

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

**ANÁLISE DE UM PAVIMENTO TÍPICO DE
EDIFÍCIO COMERCIAL EM ESTRUTURA MISTA DE
AÇO E CONCRETO**

AUTOR: RAFAEL DOS SANTOS ALVES FIGUEIREDO BRASIL
PROF. ORIENTADOR: RODRIGO BARRETO CALDAS

2015

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>FOLHA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVO	6
3	PROGRAMAS UTILIZADOS	7
4	DESENVOLVIMENTO	8
5	CONCLUSÃO	67
6	NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS	69
7	ANEXO I – DESENHOS DE DETALHAMENTO	70
8	ANEXO II – FORMAS DE AÇO PARA LAJE MISTA – CATÁLOGO METFORM	76
9	ANEXO III – PERFIS I GERDAU, LAMINADOS DE ABAS PARALELAS	77
10	ANEXO IV - PERFIS I SOLDADOS, CLASSE CS, CONFORME NORMA NBR 5884	79

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos diversos sistemas estruturais e construtivos fez surgir sistemas mistos, adotando seções formadas pela conjugação de aço e concreto e permitindo desta maneira um melhor aproveitamento das vantagens de cada material, tanto em termos estruturais como construtivos. Dentre as vantagens geradas pelo trabalho em conjunto destes materiais, aplicado no projeto tanto de vigas, quanto pilares e lajes, destacam-se a possibilidade de redução do peso total da estrutura – especialmente quando aplicada a médios e grandes vãos - , a rapidez e a versatilidade de execução, reduzindo assim prazos, custos e desperdícios associados.

Para o caso das vigas mistas, as mesmas são constituídas pela associação entre perfis de aço e lajes de concreto. A interação entre os dois materiais é obtida por meio de conectores de cisalhamento, garantindo assim a transferência dos esforços entre as partes e a deformação conjunta do sistema.

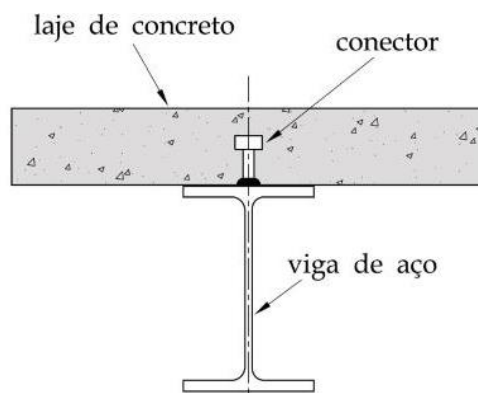


Figura 1-1 – Representação esquemática de uma viga mista constituída pela associação de perfil I de aço e laje de concreto

Os pilares mistos são aqueles constituídos por um ou mais perfis de aço preenchidos, parcialmente ou completamente revestidos com concreto. O revestimento do aço com concreto foi inicialmente empregado por proporcionar um aumento da resistência ao fogo dos sistemas e teve sua utilização ampliada devido às vantagens estruturais deste componente.

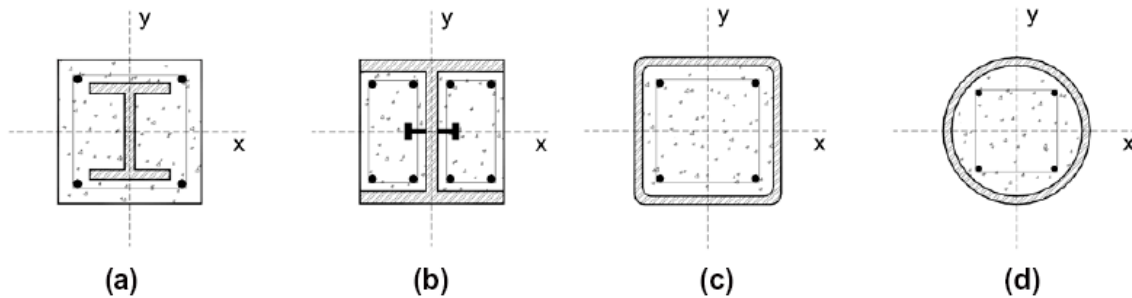


Figura 1-2 – Representações de seções transversais de pilares mistos de aço e concreto

O sistema de lajes mistas consiste na utilização de uma forma permanente nervurada de aço, como suporte para o concreto antes da cura e da atuação das cargas de utilização. Após a cura do concreto, os dois materiais, a forma de aço e o concreto, solidarizam-se estruturalmente, formando o sistema misto.



Figura 1-3 – Composição da laje mista

Neste trabalho será considerado um pavimento típico de edifício comercial em estrutura mista de aço e concreto, dos quais serão dimensionados a laje, vigas principais e secundárias e os pilares, considerando-se apenas as ações gravitacionais (sem cargas horizontais). Adicionalmente, serão elaboradas planilhas eletrônicas de verificação destes componentes estruturais, para serem utilizadas em outros cálculos estruturais semelhantes com agilidade e eficiência.

Ao fim do trabalho, serão apresentados os resultados do dimensionamento do pavimento típico, as memórias de cálculo utilizadas, o detalhamento dos componentes dimensionados e as planilhas eletrônicas geradas.

2 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver o cálculo e detalhamento dos componentes estruturais de um pavimento típico de edifício comercial, em estrutura mista de aço e concreto. Adicionalmente, serão desenvolvidas também planilhas eletrônicas com o objetivo de agilizar o processo de cálculo de tais componentes em situações futuras.

3 PROGRAMAS UTILIZADOS

Para a elaboração das planilhas eletrônicas de cálculo e realização do dimensionamento do pavimento típico deste trabalho, foi utilizado o software gratuito Smath Studio Desktop, com interface do tipo “paper-like”, disponível em <http://en.smath.info/>. Os arquivos executáveis de verificação dos componentes foram gerados diretamente pelo mesmo programa, a partir das memórias de cálculo inicialmente desenvolvidas.

Para o detalhamento dos componentes estruturais foi utilizado o software de CAD gratuito DraftSight, da Dassault Systemes, disponível em <http://www.draftsight.com>.

Para a documentação final do trabalho, utilizou-se o software proprietário Microsoft Word 2010.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Considerações e carregamentos

A representação esquemática do módulo típico de pavimento avaliado neste trabalho é apresentada na Figura 4-1.

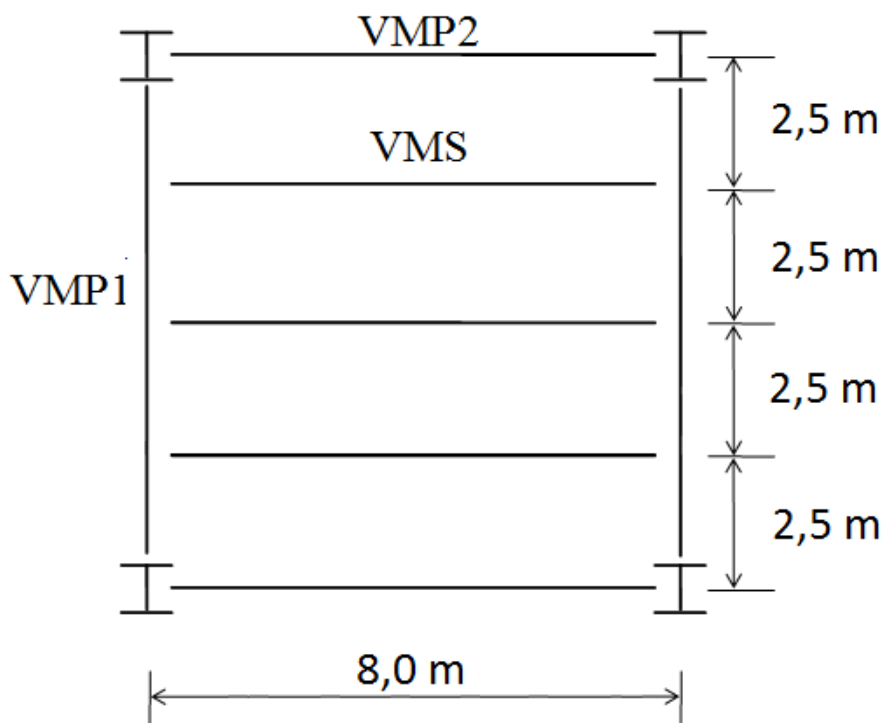


Figura 4-1 – Representação esquemática do módulo típico de pavimento avaliado.

As considerações adotadas neste trabalho são listadas a seguir:

- O edifício é constituído de 10 pavimentos acima do térreo (10 lajes) com pé direito de 3,5m (distância entre faces das lajes);
- Cada módulo típico do pavimento (ver Figura 4-1) é constituído de vigas mistas secundárias apoiando-se em vigas mistas principais, as quais se apoiam em pilares mistos totalmente envolvidos por concreto;
- O módulo típico analisado é repetitivo em todas as direções, ao longo de cada pavimento do prédio. Desta forma, para efeito de cálculo, a viga mista VMP2 é idêntica à viga mista VMS;
- A construção será não escorada;

- Não serão consideradas cargas horizontais, mas somente gravitacionais, não sendo verificado, portanto, o sistema de estabilização do edifício;
- Os carregamentos considerados em cada pavimento do prédio são:
 - Peso próprio da estrutura das vigas de aço igual a $0,30 \text{ kN/m}^2$ (a ser conferido posteriormente);
 - Peso próprio das divisórias igual a $1,00 \text{ kN/m}^2$;
 - Peso próprio do revestimento do piso igual a $0,50 \text{ kN/m}^2$;
 - Sobrecarga de $3,00 \text{ kN/m}^2$.
- Para os perfis adotados no dimensionamento serão avaliados:
 - Para os pilares mistos, perfis I soldados, série CS, conforme ABNT NBR 5884:2005;
 - Para as vigas mistas, perfis I Gerdau, laminados de abas paralelas;
- Para os materiais utilizados na fabricação, serão considerados:
 - Aço estrutural USI CIVIL 350, com $f_y = 350 \text{ MPa}$ e $f_u = 500 \text{ MPa}$, para os pilares;
 - Aço estrutural ASTM A572 Gr 50, com $f_y = 345 \text{ MPa}$ e $f_u = 450 \text{ MPa}$, para as vigas;
 - Concreto com $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ e peso específico de 25 kN/m^3 .
 - Conectores com $E = 200 \text{ GPa}$ e $f_u = 415 \text{ MPa}$.
 - Armaduras com aço CA-50 ($f_y = 500 \text{ MPa}$).

Serão dimensionadas a laje mista, as vigas mistas principal (VMP1) e secundária (VMS = VMP2) e os pilares mistos. O dimensionamento de cada um destes componentes será apresentado, separadamente, nas demais seções deste capítulo.

4.2 Dimensionamento da laje mista

Para a seleção da forma de aço da laje (*steel deck*) será utilizado o critério de menos peso da chapa de aço, seguido de menor peso total, com o objetivo de reduzir os custos do projeto.

Para tanto, inicialmente são definidos os carregamentos atuantes. Dois aspectos são relevantes nesta etapa:

- As tabelas dos fabricantes de formas já são elaboradas considerando-se carregamentos característicos (não majorados);
- Não é necessária a consideração do peso próprio da laje, na seleção por tabela.

Desta forma temos, como carregamento característico:

$$q = 3,0 + 1,0 + 0,5 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

Desta forma, temos, como requisito na seleção da forma:

- Carga sobreposta superior à 4,5 kN/m², uniformemente distribuída;
- Vão múltiplos máximos sem escoramento = 2,5 m;
- Menor espessura seguida de menor peso total;

Com isto, conforme tabelas de catálogo do fabricante Metform (ver seção 8), seleciona-se uma forma MF-50, com 120 mm de altura total e espessura de chapa de 0,8 mm. Trata-se da forma mais leve capaz de suportar a carga característica necessária, resistindo a 4,86 kN/m², sem escoramento, e atendendo a vãos múltiplos de até 2,6 m (duplo) e 2,7 m (triplo). Suas propriedades físicas são apresentadas na Tabela 1. O material adotado na forma é aço ASTM A-653 Gr. 40 (ABNT NBR ZAR 280).

Tabela 1 – Propriedades físicas da forma de aço adotada para a laje mista – Metform MF-50 – 120 – 0,8

Espessura Nominal [mm]	Espessura de Projeto [mm]	Altura total [mm]	Peso [kg/m ²]	Reação máxima apoio externo [kN]
0,80	0,76	52,26	8,39	4,95
Reação máxima apoio interno [kN]	Módulo de resistência [mm ³]	Inércia para deformação [mm ⁴]	Área de aço [mm ²]	Centro de gravidade [mm]
14,67	14.599	449.419	997	26,13

Nota: Propriedades para largura de 1m.

Adotaram-se larguras de apoio de 50 mm para apoios externos e 75 mm para apoios internos.

Para a armadura de retração, também conforme catálogo, adota-se tela Q-75 ϕ 3,8 x ϕ 3,8 x 150 x 150, com peso de 1,21 kg/m².

O peso total da laje mista adotada é 2,32 kN/m².

O detalhamento da seção transversal da laje mista de projeto é apresentado na Figura 7-1, na seção 7.

4.3 Dimensionamento das vigas mistas

O dimensionamento das vigas será realizado separadamente para as vigas secundárias e principais. Devido à repetitividade do módulo analisado, conforme esclarecido anteriormente, o dimensionamento da viga VMP2 será idêntico à viga VMS.

4.3.1 Dimensionamento da viga mista secundária (VMS = VMP2)

Para a determinação dos esforços atuantes nas vigas mistas secundárias, com vãos de 8 m, temos:

Para os esforços característicos (desconsiderando, a princípio, o peso dos conectores), para uma largura tributária de 2,5 m por viga secundária (ver Figura 4-1):

$$q_{sk} = (PP_{vigas} + PP_{laje} + PP_{revest} + PP_{divisorias} + Sobrecarga) \times b_{trib}$$

$$q_{sk} = (0,3 + 2,32 + 0,5 + 1,0 + 3,0) \times 2,5 = 17,8 \text{ kN/m}$$

$$V_{sk} = q_{sk} \times L / 2 = 17,8 \times 8 / 2 = 71,2 \text{ kN}$$

$$M_{sk} = q_{sk} \times L^2 / 8 = 17,8 \times 8^2 / 8 = 142,4 \text{ kN.m}$$

Considerando-se, conforme norma NBR 8800 (ver seção 6), cargas permanentes agrupadas com fator de majoração de 1,4 e cargas variáveis agrupadas também com fator de majoração de 1,4, temos, para esforços de projeto:

$$q_{sd} = 1,4 \times (0,3 + 2,32 + 0,5 + 1,0) + 1,4 \times 3,0 = 24,92 \text{ kN/m}$$

$$V_{sd} = q_{sd} \times L / 2 = 24,92 \times 8 / 2 = 99,68 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = q_{sd} \times L^2 / 8 = 24,92 \times 8^2 / 8 = 199,36 \text{ kN.m}$$

Antes da cura do concreto, não estão presentes os carregamentos devido às divisórias, revestimento e sobrecarga. Logo, temos:

$$q_{Ga,sk} = (0,3 + 2,32) \times 2,5 = 6,55 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ga,sk} = q_{Ga,sk} \times L / 2 = 6,55 \times 8 / 2 = 26,2 \text{ kN}$$

$$M_{Ga,sk} = q_{Ga,sk} \times L^2 / 8 = 6,55 \times 8^2 / 8 = 52,4 \text{ kN.m}$$

A partir destes esforços, deve ser realizado o dimensionamento da viga mista considerando-se os critérios de:

- Resistência da viga de aço (para as cargas antes da cura do concreto);
- Resistência da viga mista (são avaliadas as situações de interação completa e parcial);
- Resistência dos conectores;
- Tensão de serviço e flecha;
- Armaduras necessárias de costura e continuidade.

De forma a minimizar o peso das vigas, será adotada a viga mais leve do catálogo Gerdau (ver seção 9), que atenda a todos os critérios necessários. Para maior agilidade na verificação de diversas vigas, foi desenvolvida uma planilha eletrônica com todas as verificações necessárias.

Para o chute inicial, adotou-se uma altura da viga de aço $D = L/30 = 8/30 = 267 \text{ mm}$. Logo, foram verificadas vigas da série W310, com altura imediatamente superior à calculada. Os resultados obtidos para as três primeiras vigas da série são apresentados na Tabela 1, sob a

forma de índice de utilização (IU), que representa a razão entre o esforço atuante e o admissível.

Tabela 2 – Viga secundária – Resultados das primeiras 3 vigas da série W310.

Perfil	IU _{viga_aço} (mom/cort.)	IU _{viga_mista} ($\alpha = 1,0$)	IU _{viga_mista} ($\alpha_{\text{mínimo}}$)	IU _{serviço}	Flecha (CD / LD)
W310 x 21,0	0,57 / 0,09	0,90	1,13	1,23	0,97 / 1,16
W310 x 23,8	0,50 / 0,09	0,80	1,00	1,08	0,86 / 1,05
W310 x 28,3	0,41 / 0,08	0,67	0,84	0,88	0,72 / 0,89

Nota: Os valores de flecha são calculados considerando-se todos os carregamentos como curta duração (CD) e considerando os carregamentos após a cura do concreto como longa duração (LD). Em ambos os casos, é considerado que será aplicada contra-flecha igual à flecha calculada para o perfil de aço submetido aos esforços antes da cura do concreto. A flecha admissível considerada foi $L/350 = 2,29$ cm.

Observa-se que os dois primeiros perfis são considerados reprovados, especialmente nos critérios de tensão de serviço e flecha de longa duração. Desta forma, adota-se o perfil W310 x 28,3. De forma a garantir que se trata do perfil de menor peso, verificou-se toda a tabela Gerdau e constatou-se que este é, de fato, o perfil mais leve com o módulo estático (W) igual ou superior a 350 cm³. As principais propriedades deste perfil para o dimensionamento das vigas mistas secundárias são apresentadas na Figura 4-2.

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA			d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				ESBELTEZ	
				t _w mm	t _f mm	h mm			I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	MESA- λ_x b _f /2t _f	ALMA- λ_w d'/t _w
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	5,73	45,20

Figura 4-2 – Principais propriedades do perfil W 310 x 28,3 para a verificação das vigas secundárias.

A indicação da viga mista secundária selecionada é apresentada na Figura 7-3, na seção 7 deste trabalho.

A distribuição dos conectores de forma a garantir a interação entre o aço e o concreto nas vigas mistas secundárias foi realizada da seguinte forma:

- O coeficiente para consideração do efeito de atuação de grupos de conectores, R_g , foi tomado como 1 por tratar-se de conector soldado em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço.
- Para determinação do coeficiente para consideração da posição do conector (R_p), foi verificada a geometria da fôrma de aço adotada. Observa-se que a fôrma possui espaçamento de 152,5 mm entre as linhas médias das nervuras. Desta forma, considerando-se os conectores adotados, com diâmetro de 19 mm, a distância do conector até a linha média da nervura é de $152,5/2 - 19 = 57,25$ mm. Logo, como esta distância é maior do que 50 mm, adotou-se $R_p = 0,75$.
- Considerando-se os valores calculados de R_g e R_p , foram calculados como necessários 17 conectores de 19 mm para a interação completa e 8 conectores de 19 mm para a interação parcial com grau mínimo. Estes conectores devem ser instalados entre o ponto de máximo momento da viga e o apoio. Como se trata de viga biapoiada com carga uniformemente distribuída, esta distância equivale à metade do vão, ou seja, $8000/2 = 4000$ mm.
- Adotando-se a solução mais econômica, de interação parcial, temos um espaçamento longitudinal de $4000/8 = 500$ mm. Observa-se que este espaçamento atende ao limite mínimo para esta viga, de 76 mm, porém excede o limite máximo de 450 mm para nervuras perpendiculares ao perfil. Desta forma, ajustando-se o cálculo à fôrma selecionada, temos um conector a cada espaço entre nervuras, representando um espaçamento longitudinal de 305 mm.
- A altura adotada para o conector foi de 105 mm, sendo 55 mm acima da fôrma de aço e permitindo um cobrimento superior de 15 mm de concreto.

A distribuição dos conectores na viga mista é apresentada na Figura 7-2, na seção 7 deste trabalho.

Para a determinação das armaduras de costura e continuidade, os seguintes passos foram adotados:

- Foi determinado o grau de interação real entre viga e laje, gerado pela adoção dos 13 conectores.
- A partir do grau de interação real, foi calculado o esforço cisalhante atuante máximo e determinada a armadura de costura necessária.
- Desta armadura total calculada, foi retirada a parcela correspondente à tela da laje existente. Neste caso, observou-se que não é necessária, para efeito de cálculo, nenhuma armadura de costura. Com isto, buscou-se apenas atingir o limite mínimo recomendado de $150 \text{ mm}^2/\text{m}$. Para tanto, adotou-se, nas regiões de costura, tela dupla para a laje, atingindo assim um total de $158 \text{ mm}^2/\text{m}$.
- Calculou-se o comprimento mínimo para a armadura de costura, obtendo-se um total de 0,45 m.
- Calculou-se, com base na resistência média efetiva do concreto quando começam as primeiras fissuras, a armadura necessária de continuidade. Considerando-se a tela existente, adotaram-se 4 barras de diâmetro de 5 mm. De forma a evitar a necessidade de furos no pilar, as barras foram posicionadas ao redor do perfil I do pilar, respeitando a largura de trabalho calculada da laje, de 0,5 m.

Os detalhamentos das armaduras de costura e continuidade selecionadas são apresentados na Figura 7-4e Figura 7-5, respectivamente, na seção 7.

A memória de cálculo desenvolvida para a verificação da viga mista secundária selecionada, dos conectores e armaduras de costura e continuidade é apresentada da Figura 4-3 à Figura 4-20.

