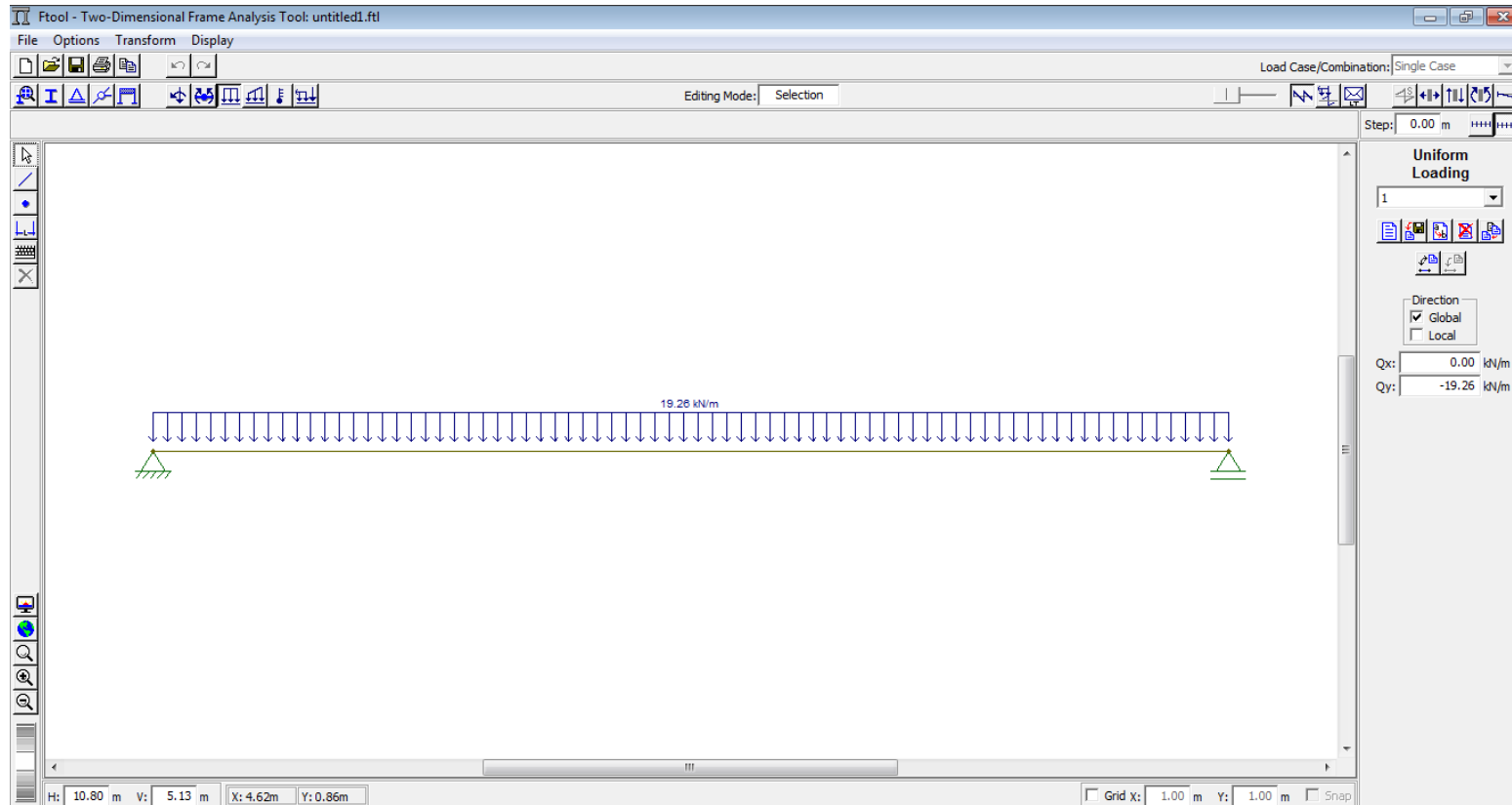


Figura 1: Vigas VMS e VMP2 – Carregamento de cálculo

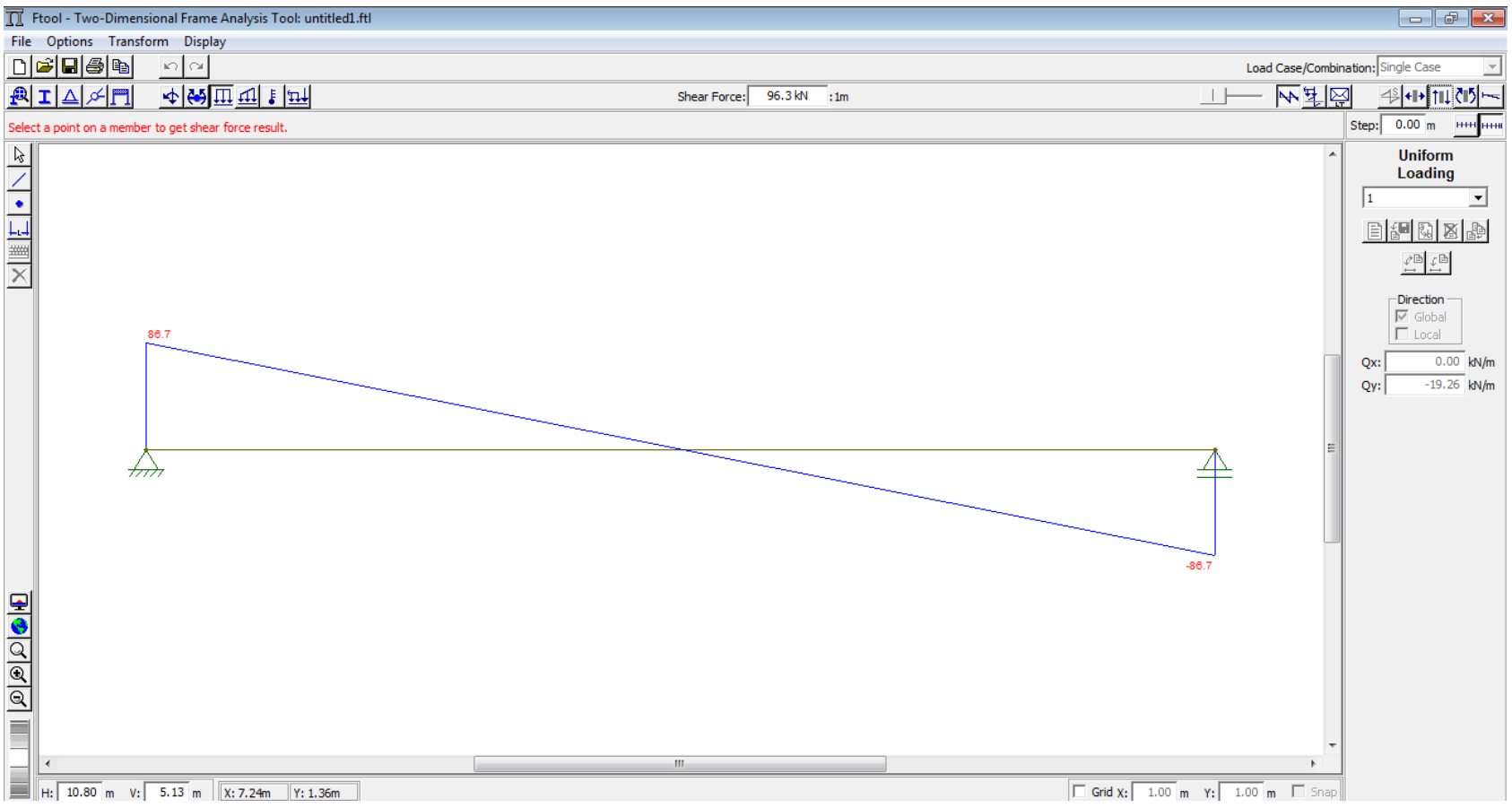


Figura 2: Vigas VMS e VMP2 – Diagrama de forças cortantes

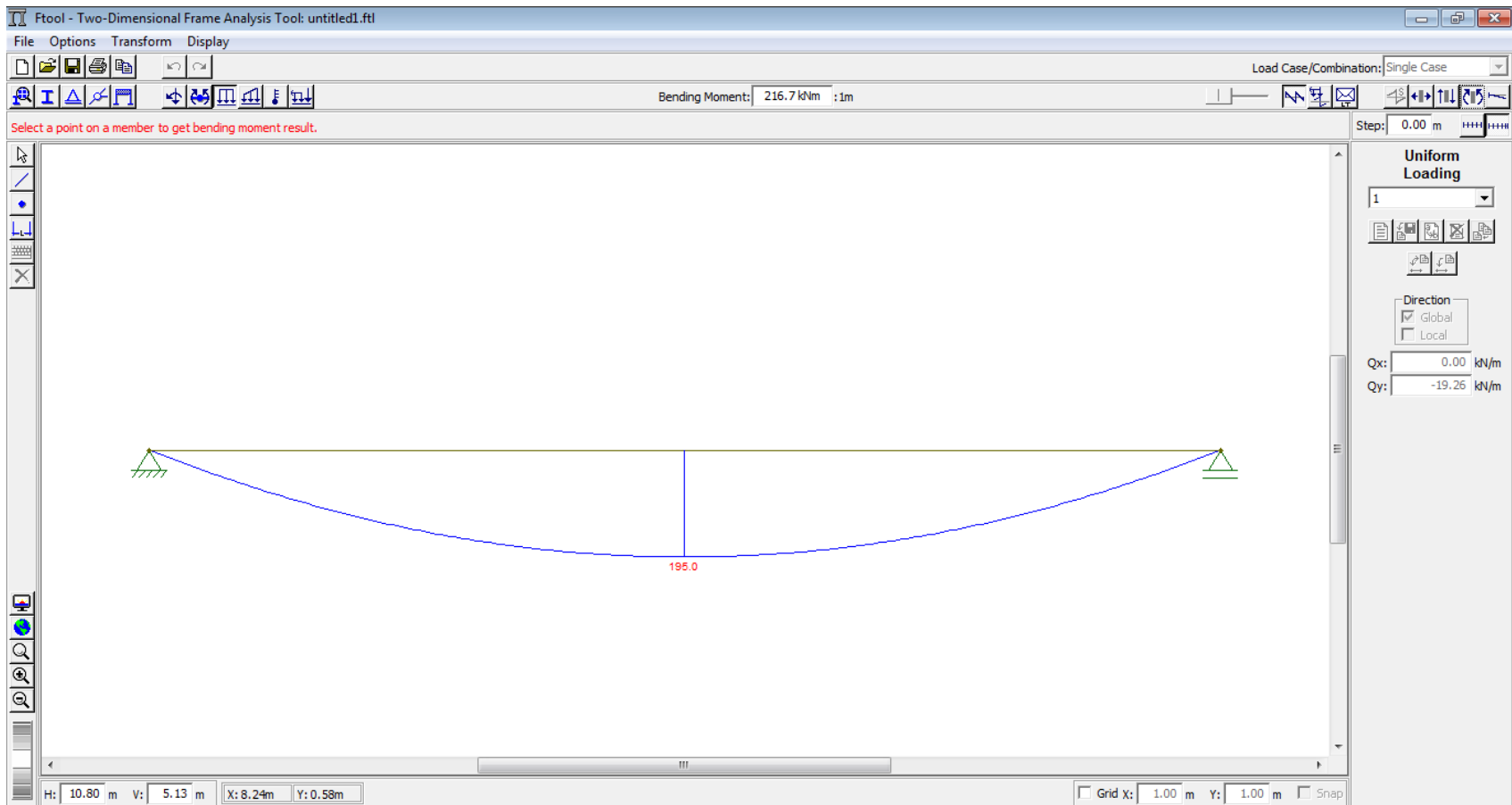


Figura 3: Vigas VMS e VMP2 – Diagrama de momento fletor

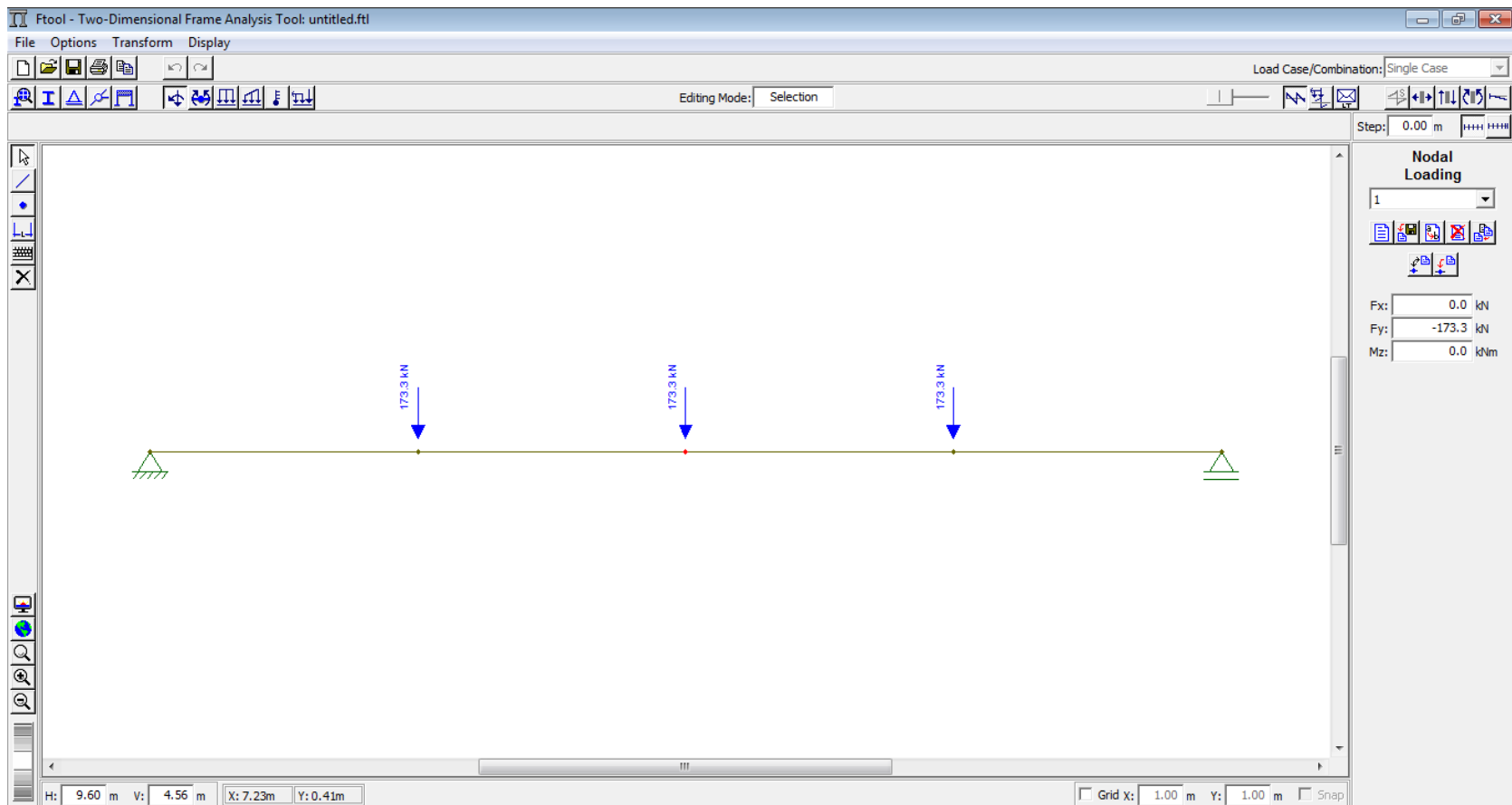