DADOS DE ENTRADA

1 - Geometria do perfil metálico	
W 310X 28,3	
$b_{fs} := 10,2 \text{ cm}$	Largura da flange superior
$t_{fs} := 0,89 \text{ cm}$	Espessura da flange superior
$b_{fi} := 10,2 \text{ cm}$	Largura da flange inferior
$t_{fi} := 0,89 \text{ cm}$	Espessura da flange inferior
$t_w := 0,60 \text{ cm}$	Espessura da alma
$d := 30,9 \text{ cm}$	Altura do perfil
$A_a := 36,5 \text{ cm}^2$	Área do perfil
$I_a := 5500 \text{ cm}^4$	Inércia do perfil
$W_a := 356,0 \text{ cm}^3$	Módulo elástico superior do perfil
$W_a := 356,0 \text{ cm}^3$	Módulo elástico inferior do perfil
$Z_a := 412,0 \text{ cm}^3$	Módulo plástico do perfil
2 - Geometria da laje	
MF-50 x 120 x 0,8	
$t_c := 7 \text{ cm}$	Espessura da laje acima das nervuras
$h_f := 5 \text{ cm}$	Altura da forma (steel-deck)

$L := 8 \text{ m}$	Vão da viga
$e_1 := 2,5 \text{ m}$	Distância entre vigas adjacentes
nerv := "PERPENDICULAR"	Nervuras paralelas ou perpendiculares ao perfil
fixa := "INDIRETA"	Fixação direta na viga ou indireta, através da forma
$b_{nervura} := 50 \text{ mm}$	Largura da nervura ou mísula sobre o perfil
$s_{fix_perp} := 305 \text{ mm}$	Intervalo de fixação das nervuras perpendiculares ao perfil

Figura 4-3 – Dados de entrada do perfil metálico e da laje para verificação das vigas mistas secundárias.

3 - Conectores

$d_{cs} := 19 \text{ mm}$	Diâmetro dos conectores
$R_g := 1$	Coefficiente da atuação de grupo de conectores
$R_p := 0,75$	Coefficiente da posição do conectores
$cob_{lat} := 25 \text{ mm}$	Cobrimento lateral do concreto
$h_{cs} := 105 \text{ mm}$	Altura do conector
$cob_{sup} := h_f + t_c - h_{cs} = 15 \text{ mm}$	Cobrimento superior do concreto acima do topo da forma
$n_{fila_conect} := 1$	Número de linhas de conectores

4 - Propriedades dos materiais

- Aço -

$E_s := 200 \text{ GPa}$	Módulo de elasticidade do material da viga
$f_y := 345 \text{ MPa}$	Tensão de escoamento do material da viga
$f_U := 400 \text{ MPa}$	Tensão de ruptura do material da viga

- Conectores -

$f_{ucs} := 415 \text{ MPa}$	Tensão de ruptura do material dos conectores
------------------------------	--

- Concreto -

$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$	Tensão característica do concreto
$\gamma_{ck} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	Peso específico do concreto

5 - Coeficientes

$\gamma_c := 1,4$	Fator de segurança para o concreto
$\gamma_{a1} := 1,1$	Fator de segurança para o escoamento do aço
$\gamma_{cs} := 1,25$	Fator de segurança para os conectores

Figura 4-4 – Dados dos conectores, materiais e coeficientes de norma para verificação das vigas mistas secundárias.

6 - Cargas

$q_{SD} := 24,92 \frac{kN}{m}$	Esforço de projeto na viga
$q_{SK} := 17,8 \frac{kN}{m}$	Esforço nominal (de serviço) na viga
$q_{Ga_SK} := 6,55 \frac{kN}{m}$	Esforço na viga antes da cura
$V_{SD} := 99,68 kN$	Cortante de projeto na viga
$V_{SK} := 71,2 kN$	Cortante nominal (de serviço) na viga
$V_{Ga_sk} := 26,2 kN$	Cortante na viga antes da cura
$M_{SD} := 199,36 kN m$	Momento de projeto na viga
$M_{SK} := 142,4 kN m$	Momento nominal (de serviço) na viga
$M_{Ga_sk} := 52,4 kN m$	Momento na viga antes da cura

Figura 4-5 – Carregamentos considerados para a verificação das vigas mistas secundárias.

CÁLCULOS GEOMÉTRICOS



$$h := d - t_{fs} - t_{fi} = 29,12 \text{ cm} \quad \text{Altura entre flanges do perfil}$$

$$A_{fs} := b_{fs} \cdot t_{fs} = 9,078 \text{ cm}^2 \quad \text{Área da flange superior}$$

$$A_w := h \cdot t_w = 17,472 \text{ cm}^2 \quad \text{Área da alma}$$

$$A_{fi} := b_{fi} \cdot t_{fi} = 9,078 \text{ cm}^2 \quad \text{Área da flange inferior}$$

$$y_{CG} := \frac{b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \frac{t_{fi}}{2} + h \cdot t_w \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{fi}\right) + b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \left(\frac{t_{fs}}{2} + h + t_{fi}\right)}{b_{fi} \cdot t_{fi} + h \cdot t_w + b_{fs} \cdot t_{fs}} = 15,45 \text{ cm} \quad \text{Altura do CG do perfil}$$

$$b := \min \left(\left[\frac{L}{8} \cdot \frac{e_1}{2} \right] \right) \cdot 2 = 2 \text{ m} \quad \text{Largura efetiva de concreto (exceto vigas em balanço)}$$

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot d_{cs}^2}{4} = 0,0003 \text{ m}^2 \quad \text{Área do conector}$$

CÁLCULOS DE MATERIAIS



$$F_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2,1429 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensão admissível de cálculo do concreto}$$

$$F_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = 31,3636 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensão admissível de cálculo do aço}$$

$$E_c := 4760 \cdot \sqrt{\text{MPa}} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 26071,5937 \text{ MPa} \quad \text{Módulo de elasticidade do concreto}$$

$$\alpha_E := \frac{E_s}{E_c} = 7,6712 \quad \text{Relação dos módulos de elasticidade aço/concreto}$$

$$\alpha_{E_LD} := \frac{3 \cdot E_s}{E_c} = 23,0136 \quad \text{Relação dos módulos de elasticidade aço/concreto para efeitos de longa duração}$$

Figura 4-6 – Cálculos geométricos e de materiais para verificação das vigas mistas secundárias.

VERIFICAÇÃO DE ESBELTEZ

$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 48,5333$	Eslotez da viga mista e alma da viga de aço
$\lambda_{mi} := \frac{b_{fi}}{2 \cdot t_{fi}} = 5,7303$	Eslotez da mesa inferior da viga de aço
$\lambda_{ms} := \frac{b_{fs}}{2 \cdot t_{fs}} = 5,7303$	Eslotez da mesa superior da viga de aço
$\lambda_1 := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_Y}} = 90,5302$	Eslotez limite para viga mista e alma da viga de aço
$\lambda_{lm} := 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_Y}} = 9,1493$	Eslotez limite para mesas da viga de aço
$\lambda_{wV} := 2,46 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_Y}} = 59,2298$	Eslotez limite da alma da viga de aço para esforço cortante
<pre> if $\lambda_w > \lambda_1$ viga := "Não compacto" else viga := "Compacto" </pre>	
viga = "Compacto"	
<pre> if $\lambda_w > \lambda_1$ alma := "Não compacto" else alma := "Compacto" </pre>	<pre> if $\lambda_w > \lambda_{wV}$ alma_V := "Não compacto" else alma_V := "Compacto" </pre>
alma = "Compacto"	
alma_V = "Compacto"	
Verificação da alma para momento	Verificação da alma para cortante
<pre> if $\lambda_{mi} > \lambda_{lm}$ mesa_inf := "Não compacto" else mesa_inf := "Compacto" </pre>	<pre> if $\lambda_{ms} > \lambda_{lm}$ mesa_sup := "Não compacto" else mesa_sup := "Compacto" </pre>
mesa_inf = "Compacto"	
mesa_sup = "Compacto"	
Verificação da mesa superior	Verificação da mesa inferior

Figura 4-7 – Cálculos de esbeltez para a verificação das vigas mistas secundárias.

VERIFICAÇÃO DO CORTANTE E MOMENTO ANTES DA CURA (VIGA DE AÇO) - SOMENTE PERFIS COMPACTOS

□

Verificação do momento na viga antes da cura do concreto (viga de aço) -
Somente para perfis compactos

```
if (alma="Compacto")^(mesa_inf="Compacto")^(mesa_sup="Compacto")
```

$$M_{rd_viga} = \frac{Z_a \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

```
else
```

$$M_{rd_viga} = 0,00001 \text{ N m}$$

$$M_{rd_viga} = 129,2182 \text{ kN m}$$

```
if  $M_{Ga\_sk} \leq M_{rd\_viga}$ 
```

```
  Mom_viga="OK"
```

```
else
```

```
  Mom_viga="Não OK"
```

```
  Mom_viga="OK"
```

$$IU_{Mom_viga} = \frac{M_{Ga_sk}}{M_{rd_viga}} = 0,4055$$

Verificação da viga de aço ao esforço cortante (somente para vigas compactas,
sem enrijecedor transversal):

```
if alma_V="Compacto"
```

$$V_{rd_viga} = \frac{0,6 \cdot A_w \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

```
else
```

$$V_{rd_viga} = 0,00001 \text{ N}$$

$$V_{rd_viga} = 328,7913 \text{ kN}$$

```
if  $V_{Ga\_sk} \leq V_{rd\_viga}$ 
```

```
  Cort_viga="OK"
```

```
else
```

```
  Cort_viga="Não OK"
```

```
  Cort_viga="OK"
```

$$IU_{Cort_viga} = \frac{V_{Ga_sk}}{V_{rd_viga}} = 0,0797$$

Figura 4-8 – Verificação de momento fletor e cortante para o perfil metálico (antes da cura do concreto) das vigas mistas secundárias.

VERIFICAÇÃO DO MOMENTO DE CÁLCULO APÓS A CURA (VIGA MISTA - PERFIS COMPACTOS)

☐

VERIFICAÇÃO DOS CONECTORES

☐

$$Q_{rd} := \min \left(\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{V_{cs}} \quad \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{V_{cs}} \right) \right) = 70,5987 \text{ kN} \quad \text{Força resistente do conector}$$

$$n_{conect} := \text{round} \left(\frac{F_{hd}}{Q_{rd}} + 0,499 ; 0 \right) = 17 \quad \text{Número de conectores necessários na interação completa}$$

$$n_{conect_a} := \text{round} \left(\alpha \cdot \frac{F_{hd}}{Q_{rd}} + 0,499 ; 0 \right) = 8 \quad \text{Número de conectores necessários na interação parcial}$$

$$S_{cs_l} := \frac{\frac{L}{2}}{n_{conect} \cdot n_{fila_conect}} = 23,5294 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento longitudinal entre conectores}$$

$$S_{cs_l_a} := \frac{\frac{L}{2}}{n_{conect_a} \cdot n_{fila_conect}} = 50 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento longitudinal entre conectores}$$

$$S_{cs_t} := 4 \cdot d_{cs} = 7,6 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento transversal entre conectores}$$

Verificações dos conectores - Págs 222 a 225

```

if h_f ≤ 75 mm
    v_1 := "OK"
else
    v_1 := "Não OK"
    v_1 = "OK"
    Altura das nervuras da forma igual ou inferior a 75mm.

if nerv = "PARALELA"
    if h_f ≥ 40 mm
        if n_fila_conect = 1
            if b_nervura ≥ 50 mm
                v_2 := "OK"
            else
                v_2 := "Não OK"
        else
            if b_nervura ≥ 50 mm + 4 · d_cs · (n_fila_conect - 1)
                v_2 := "OK"
            else
                v_2 := "Não OK"
                v_2 = "OK"
        Nas formas com nervuras paralelas, quando a altura nominal da nervura for maior ou igual a 40 mm, a largura média da nervura sobre o perfil não oppode ser inferior a 50 mm, quando houver apenas um pino na seção transversal. Para cada pino adicional, essa largura deve ser acrescida de 4 vezes o diâmetro do pino.
    else
        v_2 := "OK"
    else
        v_2 := "OK"

```

Figura 4-9 – Verificações de resistência e geométricas dos conectores para as vigas mistas secundárias – Parte I.

<pre> if t_c ≥ 50 mm v₃ := "OK" else v₃ := "Não OK" </pre>	<p>Cobrimento de concreto acima do topo da forma de aço igual ou superior a 50 mm.</p>
<pre> if h_{cs} - h_f ≥ 40 mm v₄ := "OK" else v₄ := "Não OK" </pre>	<p>Projeção dos conectores acima do topo da forma, depois de instalados, igual ou superior a 40 mm.</p>
<pre> if nerv = "PERPENDICULAR" if s_{fix} perp ≤ 450 mm v₅ := "OK" else v₅ := "Não OK" else v₅ := "OK" </pre>	<p>Em formas com nervuras perpendiculares ao perfil, intervalo de ancoragem não deve ser superior a 450mm.</p>
<pre> if d_{cs} ≤ 19 mm v₆ := "OK" else v₆ := "Não OK" </pre>	<p>Laje de concreto deve ser ligada ao perfil de aço por conectores tipo pino com cabeça, de diâmetro igual ou inferior a 19 mm.</p>
<pre> if (cob_{lat} ≥ 25 mm) ∧ (cob_{sup} ≥ 10 mm) v₇ := "OK" else v₇ := "Não OK" </pre>	<p>Conectores devem ficar completamente embutidos no concreto da laje, com cobrimento superior mínimo de 10 mm e cobrimento lateral mínimo de 25 mm, excetuando-se conectores em nervuras de formas de aço.</p>
<pre> if h_{cs} ≥ 4 · d_{cs} v₈ := "OK" else v₈ := "Não OK" </pre>	<p>Conectores tipo pino com cabeça devem ter comprimento mínimo igual a 4 vezes o diâmetro.</p>
<pre> if fixa = "DIRETA" if n_{fila} conect > 1 if t_{fs} ≥ $\frac{d_{cs}}{2}$ v₉ := "OK" else v₉ := "Não OK" else v₉ := "OK" else v₉ := "OK" </pre>	<p>Os conectores tipo pino com cabeça devem ser fixados nas mesas, diretamente sobre a alma do perfil, caso contrário a mesa deve ter espessura maior do que o diâmetro do conector dividido por 2,5.</p>
<pre> if S_{cs} 1 ≤ 8 · (t_c + h_f) v₁₀ := "OK" else v₁₀ := "Não OK" </pre>	<p>Para os conectores, o espaçamento entre linhas, na direção longitudinal, entre centros de conectores, deve ser menor ou igual a 8 vezes a espessura total da laje.</p>

Figura 4-10 – Verificações geométricas dos conectores das vigas mistas secundárias – Parte II.

<pre> if nerv="PERPENDICULAR" if S_{cs_l} ≤ 915 mm v₁₁ := "OK" else v₁₁ := "Não OK" else v₁₁ := "OK" </pre>	<p>Em formas com nervuras perpendiculares ao perfil, o espaçamento entre conectores também não pode ser superior a 915 mm.</p>
<pre> if S_{cs_l} ≥ 4 · d_{cs} v₁₂ := "OK" else v₁₂ := "Não OK" </pre>	<p>O espaçamento entre conectores, no sentido longitudinal da viga, não pode ser inferior a 4 vezes o diâmetro dos conectores, para laje com forma de aço incorporada.</p>
<pre> if S_{cs_t} ≥ 4 · d_{cs} v₁₃ := "OK" else v₁₃ := "Não OK" </pre>	<p>O espaçamento entre conectores, no sentido transversal da viga, não pode ser inferior a 4 vezes o diâmetro dos conectores, para laje com forma de aço incorporada.</p>

Figura 4-11 - Verificações geométricas dos conectores das vigas mistas secundárias – Parte III.

VERIFICAÇÃO DA FLECHA	
$b_{tr} := \frac{b}{\alpha_E} = 26,0716 \text{ cm}$	Largura efetiva transformada
$b_{tr_LD} := \frac{b}{\alpha_{E_LD}} = 8,6905 \text{ cm}$	Largura efetiva transformada para efeitos de longa duração
Cálculo da linha neutra transformada:	
$A_{c1} := b_{tr} \cdot t_c = 182,5012 \text{ cm}^2$	
$A_{c1_LD} := b_{tr_LD} \cdot t_c = 60,8337 \text{ cm}^2$	
$y_{tr_i} := \frac{A_a \cdot y_{CG} + A_{c1} \cdot \left(d + h_f + \frac{t_c}{2} \right)}{A_a + A_{c1}} = 35,4084 \text{ cm}$	
$y_{tr_i_LD} := \frac{A_a \cdot y_{CG} + A_{c1_LD} \cdot \left(d + h_f + \frac{t_c}{2} \right)}{A_a + A_{c1_LD}} = 30,4188 \text{ cm}$	

Figura 4-12 – Verificação das flechas considerando curta duração e longa duração para as vigas mistas secundárias – Parte I.

Linha neutra passando pela laje de concreto:

$$a_{tr} = \frac{-A_a + \sqrt{A_a^2 + 2 \cdot b_{tr} \cdot A_a \cdot (d+h_f+t_c - y_{CG})}}{b_{tr}} = 7,478 \text{ cm}$$

$$a_{tr_LD} = \frac{-A_a + \sqrt{A_a^2 + 2 \cdot b_{tr_LD} \cdot A_a \cdot (d+h_f+t_c - y_{CG})}}{b_{tr_LD}} = 11,555 \text{ cm}$$

$$y_{tr} = d+h_f+t_c - a_{tr} = 35,422 \text{ cm}$$

$$y_{tr_LD} = d+h_f+t_c - a_{tr_LD} = 31,345 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = I_a + A_a \cdot (y_{tr} - y_{CG})^2 + \frac{b_{tr} \cdot a_{tr}^3}{12} + b_{tr} \cdot a_{tr} \cdot \left(\frac{a_{tr}}{2}\right)^2 = 23693,2974 \text{ cm}^4$$

$$I_{tr_LD} = I_a + A_a \cdot (y_{tr_LD} - y_{CG})^2 + \frac{b_{tr_LD} \cdot a_{tr_LD}^3}{12} + b_{tr_LD} \cdot a_{tr_LD} \cdot \left(\frac{a_{tr_LD}}{2}\right)^2 = 19191,0152 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef_c} = I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr} - I_a) = 18215,6839 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetiva}$$

$$I_{ef_c_LD} = I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr_LD} - I_a) = 15068,9428 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetiva}$$

Linha neutra passando pelo perfil:

$$y_{tr_p} = y_{tr_i} = 35,4084 \text{ cm}$$

$$y_{tr_p_LD} = y_{tr_i_LD} = 30,4188 \text{ cm}$$

$$I_{tr_p} = I_a + A_a \cdot (y_{tr_p} - y_{CG})^2 + \frac{b_{tr} \cdot t_c^3}{12} + A_{c1} \cdot \left(d+h_f + \frac{t_c}{2} - y_{tr_p}\right)^2 = 23692,3075 \text{ cm}^4$$

$$I_{tr_p_LD} = I_a + A_a \cdot (y_{tr_p_LD} - y_{CG})^2 + \frac{b_{tr_LD} \cdot t_c^3}{12} + A_{c1_LD} \cdot \left(d+h_f + \frac{t_c}{2} - y_{tr_p_LD}\right)^2 = 18833,7425 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef_p} = I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr_p} - I_a) = 18214,9921 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo}$$

$$I_{ef_p_LD} = I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr_p_LD} - I_a) = 14819,2372 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo para longa duração}$$

Figura 4-13 - Verificação das flechas considerando curta duração e longa duração para as vigas mistas secundárias – Parte II.

Cálculo da Flecha:

$$\delta_{Ga} := \frac{5 \cdot q_{Ga_SK} \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_a} = 3,1758 \text{ cm} \quad \text{Flecha antes da cura do concreto}$$

$$\delta_{CF} := \delta_{Ga} = 3,1758 \text{ cm} \quad \text{Contra-flecha}$$

if $y_{tr_i} \leq d + h_f$

$$\delta_{CP_SC} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_p}}$$

else

$$\delta_{CP_SC} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_c}} \quad \delta_{CP_SC} = 1,647 \text{ cm} \quad \text{Flecha após a cura do concreto}$$

$$\delta_t := \delta_{Ga} + \delta_{CP_SC} - \delta_{CF} = 1,647 \text{ cm} \quad \text{Flecha total}$$

if $y_{tr_i_LD} \leq d + h_f$

$$\delta_{CP_SC_LD} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_p_LD}}$$

else

$$\delta_{CP_SC_LD} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_c_LD}} \quad \delta_{CP_SC_LD} = 2,0244 \text{ cm} \quad \text{Flecha após a cura do concreto (longa duração)}$$

$$\delta_{t_LD} := \delta_{Ga} + \delta_{CP_SC_LD} - \delta_{CF} = 2,0244 \text{ cm} \quad \text{Flecha total}$$

if $\delta_t \leq \frac{L}{350}$

V_Flecha = "OK"

else

V_Flecha = "Não OK" V_Flecha = "OK"

if $\delta_{t_LD} \leq \frac{L}{350}$

V_Flecha_LD = "OK"

else

V_Flecha_LD = "Não OK" V_Flecha_LD = "OK"

$$IU_{Flecha} := \left(\frac{\delta_t}{350} \right) = 0,7206$$

$$IU_{Flecha_LD} := \left(\frac{\delta_{t_LD}}{350} \right) = 0,8857$$

Figura 4-14 - Verificação das flechas considerando curta duração e longa duração para as vigas mistas secundárias – Parte III.

VERIFICAÇÃO DA TENSÃO DE SERVIÇO

□

if $y_{tr_i} \leq d + h_f$

$$W_{tr_i} := \frac{I_{tr_p}}{y_{tr_p}}$$

else

$$W_{tr_i} := \frac{I_{tr}}{y_{tr}}$$

$$W_{tr_i} = 669,1163 \text{ cm}^3$$

Módulo elástico transformado

$$W_{ef_i} := W_a + \sqrt{\alpha'} \cdot (W_{tr_i} - W_a) = 574,8437 \text{ cm}^3$$

Módulo elástico efetivo

$$\text{if } \frac{M_{Ga_{sk}}}{W_a} + \frac{(M_{SK} - M_{Ga_{sk}})}{W_{ef_i}} \leq f_y$$

$V_{IS} = \text{"OK"}$

else

$V_{IS} = \text{"Não OK"}$

$V_{IS} = \text{"OK"}$

$$IU_{IS} := \frac{\frac{M_{Ga_{sk}}}{W_a} + \frac{(M_{SK} - M_{Ga_{sk}})}{W_{ef_i}}}{f_y} = 0,8805$$

Figura 4-15 – Verificação da tensão de serviço para as vigas mistas secundárias.

ARMADURA DE COSTURA

$L_m := \frac{L}{2} = 4 \text{ m}$	Comprimento adotado entre extremidade e momento máximo
$n_m := 13$	Número de conectores efetivamente adotado no vão entre extremidade e momento máximo
$b_1 := b = 2 \text{ m}$	Largura efetiva da laje em um sentido.
$b_2 := b = 2 \text{ m}$	Largura efetiva da laje em um sentido.
$f_{ys} := 500 \text{ MPa}$	Tensão de escoamento do aço da armadura
$f_{yF} := 280 \text{ MPa}$	Tensão de escoamento do aço da forma
$\gamma_s := 1,15$	Coefficiente de ponderação de resistência do aço da armadura
$A_f := 9,97 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$	Área da forma de aço no plano de cisalhamento, para forma com nervuras perpendiculares ao perfil de aço. Para nervuras paralelas ao perfil, $A_f = 0$.
$A_s := 2 \cdot 0,79 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = 1,58 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$	Área total de armadura transversal ao eixo da viga (inclui tela da laje, e qualquer armadura a flexão existente).
$\phi_{\text{cost}} := 3,8 \text{ mm}$	Diâmetro das barras da armadura de costura
$n_{\text{bar_cost}} := \left(\text{round} \left(\frac{1 \text{ m}}{\phi_{\text{cost}}} + 0,5 ; 0 \right) \right) \cdot 2 = 14$	Número de barras colocadas por metro
Agreg := 25 mm	Dimensão máxima do agregado graúdo.
VERIFICAÇÃO DA ARMADURA NECESSÁRIA	
$\alpha := n_m \cdot \frac{Q_{rd}}{F_{hd}} = 0,8017$	Grau de interação com a quantidade efetivamente instalada de conectores
$H_{Sd} := \frac{\left(\frac{n_m \cdot \alpha \cdot F_{hd}}{n_{\text{conect}}} \right) \cdot \left(\frac{b_1}{b_1 + b_2} \right)}{L_m} = 87,7292 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Força de cisalhamento atuante de cálculo
$f_{ck_inf} := 0,21 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)} = 2,0275 \text{ MPa}$	Resistência característica inferior do concreto
$H_{Rd_1} := 0,6 \cdot t_c \cdot \frac{f_{ck_inf}}{\gamma_c} + A_s \cdot \frac{f_{ys}}{\gamma_s} + A_f \cdot \frac{f_{yF}}{\gamma_{af}} = 383,3033 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Força resistente ao cisalhamento do conjunto forma, armadura, concreto
$H_{rd_2} := 0,2 \cdot t_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + 0,6 \cdot A_f \cdot \frac{f_{yF}}{\gamma_{af}} = 452,2691 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Força resistente ao esmagamento do concreto

Figura 4-16 – Verificação da armadura de costura para as vigas mistas secundárias – Parte I.

$$H_{rd} := \min \left(H_{Rd_1}, H_{rd_2} \right) = 383,3033 \frac{kN}{m} \quad \text{Força de cisalhamento resistente de cálculo}$$

$$IU_{costura} := \frac{H_{Sd}}{H_{rd}} = 0,2289$$

$$l_{b_cost} := \frac{\left(\frac{n_m \cdot \alpha \cdot F_{hd}}{n_{conect}} \right) \cdot \left(\frac{b_1}{b_1 + b_2} \right)}{0,85 \cdot F_{cd} \cdot t_c} + \max \left(\left(10 \cdot \phi_{cost} \cdot 100 \text{ mm} \cdot \frac{\phi_{cost}}{4} \cdot \frac{\frac{f_{ys}}{Y_s}}{1,575 \cdot \frac{f_{ck_inf}}{Y_c}} \right) \right) = 0,4563 \text{ m} \quad \text{Comprimento mínimo de ancoragem}$$

VERIFICAÇÕES GEOMÉTRICAS

if nerv = "PERPENDICULAR"

if $A_s \geq \max \left(\left(0,001 \cdot t_c, 0,000150 \text{ m} \right) \right)$

v_{1_cost} = "OK"

else
v_{1_cost} = "Não OK"

else

if $A_s \geq \max \left(\left(0,002 \cdot t_c, 0,000150 \text{ m} \right) \right)$

v_{1_cost} = "OK"

else
v_{1_cost} = "Não OK"

A área da armadura de costura deve ser, no mínimo, 150 mm²/m, não podendo ser inferior a 0,2% da área da seção de cisalhamento por plano de cisalhamento para lajes maciças, mistas com nervuras paralelas ao perfil e lajes com pré-lajes de concreto, e 0,1% no caso de lajes com nervuras perpendiculares ao perfil.

v_{1_cost} = "OK"

if $\phi_{cost} \leq \frac{t_c}{8}$

v_{2_cost} = "OK"

else

v_{2_cost} = "Não OK"

As barras da armadura devem ter diâmetro máximo de 1/8 da altura t_c da laje.

v_{2_cost} = "OK"

if $S_{cost} \leq 400 \text{ mm}$

v_{3_cost} = "OK"

else

v_{3_cost} = "Não OK"

O espaçamento máximo entre eixos é 400mm.

v_{3_cost} = "OK"

if $S_{cost} \geq \max \left(\left(20 \text{ mm}, \phi_{cost}, 1,2 \cdot \text{Agreg} \right) \right)$

v_{4_cost} = "OK"

else

v_{4_cost} = "Não OK"

O espaçamento mínimo entre faces é o maior dentre 20mm, o diâmetro das barras ou 1,2 vezes a dimensão máxima do agregado graúdo.

v_{4_cost} = "OK"

Figura 4-17 - Verificação da armadura de costura para as vigas mistas secundárias – Parte II.

ARMADURA DE CONTINUIDADE

□

$$A_{\text{tela}} = 0,79 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \text{Tela da laje}$$

$$\phi_{\text{cont}} = 5 \text{ mm} \quad \text{Diâmetro das barras da armadura de continuidade.}$$

$$S_{\text{cont}} = 330 \text{ mm} \quad \text{Espaçamento entre eixos das barras da armadura de costura}$$

$$n_{\text{bar_cont}} = \left\lceil \text{round} \left(\frac{1 \text{ m}}{S_{\text{cont}}} + 0,5 ; 0 \right) \right\rceil = 4 \quad \text{Número de barras colocadas por metro}$$

$$F_{\text{ct_ef}} = 3 \text{ MPa} \quad \text{Resistência média efetiva à tração do concreto quando começam as primeiras fissuras}$$

$$B_t = \frac{L+L}{32} = 0,5 \text{ m} \quad \text{Largura de trabalho da laje}$$

$$l_{\text{b_cont}} = \frac{L}{8} = 1 \text{ m} \quad \text{Comprimento mínimo das barras da armadura de continuidade}$$

$$w_k = 0,3 \text{ mm} \quad \text{Abertura máxima característica das fissuras para ambiente urbano}$$

$$\text{Agreg} = 25 \text{ mm} \quad \text{Dimensão máxima do agregado graúdo.}$$

VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ARMADURA

$$A_{\text{s_cont_nec}} = \frac{\left(\min \left(\begin{array}{l} 0,72 \cdot F_{\text{ct_ef}} \cdot B_t \cdot t_c \\ f_{ys} \cdot \left[\frac{w_k \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)}}{\phi_{\text{cont}}} \right] \cdot \text{MPa} \end{array} \right) \right)}{810 \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}} = 1,512 \cdot \frac{1}{\text{m}} \text{ cm}^2$$

Área necessária da armadura de continuidade.

$$A_{\text{cont_inst}} = \left(\frac{n_{\text{bar_cont}} \cdot \phi_{\text{cont}}^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{1 \text{ m}} \right) + A_{\text{tela}} = 1,5754 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$IU_{\text{continuidade}} = \frac{A_{\text{s_cont_nec}}}{A_{\text{cont_inst}}} = 0,9598$$

Figura 4-18 – Verificação da armadura de continuidade das vigas mistas secundárias – Parte I.

VERIFICAÇÕES GEOMÉTRICAS

```

if nerv="PERPENDICULAR"
  if  $A_{cont\_inst} \geq \max\left(\left(0,001 \cdot t_c \quad 0,000150 \text{ m}\right)\right)$ 
    v1_cont="OK"
  else
    v1_cont="Não OK"
else
  if  $A_{cont\_inst} \geq \max\left(\left(0,002 \cdot t_c \quad 0,000150 \text{ m}\right)\right)$ 
    v1_cont="OK"
  else
    v1_cont="Não OK"

```

A área da armadura de continuidade deve ser, no mínimo, 150 mm²/m, não podendo ser inferior a 0,2% da área da seção de cisalhamento por plano de cisalhamento para lajes maciças, mistas com nervuras paralelas ao perfil e lajes com pré-lajes de concreto, e 0,1% no caso de lajes com nervuras perpendiculares ao perfil.


```

if  $\phi_{cont} \leq \frac{t_c}{8}$ 
  v2_cont="OK"
else
  v2_cont="Não OK"

```

As barras da armadura devem ter diâmetro máximo de 1/8 da altura t_c da laje.


```

if Scont ≤ 400 mm
  v3_cont="OK"
else
  v3_cont="Não OK"

```

O espaçamento máximo entre eixos é 400mm.


```

if Scont ≥ max((20 mm φcont 1,2·Agreg))
  v4_cont="OK"
else
  v4_cont="Não OK"

```

O espaçamento mínimo entre faces é o maior dentre 20mm, o diâmetro das barras ou 1,2 vezes a dimensão máxima do agregado graúdo.

Figura 4-19 - Verificação da armadura de continuidade das vigas mistas secundárias – Parte II.

RESUMO DOS RESULTADOS				
Verificações de esbeltez:				
viga = "Compacto"	alma_V = "Compacto"	mesa_sup = "Compacto"		
alma = "Compacto"	mesa_inf = "Compacto"			
Verificações antes da cura do concreto:				
$M_{rd_viga} = 129,2182 \text{ kN m}$	$IU_{Mom_viga} = 0,4055$	Mom_viga = "OK"		
$V_{rd_viga} = 328,7913 \text{ kN}$	$IU_{Cort_viga} = 0,0797$	Cort_viga = "OK"		
Verificação do momento da viga mista:				
$M_{rd} = 296,2528 \text{ kN m}$	$IU_{Mom_comp} = 0,6729$	Mom_comp = "OK"	$\alpha = 0,8017$	
$M_{rd_a} = 238,4237 \text{ kN m}$	$IU_{Mom_parc} = 0,8362$	Mom_parc = "OK"	$\alpha_{min} = 0,4885$	
Verificações dos conectores:				
$n_{conect} = 17$	$n_{conect_a} = 8$			
$S_{cs_l} = 23,5294 \text{ cm}$	Espaçamento longitudinal entre conectores na interação completa			
$S_{cs_l_a} = 50 \text{ cm}$	Espaçamento longitudinal entre conectores na interação parcial			
$S_{cs_t} = 7,6 \text{ cm}$	Espaçamento transversal entre conectores			
$v_1 = \text{"OK"}$	$v_2 = \text{"OK"}$	$v_3 = \text{"OK"}$	$v_4 = \text{"OK"}$	$v_5 = \text{"OK"}$
$v_6 = \text{"OK"}$	$v_7 = \text{"OK"}$	$v_8 = \text{"OK"}$	$v_9 = \text{"OK"}$	$v_{10} = \text{"OK"}$
$v_{11} = \text{"OK"}$	$v_{12} = \text{"OK"}$	$v_{13} = \text{"OK"}$		
Verificação da flecha:				
$\delta_t = 1,647 \text{ cm}$	$IU_{Flecha} = 0,7206$	$V_{Flecha} = \text{"OK"}$		
$\delta_{t_LD} = 2,0244 \text{ cm}$	$IU_{Flecha_LD} = 0,8857$	$V_{Flecha_LD} = \text{"OK"}$		
Verificação da tensão de serviço:				
$\frac{M_{Ga_sk}}{W_a} + \left(\frac{M_{SK} - M_{Ga_sk}}{W_{ef_i}} \right) = 303,7553 \text{ MPa}$	$IU_{TS} = 0,8805$	$V_{TS} = \text{"OK"}$		
Verificação da armadura de costura:				
$IU_{costura} = 0,2289$	$v_{1_cost} = \text{"OK"}$	$v_{2_cost} = \text{"OK"}$	$v_{3_cost} = \text{"OK"}$	$v_{4_cost} = \text{"OK"}$
Verificação da armadura de continuidade:				
$IU_{continuidade} = 0,9598$	$v_{1_cont} = \text{"OK"}$	$v_{2_cont} = \text{"OK"}$	$v_{3_cont} = \text{"OK"}$	$v_{4_cont} = \text{"OK"}$

Figura 4-20 – Resumo dos resultados de verificação das vigas mistas secundárias.

4.3.2 Dimensionamento da viga mista principal (VMP1)

As vigas mistas principais possuem vãos de 10 m e recebem vigas secundárias a cada 2,5 m, em ambos os lados (ver Figura 4-1). Para as cargas recebidas das vigas secundárias, temos:

$$P_{sd} = 99,68 \times 2 = 199,36 \text{ kN}$$

$$P_{sk} = 71,20 \times 2 = 142,40 \text{ kN}$$

$$P_{Ga,sk} = 26,20 \times 2 = 52,40 \text{ kN}$$

Com isto, temos, para os esforços cortantes e momentos fletores, temos:

$$V_{sd} = 299,04 \text{ kN}$$

$$V_{sk} = 213,6 \text{ kN}$$

$$V_{Ga,sk} = 78,6 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 996,8 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ga,sk} = 712,0 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ga,sk} = 262,0 \text{ kN.m}$$

A partir destes esforços, deve ser realizado o dimensionamento da viga mista considerando-se os mesmos critérios de resistência da viga de aço, viga mista, conectores e armaduras de costura e continuidade, tensões de serviço e flechas, adotados no dimensionamento das vigas secundárias (ver seção 4.3.1).

Como chute inicial, para as vigas principais, adotou-se uma altura da viga de aço $D = L/20 = 10/20 = 500 \text{ mm}$. Desta forma, foram verificadas por planilha eletrônica as vigas da série W530, com altura imediatamente superior à calculada. Os resultados obtidos para as três primeiras vigas da série são apresentados na Tabela 1, sob a forma de índice de utilização (IU), que representa a razão entre o esforço atuante e o admissível. Não foi considerada a viga W530 x 72, que possui mesas não compactas.

Tabela 3 – Viga secundária – Resultados das primeiras 3 vigas da série W530.

Perfil	IU _{viga_aço} (mom/cort.)	IU _{viga_mista} ($\alpha = 1,0$)	IU _{viga_mista} ($\alpha_{\text{mínimo}}$)	IU _{serviço}	Flecha [m] (CD / LD)
W530 x 66,0	0,54 / 0,09	1,08	1,20	1,25	0,29 / 0,36
W530 x 74,0	0,46 / 0,09	0,95	1,08	1,08	0,25 / 0,32
W530 x 82,0	0,41/0,08	0,88	0,99	0,95	0,23 / 0,29

Nota: Os valores de flecha são calculados considerando-se todos os carregamentos como curta duração (CD) e considerando os carregamentos após a cura do concreto como longa duração (LD). Em ambos os casos, é considerada contra-flecha aplicada igual à flecha antes da cura. A flecha admissível considerada foi $L/350 = 2,86$ cm.

Observa-se que os dois primeiros perfis são considerados reprovados, especialmente nos critérios de tensão de serviço e viga mista com interação parcial. Desta forma, adota-se o perfil W530 x 82,0. De forma a garantir que se trata do perfil de menor peso, verificou-se toda a tabela Gerdau e constatou-se que este é, de fato, o perfil mais leve com o módulo estático (W) igual ou superior a 1800 cm³. As principais propriedades deste perfil para o dimensionamento das vigas mistas principais são apresentadas na Figura 4-21.

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				ESBELTEZ	
				t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	MESA- λ b _f /2t _w	ALMA- λ d'/t _f
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47.569	1.801,8	21,34	2.058,5	7,86	50,25

Figura 4-21 – Principais propriedades do perfil W 530 x 82,0 para a verificação das vigas secundárias.

A indicação da viga mista principal selecionada é apresentada na Figura 7-3, na seção 7 deste trabalho.

A distribuição dos conectores de forma a garantir a interação entre o aço e o concreto nas vigas mistas principais foi realizada da seguinte forma:

- O coeficiente para consideração do efeito de atuação de grupos de conectores, R_g , foi tomado como 1 por tratar-se de conector soldado em uma nervura de fôrma de aço paralela ao perfil de aço, com relação $b_f/h_f > 1,5$ (2,03).
- O coeficiente para consideração da posição do conector (R_p), foi adotado igual a 0,75, por tratar-se de nervura paralela ao perfil de aço.
- Considerando-se os valores calculados de R_g e R_p , foram calculados como necessários 46 conectores de 19 mm para a interação completa e 25 conectores de 19 mm para a interação parcial com grau mínimo. Estes conectores devem ser instalados entre o ponto de máximo momento da viga e o apoio. Como se trata de viga biapoiada com carga uniformemente distribuída, esta distância equivale à metade do vão, ou seja, $10000/2 = 5000$ mm.
- Adotando-se a solução mais econômica, de interação parcial, temos um espaçamento longitudinal de $5000/26 = 192,3$ mm. Adota-se, portanto, espaçamento de 192 mm, que atende aos limites máximo e mínimo de 1200 mm e 76 mm, respectivamente.
- Por se tratar de viga que recebe cargas localizadas das vigas secundárias, foi verificada a quantidade necessária de conectores entre o ponto de carga concentrada e o apoio. Na viga em questão, foram necessários 8 conectores, valor atendido plenamente pelos 13 conectores instalados no trecho.
- A altura adotada para o conector foi de 105 mm, sendo 55 mm acima da fôrma de aço e permitindo um cobrimento superior de 15 mm de concreto.

A distribuição dos conectores na viga mista é apresentada na Figura 7-2, na seção 7 deste trabalho.

Para a determinação das armaduras de costura e continuidade, foram adotados os mesmos passos realizados para as vigas secundárias (ver seção 4.3.1). Não foi observada a necessidade de armadura de costura, além da tela da laje já utilizada. Desta forma, apenas

para atender ao critério de armadura mínima, foi adotada tela dupla da laje na região de costura, conforme realizado para as vigas secundárias. O comprimento de ancoragem calculado foi de 0,55m.

Para a armadura de continuidade, foram adotadas 4 barras de 8 mm de diâmetro. De forma a evitar a necessidade de furos no pilar, as barras foram posicionadas ao redor do perfil I do pilar, respeitando a largura de trabalho calculada da laje, de 0,5 m.

Os detalhamentos das armaduras de costura e continuidade selecionadas são apresentados na Figura 7-4e Figura 7-5, respectivamente, na seção 7.

A memória de cálculo desenvolvida para a verificação da viga mista principal selecionada, dos conectores e armaduras de costura e continuidade é apresentada da Figura 4-22 à Figura 4-41.