Figura 4: Viga VMP1 – Carregamento de cálculo

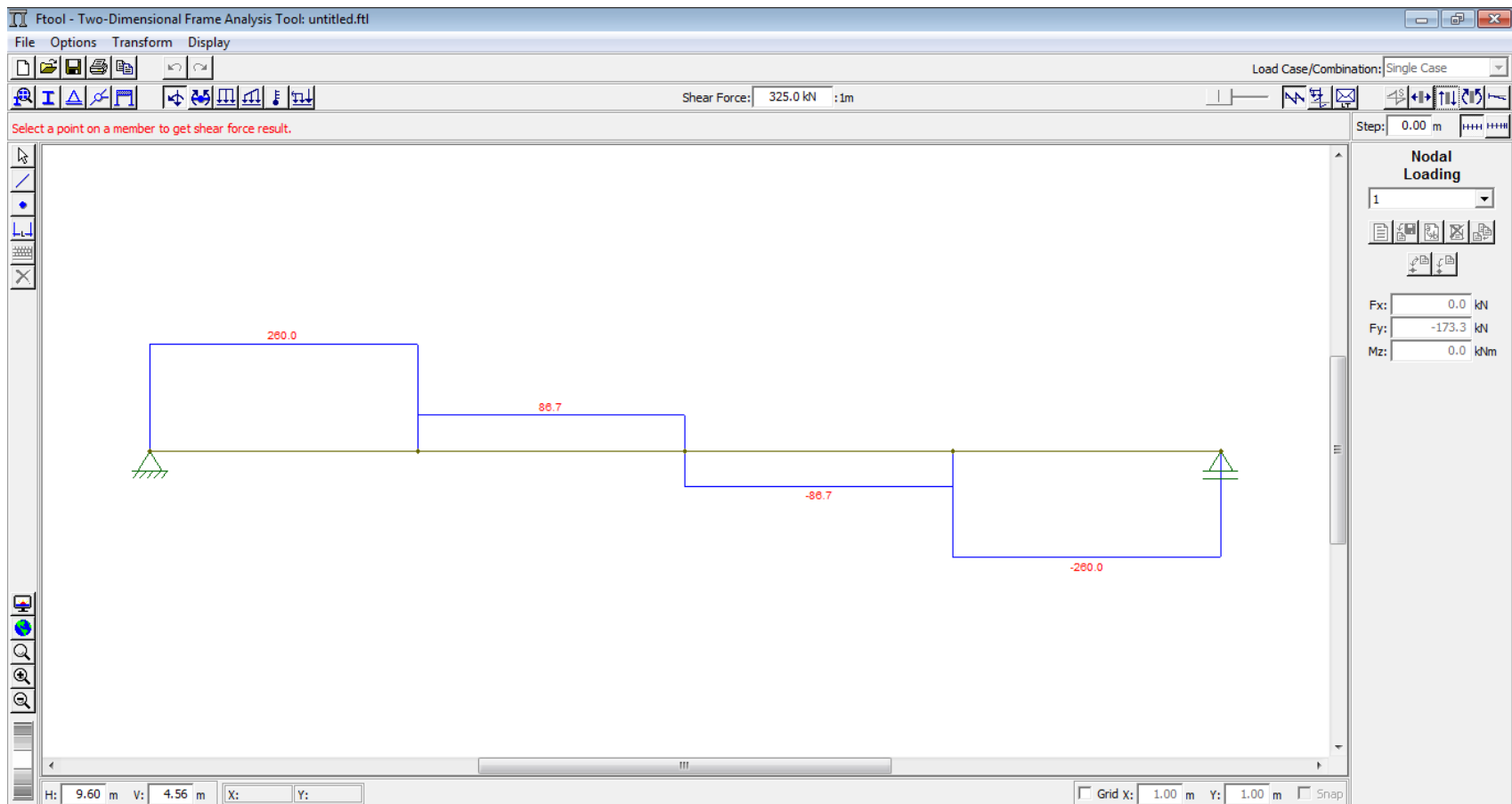


Figura 5: Viga VMP1 – Diagrama de forças cortantes