DADOS DE ENTRADA



1 - Geometria do perfil metálico

W 530X 82

$b_{fs} := 20,9 \text{ cm}$ Largura da flange superior

$t_{fs} := 1,33 \text{ cm}$ Espessura da flange superior

$b_{fi} := 20,9 \text{ cm}$ Largura da flange inferior

$t_{fi} := 1,33 \text{ cm}$ Espessura da flange inferior

$t_w := 0,95 \text{ cm}$ Espessura da alma

$d := 52,8 \text{ cm}$ Altura do perfil

$A_a := 104,5 \text{ cm}^2$ Área do perfil

$I_a := 47569 \text{ cm}^4$ Inércia do perfil

$W_a := 1801,8 \text{ cm}^3$ Módulo elástico superior do perfil

$W_a := 1801,8 \text{ cm}^3$ Módulo elástico inferior do perfil

$Z_a := 2058,50 \text{ cm}^3$ Módulo plástico do perfil

2 - Geometria da laje

MF-50 x 120 x 0,8

$t_c := 7 \text{ cm}$ Espessura da laje acima das nervuras

$h_f := 5 \text{ cm}$ Altura da forma (steel-deck)

Figura 4-22 – Viga mista principal: Dados de entrada – Parte I

$L := 10 \text{ m}$	Vão da viga
$e_1 := 8 \text{ m}$	Distância entre vigas adjacentes
nerv := "PARALELA"	Nervuras paralelas ou perpendiculares ao perfil
fixa := "INDIRETA"	Fixação direta na viga ou indireta, através da forma
$b_{\text{nervura}} := 50 \text{ mm}$	Largura da nervura ou mísula sobre o perfil
$s_{\text{fix_perp}} = 160 \text{ mm}$	Intervalo de fixação das nervuras perpendiculares ao perfil

3 - Conectores

$d_{\text{CS}} := 19 \text{ mm}$	Diâmetro dos conectores
$R_g := 1$	Coefficiente da atuação de grupo de conectores
$R_p := 0,75$	Coefficiente da posição do conectores
$\text{cob}_{\text{lat}} := 25 \text{ mm}$	Cobrimto lateral do concreto
$h_{\text{CS}} := 105 \text{ mm}$	Altura do conector
$\text{cob}_{\text{sup}} := h_f + t_c - h_{\text{CS}} = 15 \text{ mm}$	Cobrimto superior do concreto acima do topo da forma
$n_{\text{fila_connect}} := 1$	Número de linhas de conectores

4 - Propriedades dos materiais

- Aço -

$E_s := 200 \text{ GPa}$	Módulo de elasticidade do material da viga
$f_y := 345 \text{ MPa}$	Tensão de escoamento do material da viga
$f_u := 400 \text{ MPa}$	Tensão de ruptura do material da viga

- Conectores -

$f_{\text{ucs}} := 415 \text{ MPa}$	Tensão de ruptura do material dos conectores
-------------------------------------	--

- Concreto -

$f_{\text{ck}} := 30 \text{ MPa}$	Tensão característica do concreto
$\gamma_{\text{ck}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	Peso específico do concreto

Figura 4-23 – Viga mista principal: Dados de entrada – Parte II

5 - Coeficientes

$\gamma_c := 1,4$	Fator de segurança para o concreto
$\gamma_{al} := 1,1$	Fator de segurança para o escoamento do aço
$\gamma_{CS} := 1,25$	Fator de segurança para os conectores

6 - Cargas

$q_{SD} := 24,92 \frac{kN}{m}$	Esforço de projeto na viga
$q_{SK} := 17,8 \frac{kN}{m}$	Esforço nominal (de serviço) na viga
$q_{Ga_SK} := 6,55 \frac{kN}{m}$	Esforço na viga antes da cura
$V_{SD} := 299,04 \text{ kN}$	Cortante de projeto na viga
$V_{SK} := 213,6 \text{ kN}$	Cortante nominal (de serviço) na viga
$V_{Ga_sk} := 78,6 \text{ kN}$	Cortante na viga antes da cura
$M_{SD} := 996,8 \text{ kN m}$	Momento de projeto na viga
$M_{SK} := 712 \text{ kN m}$	Momento nominal (de serviço) na viga
$M_{Ga_sk} := 262 \text{ kN m}$	Momento na viga antes da cura

CÁLCULOS GEOMÉTRICOS

☞

$h := d - t_{fs} - t_{fi} = 50,14 \text{ cm}$	Altura entre flanges do perfil
$A_{fs} := b_{fs} \cdot t_{fs} = 27,797 \text{ cm}^2$	Área da flange superior
$A_w := h \cdot t_w = 47,633 \text{ cm}^2$	Área da alma
$A_{fi} := b_{fi} \cdot t_{fi} = 27,797 \text{ cm}^2$	Área da flange inferior

Figura 4-24 – Viga mista principal: Dados de entrada – Parte III

$$y_{CG} := \frac{b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \frac{t_{fi}}{2} + h \cdot t_w \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{fi}\right) + b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \left(\frac{t_{fs}}{2} + h + t_{fi}\right)}{b_{fi} \cdot t_{fi} + h \cdot t_w + b_{fs} \cdot t_{fs}} = 26,4 \text{ cm} \quad \text{Altura do CG do perfil}$$

$$b := \min \left(\left[\frac{L}{8} \cdot \frac{e_1}{2} \right] \right) = 2,5 \text{ m} \quad \text{Largura efetiva de concreto (exceto vigas em balanço)}$$

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot d_{cs}^2}{4} = 0,0003 \text{ m}^2 \quad \text{Área do conector}$$

CÁLCULOS DE MATERIAIS

□

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2,1429 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensão admissível de cálculo do concreto}$$

$$f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{al}} = 31,3636 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Tensão admissível de cálculo do aço}$$

$$E_c := 4760 \cdot \sqrt{\text{MPa}} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 26071,5937 \text{ MPa} \quad \text{Módulo de elasticidade do concreto}$$

$$\alpha_E := \frac{E_s}{E_c} = 7,6712 \quad \text{Relação dos módulos de elasticidade aço/concreto}$$

$$\alpha_{E_LD} := \frac{3 \cdot E_s}{E_c} = 23,0136 \quad \text{Relação dos módulos de elasticidade aço/concreto para efeitos de longa duração}$$

VERIFICAÇÃO DE ESBELTEZ

□

$$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 52,7789 \quad \text{Esbeltez da viga mista e alma da viga de aço}$$

$$\lambda_{mi} := \frac{b_{fi}}{2 \cdot t_{fi}} = 7,8571 \quad \text{Esbeltez da mesa inferior da viga de aço}$$

$$\lambda_{ms} := \frac{b_{fs}}{2 \cdot t_{fs}} = 7,8571 \quad \text{Esbeltez da mesa superior da viga de aço}$$

$$\lambda_1 := 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} = 90,5302 \quad \text{Esbeltez limite para viga mista e alma da viga de aço}$$

$$\lambda_{1m} := 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} = 9,1493 \quad \text{Esbeltez limite para mesas da viga de aço}$$

Figura 4-25 – Viga mista principal: Cálculos iniciais

$$\lambda_{wV} := 2,46 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} = 59,2298$$

Esbeltez limite da alma da viga de aço para esforço cortante

```

if  $\lambda_w > \lambda_l$ 
  viga:= "Não compacto"
else
  viga:= "Compacto"

```

Verificação da viga mista

viga= "Compacto"

```

if  $\lambda_w > \lambda_l$ 
  alma:= "Não compacto"
else
  alma:= "Compacto"

```

alma= "Compacto"

Verificação da alma para momento

```

if  $\lambda_w > \lambda_{wV}$ 
  alma_V:= "Não compacto"
else
  alma_V:= "Compacto"

```

alma_V= "Compacto"

Verificação da alma para cortante

```

if  $\lambda_{mi} > \lambda_{lm}$ 
  mesa_inf:= "Não compacto"
else
  mesa_inf:= "Compacto"

```

mesa_inf= "Compacto"

Verificação da mesa superior

```

if  $\lambda_{ms} > \lambda_{lm}$ 
  mesa_sup:= "Não compacto"
else
  mesa_sup:= "Compacto"

```

mesa_sup= "Compacto"

Verificação da mesa inferior

VERIFICAÇÃO DO CORTANTE E MOMENTO ANTES DA CURA (VIGA DE AÇO) - SOMENTE PERFIS COMPACTOS

□

Verificação do momento na viga antes da cura do concreto (viga de aço) -
Somente para perfis compactos

```

if (alma= "Compacto")^(mesa_inf= "Compacto")^(mesa_sup= "Compacto")

```

$$M_{rd_viga} := \frac{Z_a \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$$

```

else
  Mrd_viga := 0,00001 N m

```

$$M_{rd_viga} = 645,6205 \text{ kN m}$$

```

if  $M_{Ga\_sk} \leq M_{rd\_viga}$ 
  Mom_viga:= "OK"

```

```

else
  Mom_viga:= "Não OK"

```

Mom_viga= "OK"

Figura 4-26 – Viga mista principal: Verificações – Parte I

$$IU_{\text{Mom_viga}} := \frac{M_{\text{Ga_sk}}}{M_{\text{rd_viga}}} = 0,4058$$

Verificação da viga de aço ao esforço cortante (somente para vigas compactas, sem enrijecedor transversal):

```
if alma_V= "Compacto"
  Vrd_viga :=  $\frac{0,6 \cdot A_w \cdot f_y}{\gamma_{a1}}$ 
```

```
else
  Vrd_viga := 0,00001 N
```

$$V_{\text{rd_viga}} = 896,3665 \text{ kN}$$

```
if VGa_sk ≤ Vrd_viga
  Cort_viga= "OK"
```

```
else
  Cort_viga= "Não OK"      Cort_viga= "OK"
```

$$IU_{\text{Cort_viga}} := \frac{V_{\text{Ga_sk}}}{V_{\text{rd_viga}}} = 0,0877$$

VERIFICAÇÃO DO MOMENTO DE CÁLCULO APÓS A CURA (VIGA MISTA - PERFIS COMPACTOS)

☐

INTERAÇÃO COMPLETA ($\alpha \geq 1,0$)

☐

Cálculo da resultante no concreto:

$$N_{\text{cd}} := 0,85 \cdot F_{\text{cd}} \cdot b \cdot t_c = 3187,5 \text{ kN}$$

Cálculo da resultante no aço:

$$N_{\text{ad}} := A_a \cdot F_{\text{yd}} = 3277,5 \text{ kN}$$

Verificação para linha neutra plástica no concreto:

$$T_{\text{ad_c}} := N_{\text{ad}} = 3277,5 \text{ kN} \quad \text{Tração no aço}$$

$$a := \frac{T_{\text{ad_c}}}{0,85 \cdot F_{\text{cd}} \cdot b} = 7,1976 \text{ cm} \quad \text{Espessura na região comprimida da laje}$$

Figura 4-27 – Viga mista principal: Verificações – Parte II

Verificação para linha neutra plástica no perfil:

$$C_{cd} := N_{cd} = 3187,5 \text{ kN}$$

$$C_{ad} := \frac{(N_{ad} - C_{cd})}{2} = 45 \text{ kN}$$

$$T_{ad_p} := C_{cd} + C_{ad} = 3232,5 \text{ kN}$$

Para linha neutra na mesa superior:

$$y_{p_ms} := \frac{C_{ad}}{A_{fs} \cdot F_{yd}} \cdot t_{fs} = 0,0686 \text{ cm}$$

$$y_{c_ms} := \frac{y_{p_ms}}{2} = 0,0343 \text{ cm}$$

$$y_{t_ms} := \frac{b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \frac{t_{fi}}{2} + h \cdot t_w \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{fi}\right) + b_{fs} \cdot (t_{fs} - y_{p_ms}) \cdot \left(\frac{t_{fs} - y_{p_ms}}{2} + h + t_{fi}\right)}{b_{fi} \cdot t_{fi} + h \cdot t_w + b_{fs} \cdot (t_{fs} - y_{p_ms})} = 26,0284 \text{ cm}$$

Para linha neutra na alma:

$$y_{p_a} := t_{fs} + h \cdot \left(\frac{C_{ad} - A_{fs} \cdot F_{yd}}{A_w \cdot F_{yd}}\right) = -0,2642 \text{ m}$$

$$y_{c_a} := \frac{b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \frac{t_{fs}}{2} + (y_{p_a} - t_{fs}) \cdot t_w \cdot \left(\frac{y_{p_a} - t_{fs}}{2} + t_{fs}\right)}{b_{fs} \cdot t_{fs} + (y_{p_a} - t_{fs}) \cdot t_w} = 243,3784 \text{ cm}$$

$$y_{t_a} := \frac{b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \frac{t_{fi}}{2} + (h - (y_{p_a} - t_{fs})) \cdot t_w \cdot \left(\frac{h - (y_{p_a} - t_{fs})}{2} + t_{fi}\right)}{b_{fi} \cdot t_{fi} + (h - (y_{p_a} - t_{fs})) \cdot t_w} = 29,4584 \text{ cm}$$

Determinação do momento resistente de cálculo:

$$\text{if } 0,85 \cdot F_{cd} \cdot b \cdot t_c \geq A_a \cdot F_{yd}$$

$$M_{rd} := T_{ad_c} \cdot \left((d - y_{CG}) + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right)$$

else

$$\text{if } C_{ad} \leq A_{fs} \cdot F_{yd}$$

Figura 4-28 – Viga mista principal: Verificações – Parte III

$$M_{rd} := C_{ad} \cdot (d - y_{t_ms} - y_{c_ms}) + C_{cd} \cdot \left(\frac{t_c}{2} + h_f + d - y_{t_ms} \right)$$

else

$$M_{rd} := C_{ad} \cdot (d - y_{t_a} - y_{c_a}) + C_{cd} \cdot \left(\frac{t_c}{2} + h_f + d - y_{t_a} \right)$$

$$M_{rd} = 1136,315 \text{ kN m}$$

```

if MSD ≤ Mrd
  Mom_comp := "OK"
else
  Mom_comp := "Não OK"      Mom_comp := "OK"

```

$$IU_{Mom_comp} := \frac{M_{SD}}{M_{rd}} = 0,8772$$

INTERAÇÃO PARCIAL ($\alpha_{min} \leq \alpha < 1,0$)

Determinação do grau de interação:

$$\alpha_{min_iguais} := \max \left(0,4 \cdot 1 - \frac{E_s}{578 \cdot f_y} \cdot \left(0,75 - 0,03 \cdot \frac{L}{m} \right) \right) = 0,5487$$

$$\alpha_{min_dif} := \max \left(0,4 \cdot 1 - \frac{E_s}{578 \cdot f_y} \cdot \left(0,30 - 0,015 \cdot \frac{L}{m} \right) \right) = 0,8496$$

```

if Afi = Afs
  if L ≤ 25 m
    αmin := αmin_iguais
  else
    αmin := 1

```

Definição do grau mínimo admissível para mesas iguais e diferentes

```

else
  if L ≤ 20 m
    αmin := αmin_iguais + \left( \frac{A_{fi}}{A_{fs}} - 1 \right) \cdot \frac{(\alpha_{min\_dif} - \alpha_{min\_iguais})}{2}
  else
    αmin := 1

```

$$\alpha := \alpha_{min} = 0,5487 \quad \text{Para economia, utiliza-se o mínimo grau admissível}$$

Determinação do esforço cortante longitudinal:

$$F_{hd} := \min \left(0,85 \cdot F_{cd} \cdot b \cdot t_c \cdot A_a \cdot F_{yd} \right) = 3187,5 \text{ kN}$$

Figura 4-29 – Viga mista principal: Interações – Parte I

Equilíbrio de forças:

$$C_{cd_α} := α \cdot F_{hd} = 1748,8811 \text{ kN}$$

$$C_{ad_α} := 0,5 \cdot (A_a \cdot F_{yd} - C_{cd_α}) = 764,3095 \text{ kN} \quad \text{Força resistente de cálculo na região comprimida}$$

$$T_{ad_α} := C_{cd_α} + C_{ad_α} = 2513,1905 \text{ kN} \quad \text{Força resistente de cálculo na região tracionada}$$

$$a_{α} := \frac{C_{cd_α}}{0,85 \cdot F_{cd} \cdot b} = 0,0384 \text{ m} \quad \text{Espessura efetiva da laje}$$

Para interação parcial, LNP está sempre na viga de aço:

Para a linha neutra na mesa superior:

$$y_{p_ms_α} := \frac{C_{ad_α}}{A_{fs} \cdot F_{yd}} \cdot t_{fs} = 1,166 \text{ cm}$$

$$y_{c_ms_α} := \frac{y_{p_ms_α}}{2} = 0,583 \text{ cm}$$

$$y_{t_ms_α} := \frac{b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \frac{t_{fi}}{2} + h \cdot t_w \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{fi} \right) + b_{fs} \cdot (t_{fs} - y_{p_ms_α}) \cdot \left(\frac{t_{fs} - y_{p_ms_α}}{2} + h + t_{fi} \right)}{b_{fi} \cdot t_{fi} + h \cdot t_w + b_{fs} \cdot (t_{fs} - y_{p_ms_α})} = 18,4218 \text{ cm}$$

Para a linha neutra na alma:

$$y_{p_a_α} := t_{fs} + h \cdot \left(\frac{C_{ad_α} - A_{fs} \cdot F_{yd}}{A_w \cdot F_{yd}} \right) = -0,0228 \text{ m}$$

$$y_{c_a_α} := \frac{b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \frac{t_{fs}}{2} + (y_{p_a_α} - t_{fs}) \cdot t_w \cdot \left(\frac{y_{p_a_α} - t_{fs}}{2} + t_{fs} \right)}{b_{fs} \cdot t_{fs} + (y_{p_a_α} - t_{fs}) \cdot t_w} = 0,8252 \text{ cm}$$

$$y_{t_a_α} := \frac{b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \frac{t_{fi}}{2} + (h - (y_{p_a_α} - t_{fs})) \cdot t_w \cdot \left(\frac{h - (y_{p_a_α} - t_{fs})}{2} + t_{fi} \right)}{b_{fi} \cdot t_{fi} + (h - (y_{p_a_α} - t_{fs})) \cdot t_w} = 18,4967 \text{ cm}$$

Cálculo do momento resistente:

Figura 4-30 – Viga mista principal: Interações – Parte II

$$\text{if } C_{ad_\alpha} \leq A_{fs} \cdot F_{yd}$$

$$M_{rd_\alpha} := C_{ad_\alpha} \cdot (d - y_{t_ms_\alpha} - y_{c_ms_\alpha}) + C_{cd_\alpha} \cdot \left(t_c + h_f - \frac{a}{2} + d - y_{t_ms_\alpha} \right)$$

else

$$M_{rd_\alpha} := C_{ad_\alpha} \cdot (d - y_{t_a_\alpha} - y_{c_a_\alpha}) + C_{cd_\alpha} \cdot \left(t_c + h_f - \frac{a_\alpha}{2} + d - y_{t_a_\alpha} \right)$$

$$M_{rd_\alpha} = 1006,4601 \text{ kNm}$$

$$\text{if } M_{SD} \leq M_{rd_\alpha}$$

$$Mom_parc = \text{"OK"}$$

else

$$Mom_parc = \text{"N\~{a}o OK"} \quad Mom_parc = \text{"OK"}$$

$$IU_{Mom_parc} := \frac{M_{SD}}{M_{rd_\alpha}} = 0,9904$$

VERIFICAÇÃO DOS CONECTORES

$$Q_{rd} := \min \left(\left(\frac{1}{2} \cdot \frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{Y_{cs}} \cdot \frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{Y_{cs}} \right) \right) = 70,5987 \text{ kN} \quad \text{Força resistente do conector}$$

$$n_{conect} := \text{round} \left(\frac{F_{hd}}{Q_{rd}} + 0,499; 0 \right) = 46 \quad \text{Número de conectores necessários na interação completa}$$

$$n_{conect_\alpha} := \text{round} \left(\alpha \cdot \frac{F_{hd}}{Q_{rd}} + 0,499; 0 \right) = 25 \quad \text{Número de conectores necessários na interação parcial}$$

$$S_{cs_l} := \frac{\frac{L}{2}}{n_{conect} \cdot n_{fila_conect}} = 10,8696 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento longitudinal entre conectores}$$

$$S_{cs_l_\alpha} := \frac{\frac{L}{2}}{n_{conect_\alpha} \cdot n_{fila_conect}} = 20 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento longitudinal entre conectores}$$

$$S_{cs_t} := 4 \cdot d_{cs} = 7,6 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento transversal entre conectores}$$

Verificações dos conectores - Págs 222 a 225

Figura 4-31 – Viga mista principal: Verificação dos Conectores – Parte I

```

if hf ≤ 75 mm
    v1 := "OK"
else
    v1 := "Não OK"

```

Altura das nervuras da forma igual ou inferior a 75mm.

```

if nerv = "PARALELA"
    if hf ≥ 40 mm
        if nfila_conect = 1
            if bnervura ≥ 50 mm
                v2 := "OK"
            else
                v2 := "Não OK"
        else
            if bnervura ≥ 50 mm + 4 · dcs · (nfila_conect - 1)
                v2 := "OK"
            else
                v2 := "Não OK"
        else
            v2 := "OK"
    else
        v2 := "OK"

```

Nas formas com nervuras paralelas, quando a altura nominal da nervura for maior ou igual a 40 mm, a largura média da nervura sobre o perfil não oppode ser inferior a 50 mm, quando houver apenas um pino na seção transversal. Para cada pino adicional, essa largura deve ser acrescida de 4 vezes o diâmetro do pino.

```

if tc ≥ 50 mm
    v3 := "OK"
else
    v3 := "Não OK"

```

Cobrimento de concreto acima do topo da forma de aço igual ou superior a 50 mm.

```

if hcs - hf ≥ 40 mm
    v4 := "OK"
else
    v4 := "Não OK"

```

Projeção dos conectores acima do topo da forma, depois de instalados, igual ou superior a 40 mm.

```

if nerv = "PERPENDICULAR"
    if sfix_perp ≤ 450 mm
        v5 := "OK"
    else
        v5 := "Não OK"
else
    v5 := "OK"

```

Em formas com nervuras perpendiculares ao perfil, intervalo de ancoragem não deve ser superior a 450mm.

```

if dcs ≤ 19 mm
    v6 := "OK"
else
    v6 := "Não OK"

```

Laje de concreto deve ser ligada ao perfil de aço por conectores tipo pino com cabeça, de diâmetro igual ou inferior a 19 mm.

Figura 4-32 – Viga mista principal: Verificação dos Conectores – Parte II

<pre> if (cob_{lat} ≥ 25 mm) ∧ (cob_{sup} ≥ 10 mm) v₇ := "OK" else v₇ := "Não OK" </pre>	<p>Conectores devem ficar completamente embutidos no concreto da laje, com cobrimento superior mínimo de 10 mm e cobrimento lateral mínimo de 25 mm, excetuando-se conectores em nervuras de formas de aço.</p> <p style="text-align: right;">v₇ = "OK"</p>
<pre> if h_{cs} ≥ 4 · d_{cs} v₈ := "OK" else v₈ := "Não OK" </pre>	<p>Conectores tipo pino com cabeça devem ter comprimento mínimo igual a 4 vezes o diâmetro.</p> <p style="text-align: right;">v₈ = "OK"</p>
<pre> if fixa = "DIRETA" if n_{fila_conect} > 1 if t_{fs} ≥ $\frac{d_{cs}}{2}$ v₉ := "OK" else v₉ := "Não OK" else v₉ := "OK" else v₉ := "OK" </pre>	<p>Os conectores tipo pino com cabeça devem ser fixados nas mesas, diretamente sobre a alma do perfil, caso contrário a mesa deve ter espessura maior do que o diâmetro do conector dividido por 2,5.</p> <p style="text-align: right;">v₉ = "OK"</p>
<pre> if S_{cs_l} ≤ 8 · (t_c + h_f) v₁₀ := "OK" else v₁₀ := "Não OK" </pre>	<p>Para os conectores, o espaçamento entre linhas, na direção longitudinal, entre centros de conectores, deve ser menor ou igual a 8 vezes a espessura total da laje.</p> <p style="text-align: right;">v₁₀ = "OK"</p>
<pre> if nerv = "PERPENDICULAR" if S_{cs_l} ≤ 915 mm v₁₁ := "OK" else v₁₁ := "Não OK" else v₁₁ := "OK" </pre>	<p>Em formas com nervuras perpendiculares ao perfil, o espaçamento entre conectores também não pode ser superior a 915 mm.</p> <p style="text-align: right;">v₁₁ = "OK"</p>
<pre> if S_{cs_l} ≥ 4 · d_{cs} v₁₂ := "OK" else v₁₂ := "Não OK" </pre>	<p>O espaçamento entre conectores, no sentido longitudinal da viga, não pode ser inferior a 4 vezes o diâmetro dos conectores, para laje com forma de aço incorporada.</p> <p style="text-align: right;">v₁₂ = "OK"</p>
<pre> if S_{cs_t} ≥ 4 · d_{cs} v₁₃ := "OK" else v₁₃ := "Não OK" </pre>	<p>O espaçamento entre conectores, no sentido transversal da viga, não pode ser inferior a 4 vezes o diâmetro dos conectores, para laje com forma de aço incorporada.</p> <p style="text-align: right;">v₁₃ = "OK"</p>

Figura 4-33 – Viga mista principal: Verificação dos Conectores – Parte III

VERIFICAÇÃO DA FLECHA

□

$$b_{tr} := \frac{b}{\alpha_E} = 32,5895 \text{ cm} \quad \text{Largura efetiva transformada}$$

$$b_{tr_LD} := \frac{b}{\alpha_{E_LD}} = 10,8632 \text{ cm} \quad \text{Largura efetiva transformada para efeitos de longa duração}$$

Cálculo da linha neutra transformada:

$$A_{c1} := b_{tr} \cdot t_c = 228,1264 \text{ cm}^2$$

$$A_{c1_LD} := b_{tr_LD} \cdot t_c = 76,0421 \text{ cm}^2$$

$$y_{tr_i} := \frac{A_a \cdot y_{CG} + A_{c1} \cdot \left(d + h_f + \frac{t_c}{2} \right)}{A_a + A_{c1}} = 50,3356 \text{ cm}$$

$$y_{tr_i_LD} := \frac{A_a \cdot y_{CG} + A_{c1_LD} \cdot \left(d + h_f + \frac{t_c}{2} \right)}{A_a + A_{c1_LD}} = 41,0995 \text{ cm}$$

Linha neutra passando pela laje de concreto:

$$a_{tr} := \frac{-A_a + \sqrt{A_a^2 + 2 \cdot b_{tr} \cdot A_a \cdot \left(d + h_f + t_c - y_{CG} \right)}}{b_{tr}} = 12,8105 \text{ cm}$$

$$a_{tr_LD} := \frac{-A_a + \sqrt{A_a^2 + 2 \cdot b_{tr_LD} \cdot A_a \cdot \left(d + h_f + t_c - y_{CG} \right)}}{b_{tr_LD}} = 19,2131 \text{ cm}$$

$$y_{tr} := d + h_f + t_c - a_{tr} = 51,9895 \text{ cm}$$

$$y_{tr_LD} := d + h_f + t_c - a_{tr_LD} = 45,5869 \text{ cm}$$

$$I_{tr} := I_a + A_a \cdot \left(y_{tr} - y_{CG} \right)^2 + \frac{b_{tr} \cdot a_{tr}^3}{12} + b_{tr} \cdot a_{tr} \cdot \left(\frac{a_{tr}}{2} \right)^2 = 1,3884 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

$$I_{tr_LD} := I_a + A_a \cdot \left(y_{tr_LD} - y_{CG} \right)^2 + \frac{b_{tr_LD} \cdot a_{tr_LD}^3}{12} + b_{tr_LD} \cdot a_{tr_LD} \cdot \left(\frac{a_{tr_LD}}{2} \right)^2 = 1,1172 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

Figura 4-34 – Viga mista principal: Verificação da Flecha– Parte I

$$I_{ef_c} := I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr} - I_a) = 1,1517 \cdot 10^5 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetiva}$$

$$I_{ef_c_LD} := I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr_LD} - I_a) = 95087,9578 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetiva}$$

Linha neutra passando pelo perfil:

$$y_{tr_p} := y_{tr_i} = 50,3356 \text{ cm}$$

$$y_{tr_p_LD} := y_{tr_i_LD} = 41,0995 \text{ cm}$$

$$I_{tr_p} := I_a + A_a \cdot (y_{tr_p} - y_{CG})^2 + \frac{b_{tr} \cdot t_c^3}{12} + A_{cl} \cdot \left(d + h_f + \frac{t_c}{2} - y_{tr_p} \right)^2 = 1,3579 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

$$I_{tr_p_LD} := I_a + A_a \cdot (y_{tr_p_LD} - y_{CG})^2 + \frac{b_{tr_LD} \cdot t_c^3}{12} + A_{cl_LD} \cdot \left(d + h_f + \frac{t_c}{2} - y_{tr_p_LD} \right)^2 = 1,0149 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

$$I_{ef_p} := I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr_p} - I_a) = 1,1292 \cdot 10^5 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo}$$

$$I_{ef_p_LD} := I_a + \sqrt{\alpha} \cdot (I_{tr_p_LD} - I_a) = 87508,8218 \text{ cm}^4 \quad \text{Momento de inércia efetivo para longa duração}$$

Cálculo da Flecha:

$$\delta_{Ga} := \frac{5 \cdot q_{Ga_SK} \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_a} = 0,8964 \text{ cm} \quad \text{Flecha antes da cura do concreto}$$

$$\delta_{CF} := \delta_{Ga} = 0,8964 \text{ cm} \quad \text{Contra-flecha}$$

if $y_{tr_i} \leq d + h_f$

$$\delta_{CP_SC} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_p}}$$

else

$$\delta_{CP_SC} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_c}} \quad \delta_{CP_SC} = 0,6486 \text{ cm} \quad \text{Flecha após a cura do concreto}$$

$$\delta_t := \delta_{Ga} + \delta_{CP_SC} - \delta_{CF} = 0,6486 \text{ cm} \quad \text{Flecha total}$$

if $y_{tr_i_LD} \leq d + h_f$

Figura 4-35 – Viga mista principal: Verificação da Flecha– Parte II

$$\delta_{CP_SC_LD} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_p_LD}}$$

else

$$\delta_{CP_SC_LD} := \frac{5 \cdot (q_{SK} - q_{Ga_SK}) \cdot L^4}{384 \cdot E_s \cdot I_{ef_c_LD}} \quad \delta_{CP_SC_LD} = 0,837 \text{ cm} \quad \text{Flecha após a cura do concreto (longa duração)}$$

$$\delta_{t_LD} := \delta_{Ga} + \delta_{CP_SC_LD} - \delta_{CF} = 0,837 \text{ cm} \quad \text{Flecha total}$$

if $\delta_t \leq \frac{L}{350}$		if $\delta_{t_LD} \leq \frac{L}{350}$	
V_Flecha := "OK"		V_Flecha_LD := "OK"	
else		else	
V_Flecha := "Não OK"	V_Flecha = "OK"	V_Flecha_LD := "Não OK"	V_Flecha_LD = "OK"

$IU_{Flecha} := \frac{\delta_t}{\left(\frac{L}{350}\right)} = 0,227$	$IU_{Flecha_LD} := \frac{\delta_{t_LD}}{\left(\frac{L}{350}\right)} = 0,2929$
--	---

VERIFICAÇÃO DA TENSÃO DE SERVIÇO

□

if $y_{tr_i} \leq d + h_f$		
$W_{tr_i} := \frac{I_{tr_p}}{y_{tr_p}}$		
else		
$W_{tr_i} := \frac{I_{tr}}{y_{tr}}$	$W_{tr_i} = 2697,7893 \text{ cm}^3$	Módulo elástico transformado

$W_{ef_i} := W_a + \sqrt{\alpha} \cdot (W_{tr_i} - W_a) = 2465,4787 \text{ cm}^3$	Módulo elástico efetivo
---	-------------------------

if $\frac{M_{Ga_sk}}{W_a} + \frac{(M_{SK} - M_{Ga_sk})}{W_{ef_i}} \leq f_y$	
V_TS := "OK"	
else	
V_TS := "Não OK"	V_TS = "OK"

$$IU_{TS} := \frac{\frac{M_{Ga_sk}}{W_a} + \frac{(M_{SK} - M_{Ga_sk})}{W_{ef_i}}}{f_y} = 0,9505$$

Figura 4-36 – Viga mista principal: Verificação da Tensão de Serviço – Parte I

ARMADURA DE COSTURA

$L_m := \frac{L}{2} = 5 \text{ m}$	Comprimento adotado entre extremidade e momento máximo
$n_m := 26$	Número de conectores efetivamente adotado no vão entre extremidade e momento máximo
$b_1 := 8 \text{ m} = 8 \text{ m}$	Largura efetiva da laje em um sentido.
$b_2 := 8 \text{ m} = 8 \text{ m}$	Largura efetiva da laje em um sentido.
$f_{ys} := 500 \text{ MPa}$	Tensão de escoamento do aço da armadura
$f_{yF} := 280 \text{ MPa}$	Tensão de escoamento do aço da forma
$\gamma_s := 1,15$	Coefficiente de ponderação de resistência do aço da armadura
$A_f := 9,97 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$	Área da forma de aço no plano de cisalhamento, para forma com nervuras perpendiculares ao perfil de aço. Para nervuras paralelas ao perfil, $A_f = 0$.
$\varphi_{\text{cost}} := 3 \text{ mm}$	Diâmetro das barras da armadura de costura
$S_{\text{cost}} := 150 \text{ mm}$	Espaçamento entre eixos das barras da armadura de costura
$n_{\text{bar_cost}} := \left\lceil \text{round} \left(\frac{1 \text{ m}}{S_{\text{cost}}} + 0,5 ; 0 \right) \right\rceil \cdot 2 = 14$	Número de barras colocadas por metro
Agreg:= 25 mm	Dimensão máxima do agregado graúdo.
$A_s := 2 \cdot 0,79 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} = 1,58 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$	Área total de armadura transversal ao eixo da viga (inclui tela da laje, e qualquer armadura a flexão existente).

VERIFICAÇÃO DA ARMADURA NECESSÁRIA

$\alpha := n_m \cdot \frac{Q_{rd}}{F_{hd}} = 0,5759$ Grau de interação com a quantidade efetivamente instalada de conectores

$H_{Sd} := \frac{\left(\frac{n_m \cdot \alpha \cdot F_{hd}}{n_{\text{connect}}} \right) \cdot \left(\frac{b_1}{b_1 + b_2} \right)}{L_m} = 103,7493 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ Força de cisalhamento atuante de cálculo

$\left(\frac{2}{3} \right)$

Figura 4-37 – Viga mista principal: Verificação da Tensão de Serviço – Parte II

$$f_{ck_inf} = 0,21 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{1/3} \quad MPa = 2,0275 MPa \quad \text{Resistência característica inferior do concreto}$$

$$H_{Rd_1} = 0,6 \cdot t_c \cdot \frac{f_{ck_inf}}{\gamma_c} + A_s \cdot \frac{f_{ys}}{\gamma_s} + A_f \cdot \frac{f_{yF}}{\gamma_{a1}} = 383,3033 \frac{kN}{m} \quad \text{Força resistente ao cisalhamento do conjunto forma, armadura, concreto}$$

$$H_{Rd_2} = 0,2 \cdot t_c \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} + 0,6 \cdot A_f \cdot \frac{f_{yF}}{\gamma_{a1}} = 452,2691 \frac{kN}{m} \quad \text{Força resistente ao esmagamento do concreto}$$

$$H_{Rd} = \min(H_{Rd_1}, H_{Rd_2}) = 383,3033 \frac{kN}{m} \quad \text{Força de cisalhamento resistente de cálculo}$$

$$IU_{costura} = \frac{H_{Sd}}{H_{Rd}} = 0,2707$$

$$l_{b_cost} = \frac{\left(\frac{n_m \cdot \alpha \cdot F_{hd}}{n_{conect}} \right) \cdot \left(\frac{b_1}{b_1 + b_2} \right)}{0,85 \cdot F_{cd} \cdot t_c} + \max \left(\left(10 \cdot \varphi_{cost} \cdot 100 \text{ mm} \cdot \frac{\varphi_{cost}}{4} \cdot \left(\frac{f_{ys}}{\gamma_s} \right) \right), \left(1,575 \cdot \frac{f_{ck_inf}}{\gamma_c} \right) \right) = 0,5498 \text{ m} \quad \text{Comprimento mínimo de ancoragem}$$

VERIFICAÇÕES GEOMÉTRICAS

```

if nerv = "PERPENDICULAR"
  if A_s ≥ max(0,001 · t_c, 0,000150 m)
    v_1_cost = "OK"
  else
    v_1_cost = "Não OK"
else
  if A_s ≥ max(0,002 · t_c, 0,000150 m)
    v_1_cost = "OK"
  else
    v_1_cost = "Não OK"

```

A área da armadura de costura deve ser, no mínimo, 150 mm²/m, não podendo ser inferior a 0,2% da área da seção de cisalhamento por plano de cisalhamento para lajes maciças, mistas com nervuras paralelas ao perfil e lajes com pré-lajes de concreto, e 0,1% no caso de lajes com nervuras perpendiculares ao perfil.

v_1_cost = "OK"

```

if φ_cost ≤ t_c / 8
  v_2_cost = "OK"
else
  v_2_cost = "Não OK"

```

As barras da armadura devem ter diâmetro máximo de 1/8 da altura t_c da laje.

v_2_cost = "OK"

```

if S_cost ≤ 400 mm
  v_3_cost = "OK"
else
  v_3_cost = "Não OK"

```

O espaçamento máximo entre eixos é 400mm.

v_3_cost = "OK"

Figura 4-38 – Viga mista principal: Verificação da Tensão de Serviço – Parte III

$\text{if } S_{\text{cost}} \geq \max\left(\left(20 \text{ mm } \varphi_{\text{cost } 1,2 \cdot \text{Agreg}}\right)\right)$ O espaçamento mínimo entre faces é o maior dentre 20mm, o diâmetro das barras ou 1,2 vezes a dimensão máxima do agregado graúdo.
 $v_{4_cost} := \text{"OK"}$
 else
 $v_{4_cost} := \text{"Não OK"}$ $v_{4_cost} = \text{"OK"}$

ARMADURA DE CONTINUIDADE

□

$A_{\text{tela}} := 0,79 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ Tela da laje

$\varphi_{\text{cont}} := 8 \text{ mm}$ Diâmetro das barras da armadura de continuidade.

$S_{\text{cont}} := 330 \text{ mm}$ Espaçamento entre eixos das barras da armadura de costura

$n_{\text{bar_cont}} := \left(\text{round} \left(\frac{1 \text{ m}}{S_{\text{cont}}} + 0,5 ; 0 \right) \right) = 4$ Número de barras colocadas por metro

$F_{\text{ct_ef}} := 3 \text{ MPa}$ Resistência média efetiva à tração do concreto quando começam as primeiras fissuras

$B_t := \frac{L+L}{32} = 0,625 \text{ m}$ Largura de trabalho da laje

$l_{\text{b_cont}} := \frac{L}{8} = 1,25 \text{ m}$ Comprimento mínimo das barras da armadura de continuidade

$w_k := 0,3 \text{ mm}$ Abertura máxima característica das fissuras para ambiente urbano

$\text{Agreg} := 25 \text{ mm}$ Dimensão máxima do agregado graúdo.

VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DA ARMADURA

$$A_{\text{s_cont_nec}} := \frac{0,72 \cdot F_{\text{ct_ef}} \cdot B_t \cdot t_c}{\min \left(f_{\text{ys}} \cdot \left[810 \cdot \frac{w_k \cdot \left(\frac{f_{\text{ck}}}{\text{MPa}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)}}{\varphi_{\text{cont}}} \right] \right)} = 1,9389 \frac{1}{\text{m}} \text{ cm}^2$$
 Área necessária da armadura de continuidade.

$$A_{\text{cont_inst}} := \left(\frac{n_{\text{bar_cont}} \cdot \varphi_{\text{cont}} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{4}}{1 \text{ m}} \right) + A_{\text{tela}} = 2,8006 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Figura 4-39 – Viga mista principal: Armadura de Continuidade – Parte I

$$IU_{\text{continuidade}} = \frac{A_{\text{s_cont_nec}}}{A_{\text{cont_inst}}} = 0,6923$$

VERIFICAÇÕES GEOMÉTRICAS

```

if nerv="PERPENDICULAR"
  if A_cont_inst ≥ max((0,001·t_c 0,000150m))
    v_1_cont="OK"
  else
    v_1_cont="Não OK"
else
  if A_cont_inst ≥ max((0,002·t_c 0,000150m))
    v_1_cont="OK"
  else
    v_1_cont="Não OK"

    v_1_cont="OK"

  if φ_cont ≤ t_c/8
    v_2_cont="OK"
  else
    v_2_cont="Não OK"

    v_2_cont="OK"

  if S_cont ≤ 400 mm
    v_3_cont="OK"
  else
    v_3_cont="Não OK"

    v_3_cont="OK"

  if S_cont ≥ max((20 mm φ_cont 1,2·Agreg))
    v_4_cont="OK"
  else
    v_4_cont="Não OK"

    v_4_cont="OK"

```

A área da armadura de continuidade deve ser, no mínimo, 150 mm²/m, não podendo ser inferior a 0,2% da área da seção de cisalhamento por plano de cisalhamento para lajes maciças, mistas com nervuras paralelas ao perfil e lajes com pré-lajes de concreto, e 0,1% no caso de lajes com nervuras perpendiculares ao perfil.

As barras da armadura devem ter diâmetro máximo de 1/8 da altura t_c da laje.

O espaçamento máximo entre eixos é 400mm.

O espaçamento mínimo entre faces é o maior dentre 20mm, o diâmetro das barras ou 1,2 vezes a dimensão máxima do agregado graúdo.

RESUMO DOS RESULTADOS

☐

Verificações de esbeltez:

viga="Compacto" alma_V="Compacto" mesa_sup="Compacto"

alma="Compacto" mesa_inf="Compacto"

Verificações antes da cura do concreto:

M_{rd_viga} = 645,6205 kN m IU_{Mom_viga} = 0,4058 Mom_viga = "OK"

Figura 4-40 – Viga mista principal: Armadura de Continuidade – Parte II

$$V_{rd_viga} = 896,3665 \text{ kN} \quad IU_{Cort_viga} = 0,0877 \quad Cort_viga = \text{"OK"}$$

Verificação do momento da viga mista:

$$M_{rd} = 1136,315 \text{ kN m} \quad IU_{Mom_comp} = 0,8772 \quad Mom_comp = \text{"OK"} \quad \alpha = 0,5759$$

$$M_{rd_alpha} = 1006,4601 \text{ kN m} \quad IU_{Mom_parc} = 0,9904 \quad Mom_parc = \text{"OK"} \quad \alpha_{min} = 0,5487$$

Verificações dos conectores:

$$n_{conect} = 46 \quad n_{conect_alpha} = 25$$

$$S_{cs_l} = 10,8696 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento longitudinal entre conectores na interação completa}$$

$$S_{cs_l_alpha} = 20 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento longitudinal entre conectores na interação parcial}$$

$$S_{cs_t} = 7,6 \text{ cm} \quad \text{Espaçamento transversal entre conectores}$$

$$\begin{aligned} v_1 = \text{"OK"} & \quad v_2 = \text{"OK"} & \quad v_3 = \text{"OK"} & \quad v_4 = \text{"OK"} & \quad v_5 = \text{"OK"} \\ v_6 = \text{"OK"} & \quad v_7 = \text{"OK"} & \quad v_8 = \text{"OK"} & \quad v_9 = \text{"OK"} & \quad v_{10} = \text{"OK"} \\ v_{11} = \text{"OK"} & \quad v_{12} = \text{"OK"} & \quad v_{13} = \text{"OK"} & & \end{aligned}$$

Verificação da flecha:

$$\delta_t = 0,6486 \text{ cm} \quad IU_{Flecha} = 0,227 \quad V_{Flecha} = \text{"OK"}$$

$$\delta_{t_LD} = 0,837 \text{ cm} \quad IU_{Flecha_LD} = 0,2929 \quad V_{Flecha_LD} = \text{"OK"}$$

Verificação da tensão de serviço:

$$\frac{M_{Ga_sk}}{W_a} + \frac{(M_{SK} - M_{Ga_sk})}{W_{ef_i}} = 327,9305 \text{ MPa} \quad IU_{TS} = 0,9505 \quad V_{TS} = \text{"OK"}$$

Verificação da armadura de costura:

$$IU_{costura} = 0,2707 \quad v_{1_cost} = \text{"OK"} \quad v_{2_cost} = \text{"OK"} \quad v_{3_cost} = \text{"OK"} \quad v_{4_cost} = \text{"OK"}$$

Verificação da armadura de continuidade:

$$IU_{continuidade} = 0,6923 \quad v_{1_cont} = \text{"OK"} \quad v_{2_cont} = \text{"OK"} \quad v_{3_cont} = \text{"OK"} \quad v_{4_cont} = \text{"OK"}$$

Figura 4-41 – Viga mista principal: Armadura de Continuidade – Parte III

4.4 Dimensionamento dos pilares mistos

Para os pilares do edifício, foram utilizados perfis mistos totalmente revestidos. Os esforços compressivos foram calculados com base nas reações de apoio das vigas VMP1 e VMP2, calculadas anteriormente, somadas ao peso próprio do perfil. Desta forma, considerando-se a seção mais crítica do pilar, em sua base, temos um esforço total equivalente de:

$$P_{sk} = (3 \times 10 \times PP_{\text{pilar_misto}}) + 2 \times V_{sk_VMP1} + 2 \times V_{sk_VMP2}.$$

$$P_{sd} = 1,4 \times (3 \times 10 \times PP_{\text{pilar_misto}}) + 2 \times V_{sd_VMP1} + 2 \times V_{sd_VMP2}.$$

Foram avaliados, para o perfil metálico do pilar, perfis soldados da série CS 350.

Considerando-se o primeiro perfil da série CS 350 conforme norma NBR 5884 (CS 350 x 89), e dimensões estimadas inicialmente do bloco de concreto de 50cm x 50cm, obtêm-se os seguintes esforços na seção da base do pilar misto:

$$P_{sk} = (3 \times 10 \times (0,0891 + 0,5 \times 0,5 \times 2,5)) + 2 \times 213,6 + 2 \times 71,2 = 5930,7 \text{ kN}.$$

$$P_{sd} = 1,4 \times (3 \times 10 \times (0,0891 + 0,5 \times 0,5 \times 2,5)) + 2 \times 213,6 + 2 \times 71,2 = 8302,9 \text{ kN}.$$

A partir destes esforços, deve ser realizado o dimensionamento do pilar misto considerando-se os critérios de:

- Cobrimentos mínimos de forma a evitar flambagem local do perfil metálico;
- Resistência do pilar misto à compressão pura;
- Resistência e disposição dos conectores na região de introdução de carga;
- Verificações geométricas e limites de aplicabilidade.