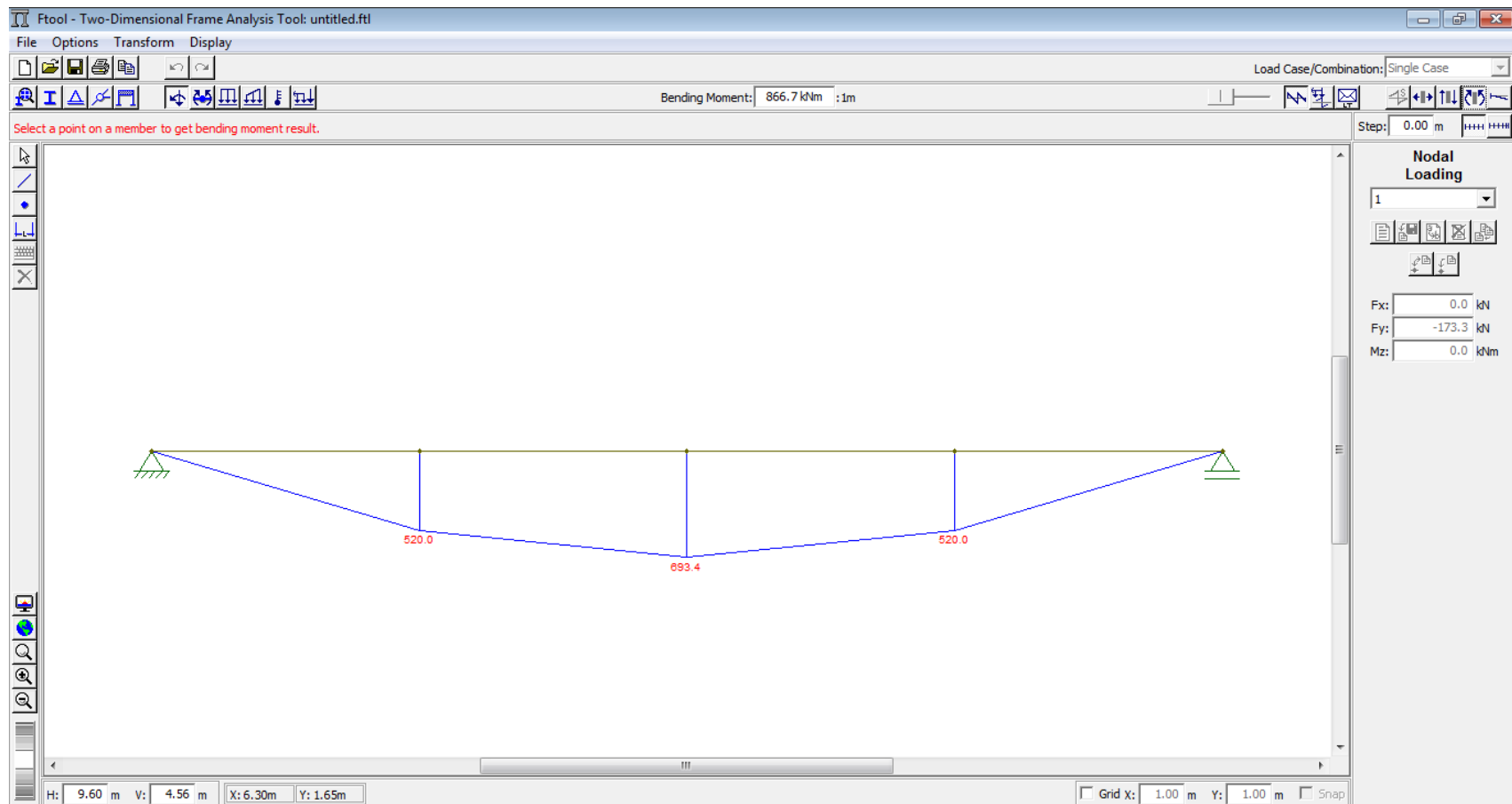


Figura 6: Viga VMP1 – Diagrama de momento fletor

ANEXO III – PLANILHA EM EXCEL DE CÁLCULO DAS VIGAS MISTAS VMS, VMP1 E VMP2.

ANEXO IV – DESENHO ESQUEMÁTICO – VIGAS MISTAS VMS, VMP1 E VMP2.

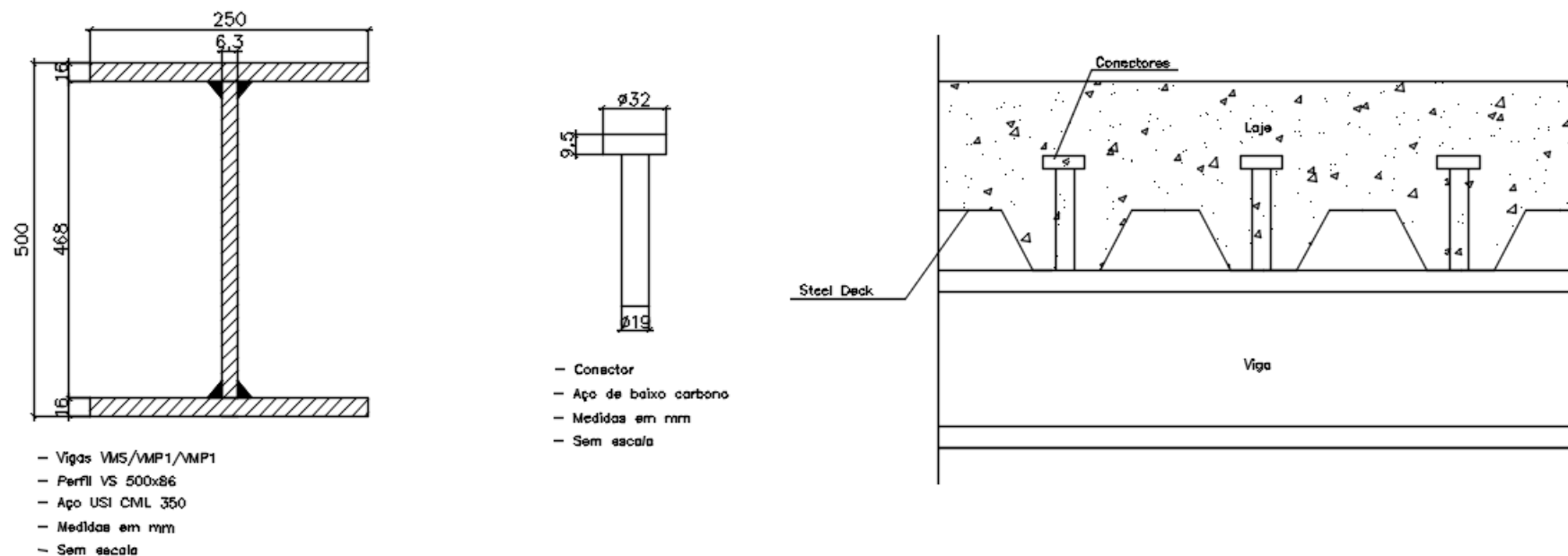


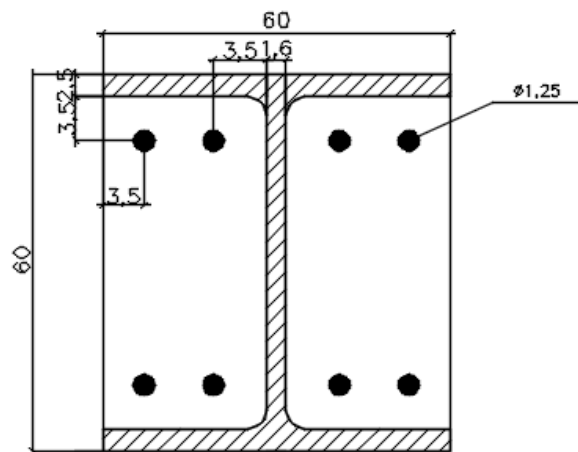
Figura 7: Desenho esquemático – Vigas mistas VMS/VMP1/VMP2

Nota:

1 – O desenho esquemático referente à montagem da viga com conectores e steel deck é válido somente para as vigas VMS e VMP2.