Para a verificação dos cobrimentos, foram consideradas ambas as direções ortogonais do bloco de concreto e suas distâncias ao perfil de aço adotado, verificando-se os limites mínimos estabelecidos por norma para os perfis mistos completamente revestidos. Para o pilar em questão, os valores resultantes de cobertura, de 70 mm em ambas as direções atendem completamente aos limites mínimos de 40 mm estabelecidos por norma.

Para verificação da resistência do pilar misto à compressão pura avalia-se, inicialmente, o fator de contribuição do perfil, de forma a determinar-se a metodologia de cálculo a ser adotada. Neste caso, o fator calculado, de 0,377, indica a necessidade de cálculo conforme metodologia de pilar misto. O valor obtido para a resistência de cálculo à compressão pura, considerando-se comprimentos destravados do pilar de 3m, em cada direção, é de 8727,2, superior ao esforço máximo de projeto, sendo o pilar, portanto, aprovado. Como forma de otimizar o perfil, realizou-se, ainda, redução do bloco para as dimensões de 49 cm x 49 cm, permanecendo aprovado, com um esforço total resistente de é de 8486,7 kN.

Nas regiões de introdução de cargas, onde ocorrem variações localizadas dos esforços solicitantes devidas às ligações das vigas ao pilar misto, foram verificadas a quantidade e resistência dos conectores, bem como o comprimento da região, de forma a evitar a ocorrência de escorregamento significativo na interface entre o concreto e o aço. Desta forma, definiu-se uma região de introdução de carga de 1 metro, com 6 conectores de 19 mm de diâmetro.

Como forma de verificar a aplicabilidade das metodologias de cálculo adotadas no dimensionamento do pilar misto, os seguintes aspectos foram verificados e atendidos:

- O pilar misto dimensionado possui dupla simetria e seção transversal constante ao longo do comprimento.
- O fator de contribuição do perfil de aço (0,377), determinado pela razão entre a força axial resistente de cálculo do perfil de aço e a força axial resistente de cálculo da seção transversal mista à plastificação total está entre os limites de 0,2 e 0,9.
- A esbeltez reduzida do pilar, de 0,5, é inferior a 2,0.
- A área da seção transversal da armadura longitudinal (8,04 cm²), é superior à 0,3% da área de concreto é inferior à 4% desta.

- A relação entre altura e largura da seção transversal mista (1,0), está entre os limites de 0,2 e 5,0.

O detalhamento do pilar misto dimensionado, inclusive região de introdução de carga, é apresentado na Figura 7-6, na seção 7.

A memória de cálculo desenvolvida para o dimensionamento do pilar misto é apresentada da Figura 4-42 à Figura 4-49.

DADOS DE ENTRADA



1 - Geometria do pilar misto

CS 350x89	Nome do perfil metálico
peso:= 89,1 $\frac{kgf}{m}$	Peso linear do perfil
$b_{fs} := 35,0 \text{ cm}$	Largura da flange superior
$t_{fs} := 1,25 \text{ cm}$	Espessura da flange superior
$b_{fi} := 35,0 \text{ cm}$	Largura da flange inferior
$t_{fi} := 1,25 \text{ cm}$	Espessura da flange inferior
$t_w := 0,8 \text{ cm}$	Espessura da alma
$d := 35,0 \text{ cm}$	Altura do perfil
$A_a := 113,5 \text{ cm}^2$	Área do perfil
$I_{ax} := 27217 \text{ cm}^4$	Inércia do perfil no eixo x-x
$I_{ay} := 8934 \text{ cm}^4$	Inércia do perfil no eixo y-y
$h_c := 49 \text{ cm}$	Largura total do pilar misto
$b_c := 49 \text{ cm}$	Altura total do pilar misto
$K_x := 1$	Coefficiente de flambagem no eixo X
$K_y := 1$	Coefficiente de flambagem no eixo Y

Figura 4-42 – Pilares mistos: Dados de entrada – Parte I

$L_x := 350 \text{ cm}$ Comprimento destravado do pilar no eixo X
 $L_y := 350 \text{ cm}$ Comprimento destravado do pilar no eixo Y

2 - Armadura longitudinal (inércia calculada automaticamente para duplamente simétricas)

$d_{as} := 16 \text{ mm}$ Diâmetro das barras
 $n_{as} := 4$ Número de barras total
 $cob_{s_x} := 35 \text{ mm}$ Cobrimento de concreto adotado no eixo x
 $cob_{s_y} := 35 \text{ mm}$ Cobrimento de concreto adotado no eixo y
 $A_s := n_{as} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_{as}^2}{4} \right) = 8,0425 \text{ cm}^2$ Área transversal da armadura longitudinal
 $I_{sx} := A_s \cdot \left(\frac{h_c}{2} - cob_{s_y} - \frac{d_{as}}{2} \right)^2 = 3281,6524 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da armadura longitudinal no eixo x-x
 $I_{sy} := A_s \cdot \left(\frac{b_c}{2} - cob_{s_x} - \frac{d_{as}}{2} \right)^2 = 3281,6524 \text{ cm}^4$ Momento de inércia da armadura longitudinal no eixo y-y

3 - Propriedades geométricas do concreto:

$A_c := h_c \cdot b_c - A_a - A_s = 2279,4575 \text{ cm}^2$ Área transversal de concreto
 $I_{cx} := \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} - I_{ax} - I_{sx} = 4,499 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$ Momento de inércia do concreto no eixo x-x
 $I_{cy} := \left(\frac{h_c \cdot b_c^3}{12} - I_{ay} - I_{sy} \right) = 4,6818 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$ Momento de inércia do concreto no eixo y-y

4 - Propriedades dos materiais

- Aço do perfil -
 $E_a := 200 \text{ GPa}$ Módulo de elasticidade do material da viga
 $f_y := 345 \text{ MPa}$ Tensão de escoamento do material da viga
 - Aço da armadura -
 $E_s := 210 \text{ GPa}$ Módulo de elasticidade do material da viga
 $f_{ys} := 500 \text{ MPa}$ Tensão de escoamento do material da viga

Figura 4-43 – Pilares mistos: Dados de entrada – Parte II

- Conectores -

$f_{ucs} := 415 \text{ MPa}$ Tensão de ruptura do material dos conectores

- Concreto -

$f_{ck} := 40 \text{ MPa}$ Tensão característica do concreto

5 - Conectores

$d_{cs} := 19 \text{ mm}$ Diâmetro dos conectores

$R_g := 1$ Coeficiente da atuação de grupo de conectores

$R_p := 1$ Coeficiente da posição do conectores

$cob_{lat} := 25 \text{ mm}$ Cobrimento lateral do concreto

$h_{cs} := 80 \text{ mm}$ Altura do conector

$n_{fila_conect} := 1$ Número de linhas de conectores

6 - Coeficientes

$\gamma_c := 1,4$ Fator de segurança para o concreto

$\gamma_{al} := 1,1$ Fator de segurança para o escoamento do aço do perfil

$\gamma_{as} := 1,15$ Fator de segurança para o escoamento do aço da armadura

$\gamma_{cs} := 1,25$ Fator de segurança para os conectores

7 - Cargas

$V_{SD_1} := 299,04 \text{ kN}$ Reação de apoio de projeto da viga VMP1

$V_{SD_2} := 99,68 \text{ kN}$ Reação de apoio de projeto da viga VMP2

$V_{SK_1} := 213,6 \text{ kN}$ Reação de apoio nominal (de serviço) da viga VMP1

$V_{SK_2} := 71,2 \text{ kN}$ Reação de apoio nominal (de serviço) da viga VMP2

$v_{SD_TOTAL} := 2 \cdot V_{SD_1} + 2 \cdot V_{SD_2} = 797,44 \text{ kN}$ Esforço cortante total de projeto

$v_{SK_TOTAL} := 2 \cdot V_{SK_1} + 2 \cdot V_{SK_2} = 569,6 \text{ kN}$ Esforço cortante total característico

Figura 4-44 – Pilares mistos: Dados de entrada – Parte III

8 - Dados do edifício

$n_{\text{andar}} := 10$ Número de pavimentos

$h_{\text{andar}} := 350 \text{ cm}$ Altura de cada pavimento

$$PP_{\text{pilar}} := n_{\text{andar}} \cdot h_{\text{andar}} \cdot \left(\text{peso} + A_c \cdot 2500 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \right) = 226,1782 \text{ kN}$$

$N_{c_Sd} := n_{\text{andar}} \cdot v_{SD_TOTAL} + 1,4 \cdot PP_{\text{pilar}} = 8291,0494 \text{ kN}$ Esforço compressivo de projeto total no primeiro andar.

CÁLCULOS GEOMÉTRICOS

☞

$h := d - t_{fs} - t_{fi} = 32,5 \text{ cm}$ Altura entre flanges do perfil

$A_{fs} := b_{fs} \cdot t_{fs} = 43,75 \text{ cm}^2$ Área da flange superior

$A_w := h \cdot t_w = 26 \text{ cm}^2$ Área da alma

$A_{fi} := b_{fi} \cdot t_{fi} = 43,75 \text{ cm}^2$ Área da flange inferior

$$Y_{CG} := \frac{b_{fi} \cdot t_{fi} \cdot \frac{t_{fi}}{2} + h \cdot t_w \cdot \left(\frac{h}{2} + t_{fi} \right) + b_{fs} \cdot t_{fs} \cdot \left(\frac{t_{fs}}{2} + h + t_{fi} \right)}{b_{fi} \cdot t_{fi} + h \cdot t_w + b_{fs} \cdot t_{fs}} = 17,5 \text{ cm}$$
 Altura do CG do perfil

$$A_{cs} := \frac{\pi \cdot d_{cs}^2}{4} = 0,0003 \text{ m}^2$$
 Área do conector

CÁLCULOS DE MATERIAIS

☞

$$F_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 2,8571 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$
 Tensão admissível de cálculo do concreto

$$F_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_{al}} = 31,3636 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$
 Tensão admissível de cálculo do aço

$$F_{sd} := \frac{f_{ys}}{\gamma_{as}} = 43,4783 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$
 Tensão admissível de cálculo do aço

$$E_c := 4760 \cdot \sqrt{\text{MPa}} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 30104,8833 \text{ MPa}$$
 Módulo de elasticidade do concreto

Figura 4-45 – Pilares mistos: Cálculos Iniciais

VERIFICAÇÃO DOS COBRIMENTOS

□

$$cob_x := \frac{b_c - \max(b_{fi}, b_{fs})}{2} = 0,07 \text{ m} \quad \text{Cobrimento de concreto em relação ao perfil, na direção X.}$$

$$\text{if } (cob_x \geq 40 \text{ mm}) \wedge \left(cob_x \geq \frac{\max(b_{fi}, b_{fs})}{6} \right) \wedge (cob_x \leq 0,4 \cdot \min(b_{fi}, b_{fs}))$$

$V_{cob_X} := \text{"OK"}$
 else
 $V_{cob_X} := \text{"Não OK"}$

$V_{cob_X} = \text{"OK"}$

$$cob_y := \frac{h_c - d}{2} = 0,07 \text{ m} \quad \text{Cobrimento de concreto em relação ao perfil, na direção Y.}$$

$$\text{if } (cob_y \geq 40 \text{ mm}) \wedge \left(cob_y \geq \frac{\max(b_{fi}, b_{fs})}{6} \right) \wedge (cob_y \leq 0,3 \cdot d)$$

$V_{cob_Y} := \text{"OK"}$
 else
 $V_{cob_Y} := \text{"Não OK"}$

$V_{cob_Y} = \text{"OK"}$

VERIFICAÇÃO DOS LIMITES DE APLICABILIDADE

□

- Os pilares mistos devem ter dupla simetria e seção transversal constante ao longo do comprimento.

$$N_{pl_Rd} := F_{yd} \cdot A_a + 0,85 \cdot F_{cd} \cdot A_c + F_{sd} \cdot A_s = 9445,2711 \text{ kN}$$

$$N_{pl_A} := F_{yd} \cdot A_a = 3559,7727 \text{ kN}$$

$$\delta := \frac{N_{pl_A}}{N_{pl_Rd}} = 0,3769 \quad \text{Fator de contribuição do perfil de aço}$$

$$\text{if } (\delta > 0,2) \wedge (\delta < 0,9)$$

$V_{L_1} := \text{"OK"}$

else
 $V_{L_1} := \text{"NÃO OK"}$ O fator de contribuição do perfil de aço deve estar entre 0,2 e 0,9 para cálculo como pilar misto.

$V_{L_1} = \text{"OK"}$

Figura 4-46 – Pilares mistos: Verificações – Parte I

$$\text{if } \left(\frac{h_c}{b_c} > 0,2 \right) \wedge \left(\frac{h_c}{b_c} < 5,0 \right)$$

$V_{L_2} = \text{"OK"}$

else

$V_{L_2} = \text{"NÃO OK"}$

$V_{L_2} = \text{"OK"}$

A relação entre largura e espessura das seções transversais mistas retangulares deve estar entre 0,2 e 5,0.

$$\text{if } \left(\frac{A_s}{A_c} > 0,003 \right) \wedge \left(\frac{A_s}{A_c} < 0,04 \right)$$

$V_{L_3} = \text{"OK"}$

else

$V_{L_3} = \text{"NÃO OK"}$

$V_{L_3} = \text{"OK"}$

Para as seções transversais total ou parcialmente revestidas com concreto, a área da seção transversal da armadura longitudinal não deve ser inferior a 0,3% da área de concreto. A máxima porcentagem de armadura na seção de concreto é de 4% desta.

- Quando a concretagem for feita com o pilar já montado, deve-se comprovar que o perfil de aço resiste isoladamente às ações aplicadas antes de o concreto atingir 75% da resistência característica à compressão especificada.

- Para as seções total ou parcialmente revestidas com concreto, devem existir armaduras longitudinal e transversal para garantir a integridade do concreto, conforme prescrições da NBR 6118 para pilares de concreto. Nas seções parcialmente revestidas, a armadura transversal deve ser ancorada no perfil de aço através de furos na alma, ou por meio de conectores de cisalhamento.

FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO RESISTENTE DE CÁLCULO

□

$E_{c_red} = 0,4 \cdot E_c = 12041,9533 \text{MPa}$ Módulo de elasticidade reduzido do concreto devido à fluência.

$$N_{pl_RK} = f_y \cdot A_a + 0,85 \cdot f_{ck} \cdot A_c + f_{ys} \cdot A_s = 12068,0294 \text{kN}$$

$$EI_{ex} = E_a \cdot I_{ax} + 0,6 \cdot E_{c_red} \cdot I_{cx} + E_s \cdot I_{sx} = 9,3832 \cdot 10^8 \text{ kN cm}^2$$

$$EI_{ey} = E_a \cdot I_{ay} + 0,6 \cdot E_{c_red} \cdot I_{cy} + E_s \cdot I_{sy} = 5,8587 \cdot 10^8 \text{ kN cm}^2$$

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot EI_{ex}}{(K_x \cdot L_x)^2} = 7,5598 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Figura 4-47 – Pilares mistos: Verificações – Parte II

$$N_{ey} := \frac{\pi^2 \cdot EI_{ey}}{(K_y \cdot L_y)^2} = 4,7202 \cdot 10^7 \text{ N}$$

$$N_e := \min(N_{ex}, N_{ey}) = 47202,1689 \text{ kN}$$

$$\lambda_{0m} := \sqrt{\frac{N_{pl,RK}}{N_e}} = 0,5056$$

if $\lambda_{0m} \leq 1,5$

$\chi := 0,658 \lambda_{0m}^2$
else
 $\chi := 0$

$$\chi = 0,8985$$

$$N_{c,Rd} := \chi \cdot N_{pl,Rd} = 8486,7384 \text{ kN}$$

$$IU := \frac{N_c \cdot S_d}{N_{c,Rd}} = 0,9769$$

if $IU \leq 1,0$

resistencia_compressao = "APROVADO"

else

resistencia_compressao = "REPROVADO"

resistencia_compressao = "APROVADO"

REGIÃO DE INTRODUÇÃO DE CARGA

□

$$IU_{plast_loc} := \frac{V_{SD_TOTAL}}{A_a \cdot F_{yd}} = 0,224$$

if $IU_{plast_loc} \leq 1$

V_plat_loc = "OK"

else

V_plat_loc = "NÃO OK"

Verificação do perfil de aço quanto à plastificação local

V_plat_loc = "OK"

Figura 4-48 – Pilares mistos: Região de Introdução de carga – Parte I

Resistência do conector

$$Q_{rd} := \min \left(\left(\frac{R_g \cdot R_p \cdot A_{cs} \cdot f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \right), \left(\frac{A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}}{2 \cdot \gamma_{cs}} \right) \right) = 94,1315 \text{ kN}$$

Quantidade de conectores

$$n_{conect} := \text{round} \left(\frac{v_{SD_TOTAL} \cdot (1 - \delta)}{Q_{rd}} + 0,5 ; 0 \right) = 6$$

Comprimento de introdução de carga

$$a := \min \left(\left(2 \cdot \min(b_c, h_c) \right), \left(\frac{h_{andar}}{3} \right) \right) = 0,98 \text{ m}$$

Espaçamentos

$$S_{long_max} := 500 \text{ mm} \quad \text{Espaçamento longitudinal máximo}$$

$$S_{long_min} := 6 \cdot d_{cs} = 114 \text{ mm} \quad \text{Espaçamento longitudinal mínimo}$$

$$S_{trans_min} := 4 \cdot d_{cs} = 76 \text{ mm} \quad \text{Espaçamento transversal mínimo}$$

$$S_{defas_min} := 2 \cdot d_{cs} = 38 \text{ mm} \quad \text{Defasagem mínima, em ambas as direções}$$

Figura 4-49 – Pilares mistos: Região de Introdução de carga – Parte I

5 CONCLUSÃO

As avaliações realizadas neste trabalho indicaram que é possível um dimensionamento do módulo típico em questão, com estruturas mistas, utilizando-se materiais de grande disponibilidade comercial e com as vantagens de:

- significativa redução do peso total da estrutura;
- economia no consumo de aço estrutural;
- dispensa de formas e escoramentos para as laje;
- rapidez de execução;
- precisão dimensional.

Para a laje mista, é possível a otimização do custo, pela seleção de modelo com menor volume de aço (menor espessura) e menor peso total. Além disso, considerando-se dimensionamento de construção não escorada, torna-se o processo construtivo mais ágil.

Para as vigas mistas, a utilização de interação parcial implica em significativa redução na quantidade de conectores (46% para a viga principal e 53% para as vigas secundárias), o que, embora não implique em redução significativa de peso, corresponde à maior facilidade de montagem.

Para o pilar, a utilização de pilar misto permite economia significativa no perfil aço, uma vez que este tem participação inferior à 40% da resistência total do pilar, proporcionando economia.

Além disto, no que se refere à utilização de planilhas padrão para a verificação dos componentes, embora não se trate de tarefa simples, devido ao grande número de variáveis, a mesma se mostrou possível e muito prática, permitindo a verificação de vigas e pilares de maneira rápida, uma vez que se tenham disponíveis todas as informações da estrutura a ser avaliada. Com isto, é possível otimizar a seleção dos perfis de aço utilizados em vigas e

pilares e/ou avaliar comparativamente o custo benefício da utilização de diferentes perfis (conforme disponibilidade do mercado, por exemplo) pela rápida comparação das resistências.

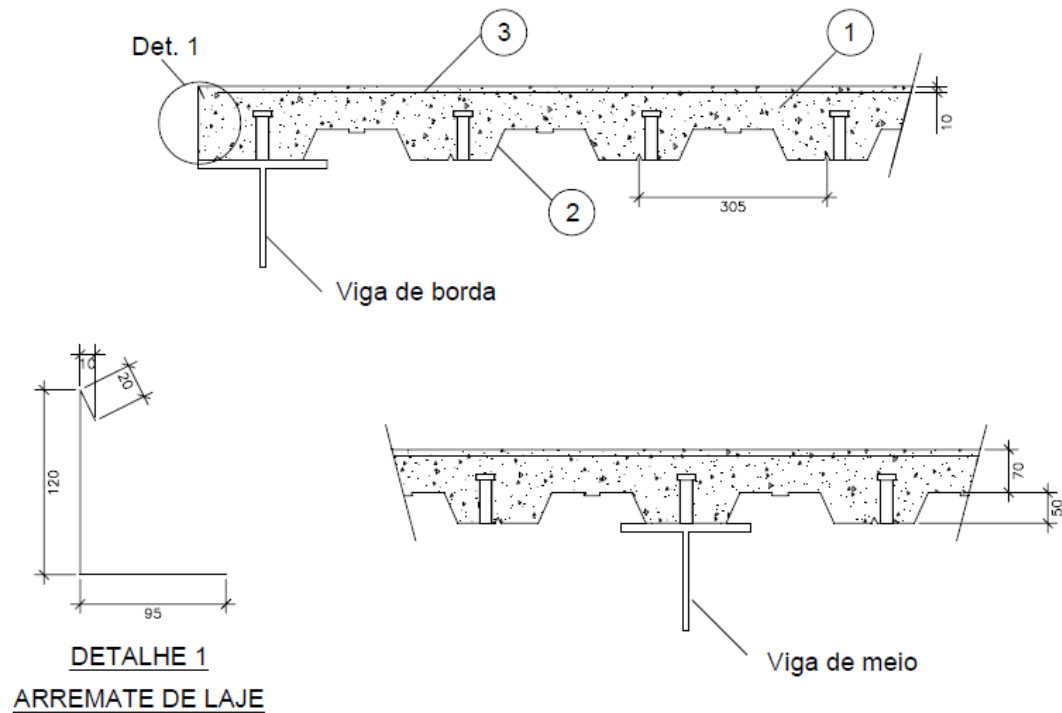
Um grande fruto deste trabalho foi a geração de programas executáveis para verificação de vigas e pilares mistos, que podem ser facilmente transferidos e enviados a terceiros. Tais programas contemplam toda a verificação por norma para estes componentes estruturais, permitindo a utilização simples por qualquer pessoa, sem risco de alteração da memória de cálculo desenvolvida.

6 NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS

- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – “Dimensionamento básico de elementos estruturais e aço e mistos de aço e concreto, parte II”, dos Professores: Ricardo Hallal Fakury, Ana Lydia R. de Castro e Silva e Rodrigo Barreto Caldas.
- Catálogo: Perfis estruturais Gerdau – Tabela de Bitolas, disponível em www.gerdau.com.br
- NBR-8800 / 2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.
- NBR 5884 / 2005 - Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico — Requisitos gerais.

7 ANEXO I – Desenhos de Detalhamento

Detalhamento do Steel Deck



1 – Concreto $F_{ck} = 30$ MPa.

2 – Forma MF-50, espessura = 0,8 mm – ASTM A653 Gr.40

3 – Armadura de retração : Tela Q75 – 3,8mm x 3,8mm x 150mm x 150mm

NOTAS GERAIS:

1 – Medidas em milímetro.

Figura 7-1 – Laje mista, conforme dimensionamento apresentado na seção 4.2

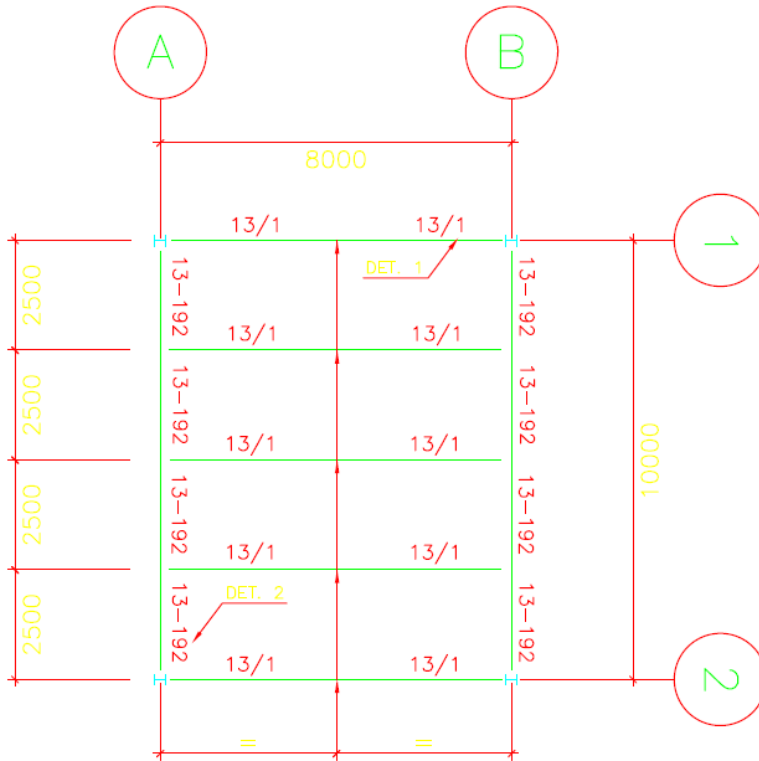
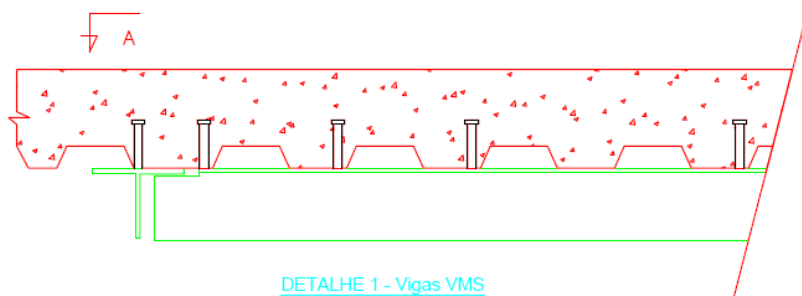


DIAGRAMA DE STUD BOLTS

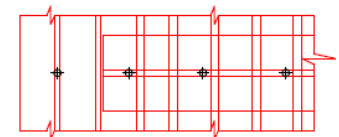
Piso típico

NOTAS:

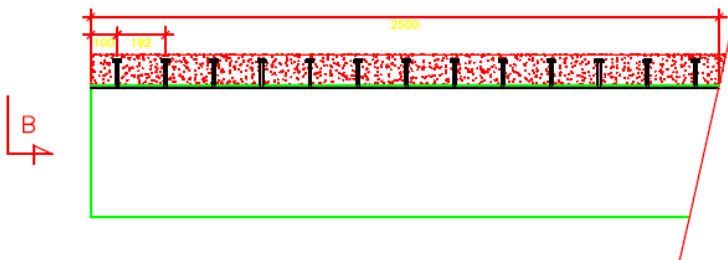
- 1-DIMENSÕES EM MILÍMETROS (E.A).
- 2-PARA AS VIGAS VMP2 E VMS, 1 CONECTOR POR NERVURA. VER DETALHE 1.
- 3-PARA AS VIGAS VMP1, O ESPAÇAMENTO DO PRIMEIRO CONECTOR DIFERE DOS DEMAIS. VER DETALHE 2.



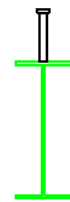
DETALHE 1 - Vigas VMS
DETALHE 1a (ESQUERDO) - Vigas VMS
ESCALA : S/ ESCALA



VISTA A
ESCALA : S/ ESCALA

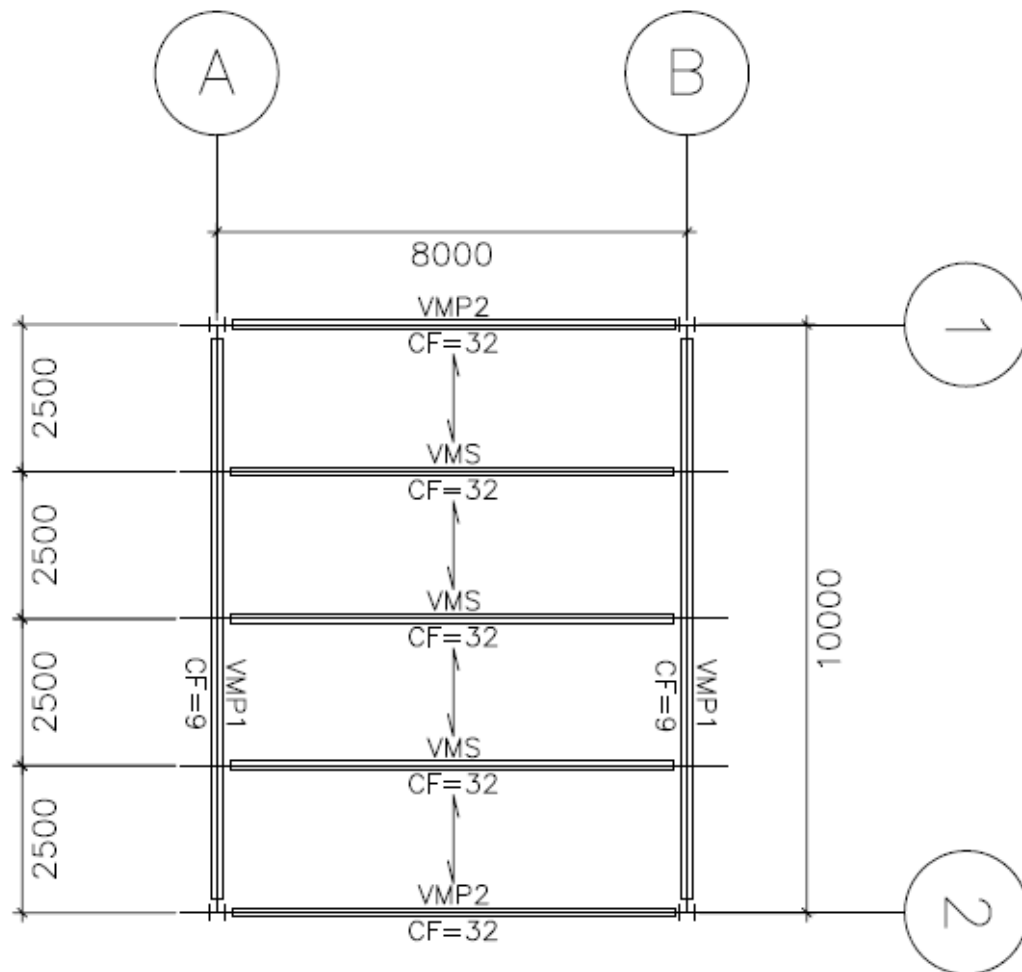


DETALHE 2 - Vigas VMP1
DETALHE 2a (DIREITO) - Vigas VMP1
ESCALA : S/ ESCALA



VISTA B
ESCALA : S/ ESCALA

Figura 7-2 – Diagrama de Studs das vigas principais e secundárias, conforme dimensionamento apresentado na seção 4.3.



PLANO DAS VIGAS

Piso típico

TABELA DE PERFIS I								
MARCA	TIPO	d, dL/dO ou h	bfs	bfi	tfs	tfi	tw	OBSERVAÇÃO
VMP1	PL	528	209	209	13.30	13.30	9.50	W530x82
VMP2	PL	309	102	102	8.90	8.90	6.00	W310x28.3
VMS	PL	309	102	102	8.90	8.90	6.00	W310x28.3

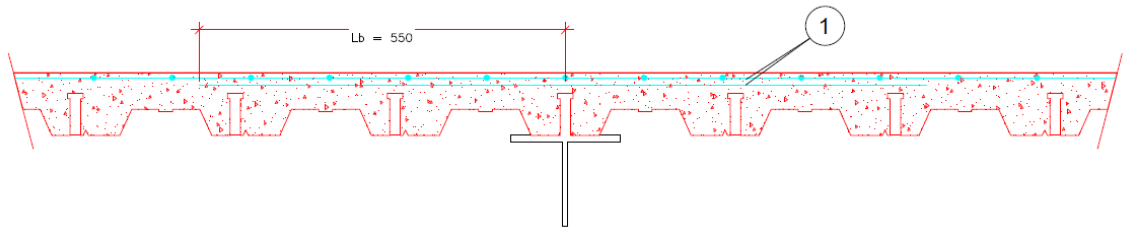
NOTAS:

- 1- DIMENSÕES EM MILÍMETROS (E.A).
- 2- MATERIAL:
 - CHAPARIA E PERFIS SOLDADOS USI CIVIL 350 $F_y \geq 350 \text{MPa}$ (E.A);
 - PERFIS I LAMINADOS DE ABAS PARALELAS ASTM A-572 Gr.50 $F_y \geq 345 \text{MPa}$ (E.A).
- 3- LEGENDA:
 - (E.A) - EXCETO ANOTADO
 - (P.B) - PISO BRUTO
 - (T.V) - TOPO DE VIGA
- 4- STEEL DECK MF50 AÇO GALVANIZADO ASTM A653 Gr.40, COM ESPESSURA DE 0,8 mm (E.A).
- 5- CONCRETO DA LAJE - $F_{ck} = 30 \text{MPa}$, DENSIDADE = 2500kg/m^3 E ALTURA DE 120mm EXCETO ANOTADO.

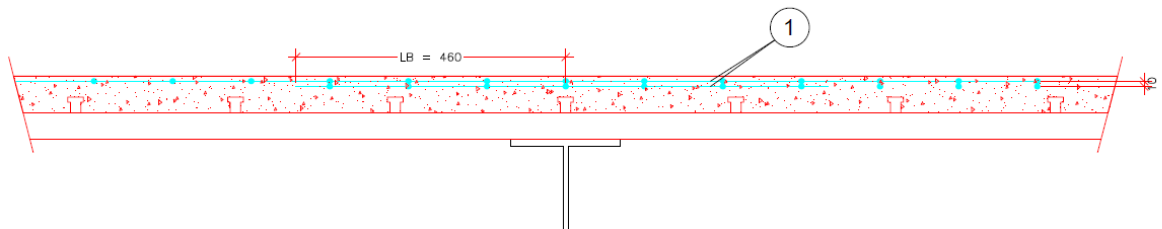
Figura 7-3 – Plano das vigas mistas, conforme dimensionamento apresentado na seção 4.3.

Armaduras de costura

VMP1 (Viga principal)



VMS (Viga secundária)



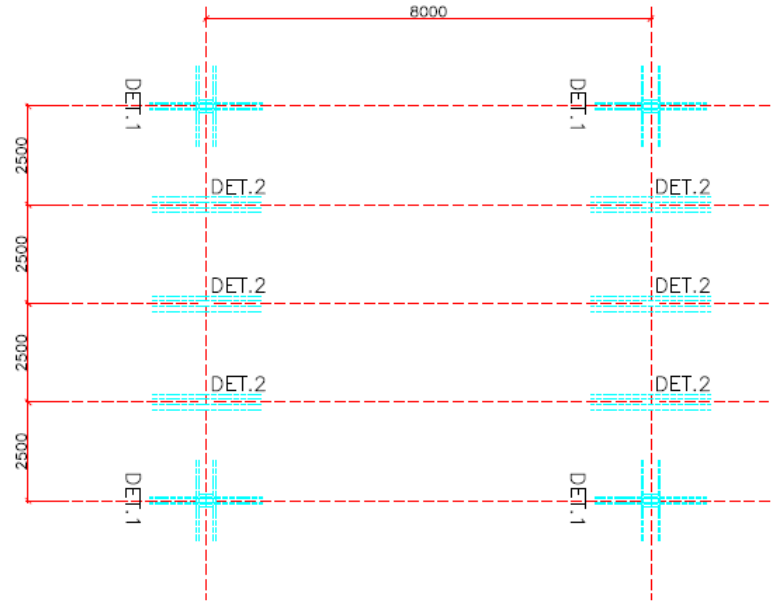
1 – Tela dupla Q75 – 3,8mm x 3,8mm x 150mm x 150mm

NOTAS GERAIS:

- 1 – Medidas em milímetro.
- 2 – Aço: CA-50 para telas e armaduras.
- 3 – Concreto Estrutural:
 - densidade 2500 kg/m³;
 - fck > 30MPa;
- 4 – Forma MF-50, espessura = 0,8 mm;
- 5 – Altura total da laje = 120 mm;
- 6 – Laje típica para todos os pavimentos;

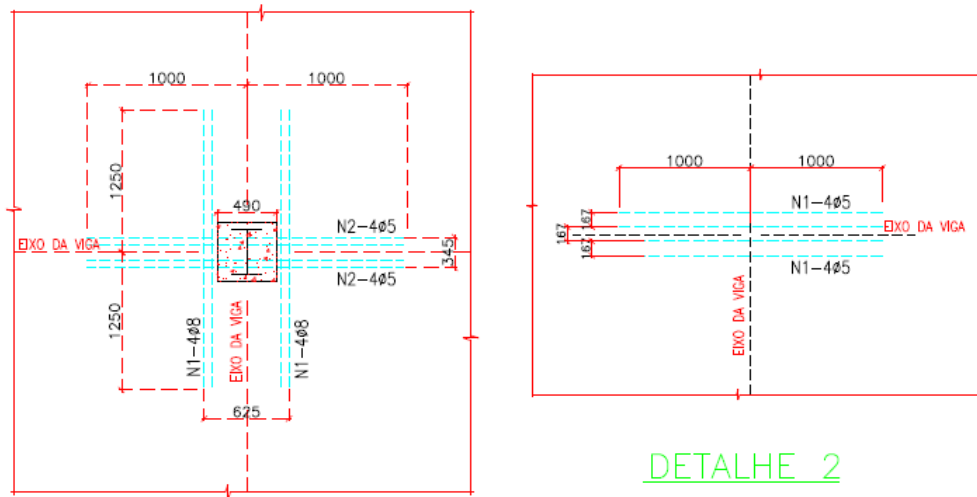
Figura 7-4 – Armaduras de costura das vigas mistas, conforme dimensionamento apresentado na seção

4.3.



ARMAÇÃO DAS LAJES – REFORÇOS (CONTINUIDADE)

Piso típico



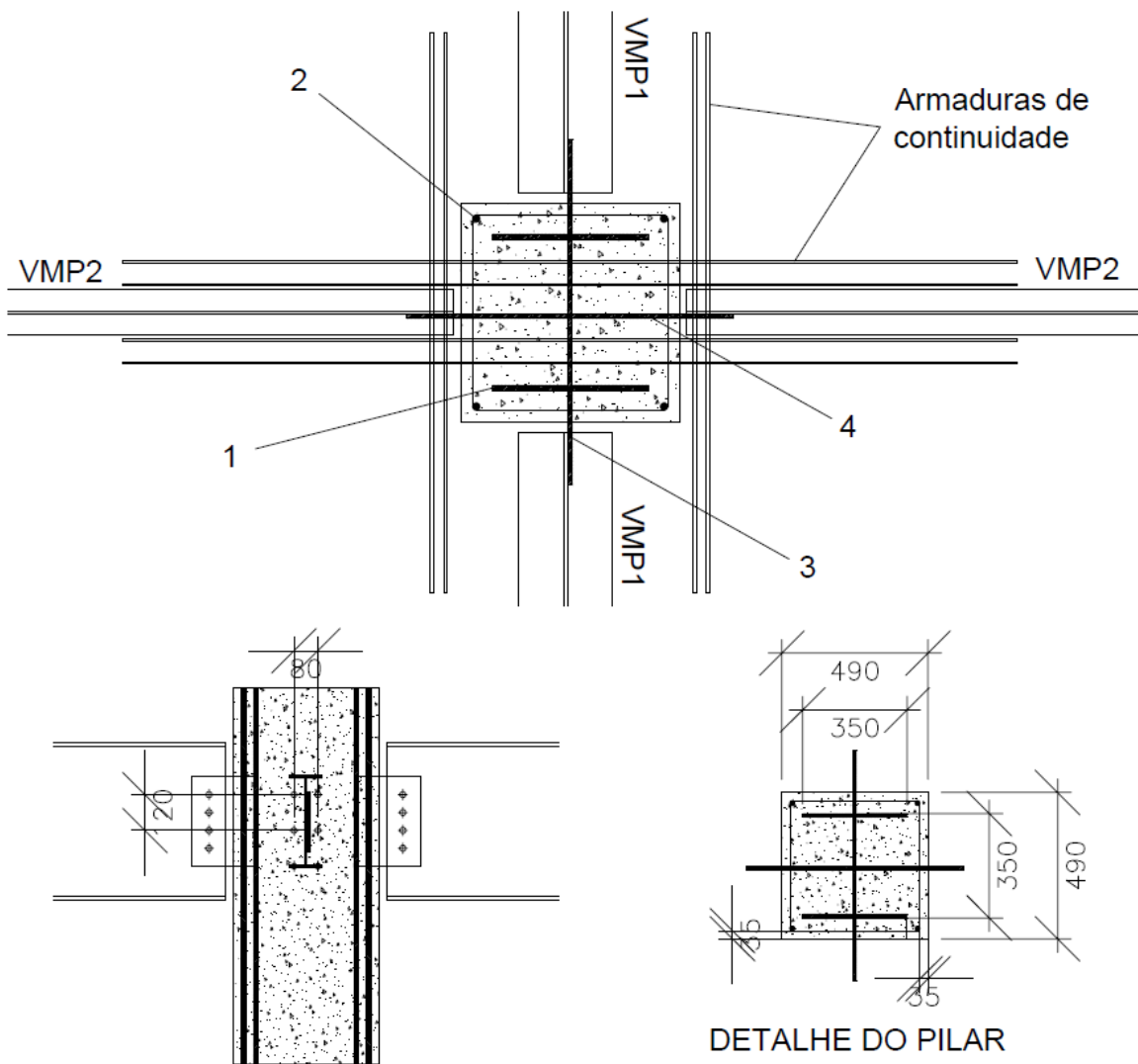
DETALHE 1

NOTAS GERAIS:

- 1 – Medidas em milímetro.
- 2 – Aço: CA-50.
- 3 – Concreto Estrutural: $f_{ck} > 30\text{MPa}$;
- 4 – Altura da laje = 10cm.
- 5 – As armaduras negativas deverão ser posicionadas 2,5 cm abaixo do topo da laje de concreto.

Figura 7-5 – Armaduras de continuidade das vigas mistas, conforme dimensionamento apresentado na seção 4.3.

PILAR



- 1 – Perfil CS 350 x 89, $f_y = 345$ MPa;
- 2 – Armadura do pilar – 4 x $\varnothing 16$ mm; Cobrimento = 35 mm, Aço CA-50;
- 3 – Chapa simples para ligação: (210 x 200 x 10) mm , $f_y = 345$ MPa;
- 4 – Chapa simples para ligação: (360 x 300 x 10) mm , $f_y = 345$ MPa;

NOTAS GERAIS:

- 1 – Medidas em milímetro.
- 2 – Concreto Estrutural:
 - densidade 2500 kg/m³;
 - $f_{ck} > 30$ MPa;
- 3 – Trabalhar em conjunto com desenho de armaduras de continuidade.

Figura 7-6 – Pilar misto, conforme dimensionamento apresentado na seção 4.4.

8 ANEXO II – Formas de aço para laje mista – Catálogo Metform

Tabelas para lajes MF-50 e MF-75, respectivamente.