ANEXO V – PLANILHA EM EXCEL PARA CÁLCULO DOS PILARES MISTOS

ANEXO VI – DESENHO ESQUEMÁTICO – PILAR PARCIALMENTE ENVOLVIDO POR CONCRETO.



- Pilar parcialmente envolvido por concreto:
- Medidas em cm
- Sem escala

Figura 8: Desenho esquemático – Pilar parcialmente envolvido por concreto

ANEXO VII – DESENHO ESQUEMÁTICO – PILAR TOTALMENTE ENVOLVIDO POR CONCRETO.

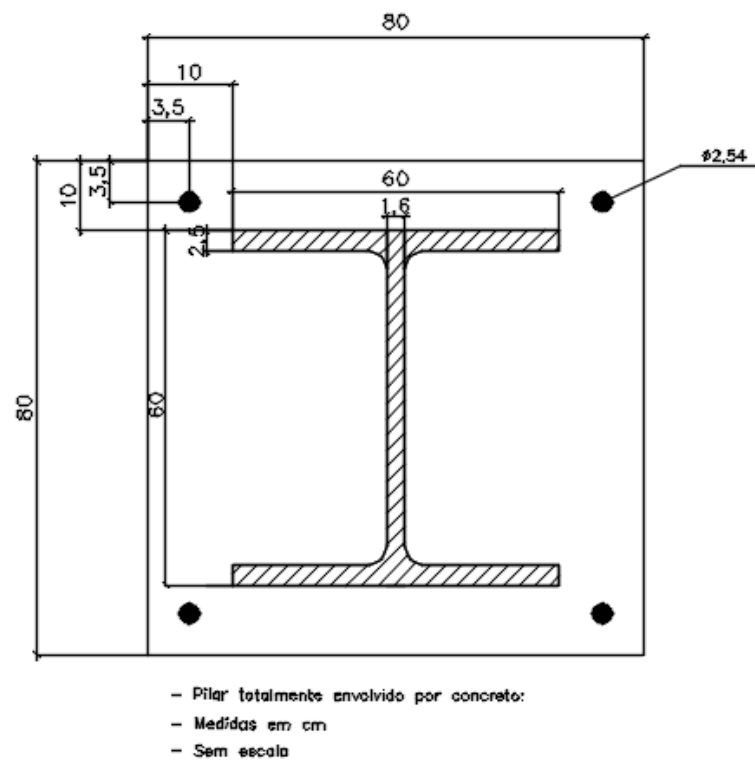


Figura 9: Desenho esquemático – Pilar totalmente envolvido por concreto

ANEXO VIII - CÁLCULO DAS ARMADURAS DE COSTURA E CONTINUIDADE

- **Armadura de Costura**

- **Força solicitante de cálculo de cisalhamento da laje (Hv,sd)**

$H_{v,sd} = ((nm \times \alpha \times F_{hd}/n) \times (b_1/(b_1+b_2)))/L_m$ onde:

- $nm = n$ = número de conectores no comprimento de viga analisada que é igual ao número total de conectores entre a seção de momento máximo e a de momento nulo;
- $\alpha \times F_{hd}$ = força transmitida pelos conectores de cisalhamento;
- b_1 = é a largura efetiva da laje no lado onde se está verificando a ruptura por cisalhamento;
- b_2 = é a largura efetiva da laje do lado oposto a b_1 ;
- L_m = comprimento de viga analisado.

Logo:

$$H_{v,sd} = ((16 \times 0,52 \times 2186)/16) \times (100/200)/450 = 1,26 \text{ kN/cm}$$

- **Força resistente de cálculo de cisalhamento da laje (Hv,rd)**

Considerando o aço CA-50 para a armadura de costura:

$H_{v,rd} = 0,6 \times A_{cv} \times f_{ctk,inf}/\gamma_c + \sum (A_s \times f_{ys}/\gamma_s) + A_F \times f_{yF}/\gamma_a$, onde:

- A_{cv} = área de cisalhamento do concreto no plano considerado, por unidade de comprimento da viga;
- $f_{ctk,inf} = 0,21 \times (f_{ck})^{2/3} = 0,21 \times 30^{2/3} = 2,03 \text{ MPa} = 0,203 \text{ kN/cm}^2$;
- γ_c = coeficiente de ponderação da resistência do concreto;
- A_s = área da armadura transversal ao eixo da viga disponível na laje por unidade de comprimento da viga;
- f_{ys} = resistência ao escoamento do aço da armadura;
- γ_s = coeficiente de ponderação da resistência da armadura;
- A_F = área da forma de aço no plano de cisalhamento por unidade de comprimento;
- f_{yF} = resistência ao escoamento do aço da forma;

- γ_a = coeficiente de ponderação da resistência da forma.

$$H_{v,rd} = 0,6 \times 6 \times 0,203/1,4 + A_s \times 50/1,15 + 4,92 \times 9,97 \times 28/1,1$$

$$H_{v,rd} = 1249,13 + 43,48 \times A_s$$

Logo: $H_{v,sd} < H_{v,rd}$

$$1249,13 + 43,48 \times A_s = 1,26$$

$$A_s = -28,69 \text{ cm}^2$$

- **Armadura de Continuidade**

Considerando o aço CA-50 para a armadura de continuidade:

$$A_{sc} = (0,72 \times f_{ct,ef} \times b_t \times t_c) / \sigma_{st}, \text{ onde:}$$

A_{sc} = área da armadura de continuidade;

$f_{ct,ef}$ = resistência média efetiva à tração do concreto no instante em que se formam as primeiras fissuras;

b_t = largura de trabalho da laje;

t_c = altura da laje acima da forma de aço.

σ_{st} = tensão de tração permitida na armadura imediatamente após a ocorrência da fissuração;

$$A_{sc} = (0,72 \times 3 \times 56,25 \times 6) / 435,93 = 1,67 \text{ cm}^2$$

Assim foram adotados para a armadura de continuidade:

- Diâmetro das barras da armadura de continuidade igual a 10 mm;

- Área de uma barra da armadura de continuidade: $0,8 \text{ cm}^2$;

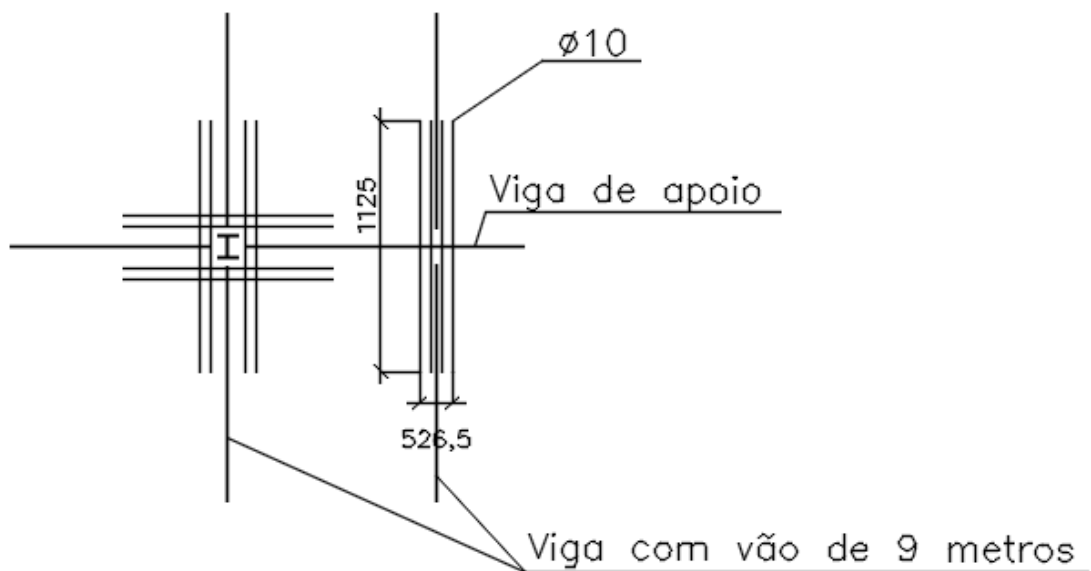
- Número de barras (nsc):

$$n_{sc} = 1,67/0,8 = 2,08 \text{ (adotado 4 barras);}$$

- Comprimento das barras:

$$1/8 \text{ do vão da viga} = 1/8 \times 9000 = 1125 \text{ mm.}$$

ANEXO IX – DESENHO ESQUEMÁTICO – ARMADURA DE CONTINUIDADE



– Medidas em mm

Figura 10: Desenho esquemático - Armadura de Continuidade

ANEXO X – DESENHOS DE ENGENHARIA