Lajes de Forno	Altura total da laje (mm)	Espessura Seel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento					Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Vãos Máximos sem Escoramento Carga sobreposta														
			Simples (mm)	Duplos (mm)	Tripos (mm)	Balanço (mm)	1.800			1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200
							máxima (kN/m ²)																	
Lajes de Piso	100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54
		0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16
		1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,19	3,77	3,38
	110	0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76
		0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46
		1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85
	120	0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98
		0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76
		1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,33	16,20	14,36	12,77	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
130	0,80	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19	
	0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06	
	1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79	
140	0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41	
	0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36	
	1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26	
150	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63	
	0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,54	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,66	4,13	3,66	
	1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72	
160	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84	
	0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96	
	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19		
170	0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06	
	0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26	
	1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	

Lajes de Forno	Altura total da laje (mm)	Espessura Seel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Vãos Máximos sem Escoramento Carga sobreposta															
			Simples (mm)	Duplos (mm)	Tripos (mm)	Balanço (mm)			2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000
									máxima (kN/m ²)															
Lajes de Piso	130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29
		0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00
		1,25	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	15,31	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,84	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42
	140	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
		0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23
		1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,81
	150	0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,48	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59
		0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,87	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45
		1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19
160	0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73	
	0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68	
	1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	20,00	20,00	20,00	18,42	16,76	15,28	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,58	
170	0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88	
	0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91	
	1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96	
180	0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03	
	0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14	
	1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35	
190	0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18	
	0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36	
	1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73	
200	0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33	
	0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59	
	1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39	6,12

9 ANEXO III – Perfis I Gerdau, laminados de abas paralelas

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA		h mm	d'	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r ₁ cm	I cm ⁴	ESBELTEZ		C _u cm ²	u m ² /m	BITOLA in x lb/ft
				t ₁ mm	t ₂ mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³			MESA-λ ₁ b ₁ /2t ₁	ALMA-λ ₂ d'/t ₂			
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4.181	0,67	W 6 x 8,5
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6.683	0,69	W 6 x 12
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1.229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20.417	0,88	W 6 x 15
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1.384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10.206	0,69	W 6 x 16
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1.739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30.277	0,90	W 6 x 20
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2.244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,64	14,67	39.930	0,91	W 6 x 25
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1.305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8.222	0,77	W 8 x 10
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1.686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11.098	0,79	W 8 x 13
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2.029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13.868	0,79	W 8 x 15
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2.611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32.477	0,92	W 8 x 18
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3.168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40.822	0,93	W 8 x 21
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3.437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69.502	1,03	W 8 x 24
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4.114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83.948	1,04	W 8 x 28
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4.543	447,6	8,81	495,3	1.535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141.342	1,19	W 8 x 31
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5.298	514,4	8,90	572,5	1.784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166.710	1,19	W 8 x 35
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4.977	488,0	8,55	551,3	1.673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155.075	1,20	HP 8 x 36
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6.140	584,8	8,99	655,9	2.041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195.418	1,20	W 8 x 40
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7.660	709,2	9,17	803,2	2.537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249.976	1,22	W 8 x 48
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9.498	855,7	9,26	984,2	3.139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317.844	1,23	W 8 x 58
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2.291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13.735	0,88	W 10 x 12
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2.939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18.629	0,89	W 10 x 15
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3.473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22.955	0,89	W 10 x 17
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4.046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27.636	0,90	W 10 x 19
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4.937	382,7	10,83	428,5	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73.104	1,07	W 10 x 22
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6.057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93.242	1,08	W 10 x 26
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7.158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112.398	1,09	W 10 x 30
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8.728	709,6	10,47	790,5	2.995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	417.130	1,47	HP 10 x 42
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11.257	889,9	11,02	983,3	3.880	305,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552.900	1,48	W 10 x 49
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12.550	980,5	11,10	1.088,7	4.313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622.878	1,49	W 10 x 54
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12.280	966,9	10,64	1.093,2	4.225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605.403	1,50	HP 10 x 57
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14.237	1.095,1	11,18	1.224,4	4.841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712.351	1,50	W 10 x 60
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16.352	1.238,8	11,27	1.395,0	5.549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828.031	1,51	W 10 x 68
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18.920	1.406,7	11,38	1.597,4	6.405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975.265	1,53	W 10 x 77

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				ESBELTEZ		C _e cm ²	u m ² /m	BITOLA in x lb/ft		
				t _c mm	t _t mm				I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³	MESA-λ _c						
																	b _i /2t _c	d'/t _c					
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3.776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21.628	0,98	W 12 x 14
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4.346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25.594	0,99	W 12 x 16
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5.500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35.441	1,00	W 12 x 19
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6.570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43.612	1,00	W 12 x 22
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8.581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163.728	1,25	W 12 x 26
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	9.997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194.433	1,26	W 12 x 30
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11.909	751,4	13,33	842,5	1.026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236.422	1,27	W 12 x 35
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16.316	1.091,3	12,77	1.210,1	5.258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089.258	1,77	HP 12 x 53
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19.682	1.299,1	12,85	1.450,3	6.387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340.320	1,78	HP 12 x 63
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6	22.284	1.447,0	13,43	1.594,2	7.286	477,8	7,68	725,0	8,38	92,12	9,90	24,77	1.558.682	1,79	W 12 x 65
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24.839	1.597,3	13,49	1.768,2	8.123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,86	9,00	22,48	1.754.271	1,80	W 12 x 72
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23.703	1.539,1	12,97	1.730,6	7.707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,66	10,00	15,91	1.646.104	1,80	HP 12 x 74
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27.563	1.755,6	13,56	1.952,6	9.024	587,9	7,76	893,1	8,44	161,61	8,21	20,55	1.965.950	1,80	W 12 x 79
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,9	27.076	1.735,6	13,05	1.963,3	8.823	565,6	7,45	870,6	8,38	177,98	8,97	14,09	1.911.029	1,81	HP 12 x 84
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8.358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84.111	1,17	W 14 x 22
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10.331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,98	47,32	109.551	1,18	W 14x 26
W 360 x 44,6	44,6	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12.258	696,5	14,58	784,3	818	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	239.091	1,35	W 14 x 30
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14.222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284.994	1,36	W 14 x 34
W 360 x 58,0	58,0	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16.143	901,8	14,92	1.014,8	1.113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330.394	1,37	W 14 x 38
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17.890	1.031,1	14,80	1.145,5	1.885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523.362	1,46	W 14 x 43
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20.169	1.152,5	14,86	1.285,9	2.140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599.082	1,47	W 14 x 48
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22.713	1.283,2	14,98	1.437,0	2.416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	685.701	1,48	W 14 x 53
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26.755	1.515,9	15,19	1.680,1	4.483	353,0	6,22	538,1	6,90	92,61	7,74	30,34	1.268.709	1,68	W 14 x 61
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5	30.279	1.696,3	15,29	1.888,9	5.063	397,1	6,25	606,1	6,93	128,47	6,97	27,28	1.450.410	1,68	W 14 x 68
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	33.155	1.841,9	15,36	2.059,3	5.570	435,2	6,29	664,5	6,96	161,93	6,43	25,28	1.609.070	1,69	W 14 x 74
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36.599	2.016,5	15,35	2.269,8	6.147	478,4	6,29	732,4	6,98	212,70	5,92	22,12	1.787.806	1,70	W 14 x 82
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12.777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,69	7,95	55,84	153.190	1,32	W 16 x 26
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15.690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196.571	1,33	W 16 x 31
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18.734	929,7	16,55	1.052,2	1.009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387.194	1,48	W 16 x 36
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21.707	1.066,7	16,88	1.201,5	1.205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467.404	1,49	W 16 x 40
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24.678	1.203,8	16,91	1.362,7	1.379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538.546	1,50	W 16 x 45
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27.616	1.337,3	16,98	1.518,6	1.559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612.784	1,51	W 16 x 50
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31.658	1.518,4	17,07	1.731,7	1.804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715.165	1,52	W 16 x 57
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21.370	949,8	17,91	1.095,9	634	83,5	3,09	131,7	3,79	21,79	7,04	53,21	304.837	1,47	W 18 x 35
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25.652	1.127,6	18,35	1.292,1	796	104,1	3,23	163,4	3,89	34,60	5,75	50,55	387.230	1,49	W 18 x 40
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29.851	1.300,7	18,46	1.495,4	941	122,2	3,28	192,4	3,93	52,29	5,00	44,42	461.163	1,50	W 18 x 46
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33.415	1.462,4	18,77	1.657,4	1.661	174,8	4,18	271,3	4,93	52,97	6,55	44,89	811.417	1,64	W 18 x 50
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37.157	1.615,5	18,84	1.836,4	1.862	195,0	4,22	303,3	4,96	70,62	5,97	40,81	915.745	1,64	W 18 x 55
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41.105	1.775,6	18,98	2.019,4	2.093	218,0	4,28	339,0	5,01	92,49	5,42	38,44	1.035.073	1,65	W 18 x 60
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44.658	1.916,7	19,03	2.187,4	2.283	236,6	4,30	368,8	5,03	115,05	5,08	35,44	1.137.180	1,66	W 18 x 65
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48.978	2.088,6	19,04	2.394,6	2.515	259,3	4,32	405,7	5,05	148,19	4,71	32,05	1.260.063	1,67	W 18 x 71
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34.971	1.332,2	20,46	1.558,0	857	103,9	3,20	166,0	4,02	31,52	7,24	53,73	562.854	1,67	W 21 x 44
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39.969	1.525,5	20,89	1.755,9	1.615	156,0	4,20	244,6	5,16	33,41	9,50	53,13	1.060.548	1,84	W 21 x 48
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40.969	1.548,9	20,76	1.804,9	1.041	125,5	3,31	200,1	4,10	47,39	6,10	49,26	688.558	1,68	W 21 x 50
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47.569	1.801,8	21,34	2.058,5	2.028	194,1	4,41	302,7	5,31	51,23	7,86	50,25	1.340.255	1,85	W 21 x 55
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	48.453	1.811,3	21,21	2.099,8	1.263	152,2	3,42	241,6	4,17	72,93	5,03	46,41	845.463	1,69	W 21 x 57
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	55.157	2.069,7	21,65	2.359,8	2.379	227,6	4,50	354,7	5,36	75,50	6,70	46,84	1.588.565	1,86	W 21 x 62
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	62.198	2.316,5	21,87	2.640,4	2.693	256,5	4,55	400,6	5,40	106,04	6,03	43,14	1.812.734	1,86	W 21 x 68
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	67.226	2.494,5	21,94	2.847,0	2.952	279,8	4,60	437,4	5,44	131,38</					

10 ANEXO IV - Perfis I soldados, classe CS, conforme norma NBR 5884

PERFIL	MASSA m kg/m	ÁREA A cm ²	ALT. d mm	ALMA			MESAS			EIXO X - X				EIXO Y - Y				rT cm	IT cm ⁴	Cw cm ⁶	h/tw	bf/2tf	d/af cm ⁻¹	ec mm	u m ² /m	u/A m ⁻¹
				tw mm	h mm	tf mm	bf mm	lx cm ⁴	Wx cm ³	rx cm	Zx cm ³	ly cm ⁴	Wy cm ³	ry cm	Zy cm ³											
150 x 25	25,4	32,4	150	6,3	134	8,0	150	1337	178	6,42	199	450	60	3,73	91	4,1	6	22685	21	9,4	1,250	5	0,89	275		
150 x 29	28,9	36,8	150	6,3	131	9,5	150	1527	204	6,44	227	535	71	3,81	108	4,14	10	26372	21	7,9	1,053	5	0,89	242		
150 x 31	30,6	39	150	8	131	9,5	150	1559	208	6,32	235	535	71	3,7	109	4,09	11	26372	16	7,9	1,053	5	0,88	226		
150 x 37	37,3	47,5	150	8	125	12,5	150	1908	254	6,34	289	704	94	3,85	143	4,15	22	33234	16	6	0,800	5	0,88	185		
150 x 45	45,1	57,4	150	8	118	16,0	150	2274	303	6,29	349	901	120	3,96	182	4,2	43	40401	15	4,7	0,625	6	0,88	153		
200 x 29	29	37	200	6,3	187	6,30	200	2778	278	8,66	299	840	84	4,76	128	5,37	5	78791	30	15,9	1,587	3	1,19	322		
200 x 34	34,2	43,6	200	6,3	184	8,0	200	3278	328	8,67	361	1067	107	4,95	162	5,45	8	98304	29	12,5	1,250	5	1,19	273		
200 x 39	38,8	49,4	200	6,3	181	9,5	200	3762	376	8,73	414	1267	127	5,06	192	5,51	13	114919	29	10,5	1,053	5	1,19	241		
200 x 41	41,2	52,5	200	8	181	9,5	200	3846	385	8,56	427	1267	127	4,91	193	5,44	15	114919	23	10,5	1,053	5	1,18	225		
200 x 50	50,2	64	200	8	175	12,5	200	4758	476	8,62	530	1667	167	5,1	253	5,52	29	146484	22	8	0,800	5	1,18	184		
200 x 61	60,8	77,4	200	8	168	16,0	200	5747	575	8,62	645	2134	213	5,25	323	5,58	58	180565	21	6,3	0,625	6	1,18	152		
250 x 43	42,9	54,7	250	6,3	234	8,0	250	6531	522	10,93	570	2084	167	6,17	252	6,81	11	305021	37	15,6	1,250	5	1,49	272		
250 x 49	48,7	62,1	250	6,3	231	9,5	250	7519	602	11	655	2474	198	6,31	299	6,87	16	357736	37	13,2	1,053	5	1,49	240		
250 x 52	51,8	66	250	8	231	9,5	250	7694	616	10,8	678	2475	198	6,12	301	6,79	18	357736	29	13,2	1,053	5	1,48	224		
250 x 63	63,2	80,5	250	8	225	12,5	250	9581	766	10,91	843	3256	260	6,36	394	6,89	37	459035	28	10	0,800	5	1,48	184		
250 x 66	65,9	83,9	250	9,5	225	12,5	250	9723	778	10,77	862	3257	261	6,23	396	6,84	39	459035	24	10	0,800	5	1,48	176		
250 x 76	76,5	97,4	250	8	218	16,0	250	11659	933	10,94	1031	4168	333	6,54	503	6,97	72	570375	27	7,8	0,625	6	1,48	152		
250 x 79	79	100,7	250	9,5	218	16,0	250	11788	943	10,82	1049	4168	333	6,43	505	6,92	75	570375	23	7,8	0,625	6	1,48	147		
250 x 84	84,2	107,3	250	12,5	218	16,0	250	12047	964	10,6	1085	4170	334	6,23	509	6,84	84	570375	17	7,8	0,625	6	1,48	138		
250 x 90	90,4	115,1	250	9,5	212	19,0	250	13456	1076	10,81	1204	4949	396	6,56	599	6,98	121	660064	22	6,6	0,526	6	1,48	129		
250 x 95	95,4	121,5	250	12,5	212	19,0	250	13694	1096	10,62	1238	4951	396	6,38	602	6,9	129	660064	17	6,6	0,526	6	1,48	122		
250 x 108	108	137,6	250	12,5	205	22,4	250	15501	1240	10,61	1406	5837	467	6,51	708	6,96	202	755442	16	5,6	0,446	8	1,48	108		
300 x 62	62,4	79,5	300	8	281	9,5	300	13509	901	13,04	986	4276	285	7,33	432	8,14	22	901921	35	15,8	1,053	5	1,78	224		
300 x 76	76,1	97	300	8	275	12,5	300	16894	1126	13,2	1229	5626	375	7,62	567	8,27	44	1162354	34	12	0,800	5	1,78	184		
300 x 92	92,2	117,4	300	8	268	16,0	300	20661	1377	13,27	1507	7201	480	7,83	724	8,36	87	1451808	34	9,4	0,625	6	1,78	152		
300 x 95	95,4	121,5	300	9,5	268	16,0	300	20902	1393	13,12	1534	7202	480	7,7	726	8,3	90	1451808	28	9,4	0,625	6	1,78	147		
300 x 102	101,7	129,5	300	12,5	268	16,0	300	21383	1426	12,85	1588	7204	480	7,46	730	8,2	100	1451808	21	9,4	0,625	6	1,78	137		
300 x 109	109	138,9	300	9,5	262	19,0	300	23962	1597	13,13	1765	8552	570	7,85	861	8,36	145	1687791	28	7,9	0,526	6	1,78	128		
300 x 115	115,2	146,8	300	12,5	262	19,0	300	24412	1627	12,9	1816	8554	570	7,63	865	8,27	156	1687791	21	7,9	0,526	6	1,78	121		
300 x 122	122,4	155,9	300	16	262	19,0	300	24936	1662	12,65	1876	8559	571	7,41	872	8,18	176	1687791	16	7,9	0,526	6	1,77	114		
300 x 131	130,5	166,3	300	12,5	255	22,4	300	27774	1852	12,92	2069	10084	672	7,79	1.018	8,34	243	1941956	20	6,7	0,446	8	1,78	107		
300 x 138	137,5	175,2	300	16	255	22,4	300	28257	1884	12,7	2126	10089	673	7,59	1.024	8,25	263	1941956	16	6,7	0,446	8	1,77	101		
300 x 149	149,2	190	300	16	250	25,0	300	30521	2035	12,67	2313	11259	751	7,7	1.141	8,3	350	2126953	16	6	0,400	8	1,77	93		

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALT.	ALMA			MESAS			EIXO X - X				EIXO Y - Y				rT	IT	Cw	h/tw	bf/2tf	d/af	ec	u	u/A
	m kg/m	A cm ²	d mm	tw mm	h mm	tf mm	bf mm	lx cm ⁴	Wx cm ³	rx cm	Zx cm ³	ly cm ⁴	Wy cm ³	ry cm	Zy cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶			cm ⁻¹	mm	m ² /m	m ⁻¹		
350 x 89	89,1	113,5	350	8	325	12,5	350	27217	1555	15,49	1688	8934	511	8,87	771	9,64	51	2543610	41	14	0,800	5	2,08	183		
350 x 93	92,9	118,4	350	9,5	325	12,5	350	27646	1580	15,28	1727	8935	511	8,89	773	9,56	55	2543610	34	14	0,800	5	2,08	176		
350 x 108	107,9	137,4	350	8	318	16,0	350	33403	1909	15,59	2073	11435	653	9,12	985	9,74	101	3188642	40	10,9	0,625	6	2,08	151		
350 x 112	111,6	142,2	350	9,5	318	16,0	350	33805	1932	15,42	2111	11436	653	8,97	987	9,68	105	3188642	33	10,9	0,625	6	2,08	146		
350 x 119	119,2	151,8	350	12,5	318	16,0	350	34609	1978	15,1	2186	11439	654	8,68	992	9,55	117	3188642	25	10,9	0,625	6	2,08	137		
350 x 128	127,6	162,6	350	9,5	312	19,0	350	38873	2221	15,46	2432	13579	776	9,14	1.171	9,75	170	3718797	33	9,2	0,526	6	2,08	128		
350 x 135	135	172	350	12,5	312	19,0	350	39633	2265	15,18	2505	13582	776	8,89	1.176	9,64	182	3718797	25	9,2	0,526	6	2,08	121		
350 x 144	143,6	182,9	350	16	312	19,0	350	40519	2315	14,88	2591	13588	776	8,62	1.184	9,53	205	3718797	20	9,2	0,526	6	2,07	113		
350 x 153	153	194,9	350	12,5	305	22,4	350	45254	2586	15,24	2859	16012	915	9,06	1.384	9,72	284	4294659	24	7,8	0,446	8	2,08	107		
350 x 161	161,4	205,6	350	16	305	22,4	350	46082	2633	14,97	2940	16017	915	8,83	1.392	9,62	307	4294659	19	7,8	0,446	8	2,07	101		
350 x 175	175,1	223	350	16	300	25,0	350	49902	2852	14,96	3204	17875	1021	8,95	1.550	9,67	409	4717367	19	7	0,400	8	2,07	93		
350 x 182	182,1	232	350	19	300	25,0	350	50577	2890	14,76	3271	17882	1022	8,78	1.558	9,6	439	4717367	16	7	0,400	8	2,06	89		
350 x 216	215,9	275	350	19	287	31,5	350	59845	3420	14,75	3903	22526	1287	9,05	1.955	9,71	802	5708504	15	5,6	0,317	8	2,06	75		
400 x 106	106,4	135,6	400	9,5	375	12,5	400	41727	2086	17,54	2271	13336	667	9,92	1.008	10,92	63	5005208	39	16	0,800	5	2,38	176		
400 x 128	128	163	400	9,5	368	16,0	400	51159	2558	17,72	2779	17069	853	10,23	1.288	11,06	120	6291456	39	12,5	0,625	6	2,38	146		
400 x 137	136,6	174	400	12,5	368	16,0	400	52404	2620	17,35	2881	17073	854	9,91	1.294	10,91	134	6291456	29	12,5	0,625	6	2,38	137		
400 x 146	146,3	186,4	400	9,5	362	19,0	400	58962	2948	17,79	3207	20269	1013	10,43	1.528	11,14	194	7354824	38	10,5	0,526	6	2,38	128		
400 x 155	154,9	197,3	400	12,5	362	19,0	400	60148	3007	17,46	3305	20273	1014	10,14	1.534	11,01	208	7354824	29	10,5	0,526	6	2,38	121		
400 x 165	164,8	209,9	400	16	362	19,0	400	61532	3077	17,12	3420	20279	1014	9,83	1.543	10,88	235	7354824	23	10,5	0,526	6	2,37	113		
400 x 176	175,5	223,6	400	12,5	355	22,4	400	68864	3443	17,55	3777	23899	1195	10,34	1.806	11,1	324	8516884	28	8,9	0,446	8	2,38	106		
400 x 185	185,3	236	400	16	355	22,4	400	70169	3508	17,24	3887	23905	1195	10,06	1.815	10,98	351	8516884	22	8,9	0,446	8	2,37	100		
400 x 201	201	256	400	16	350	25,0	400	76133	3807	17,25	4240	26679	1334	10,21	2.022	11,04	468	9375000	22	8	0,400	8	2,37	93		
400 x 209	209,2	266,5	400	19	350	25,0	400	77205	3860	17,02	4332	26687	1334	10,01	2.032	10,96	502	9375000	18	8	0,400	8	2,36	89		
400 x 248	248,1	316	400	19	337	31,5	400	91817	4591	17,05	5183	33619	1681	10,31	2.550	11,09	918	11406549	18	6,3	0,317	8	2,36	75		
450 x 144	144,2	183,7	450	9,5	418	16,0	450	73621	3272	20,02	3540	24303	1080	11,5	1.629	12,43	135	11442627	44	14,1	0,625	6	2,68	146		
450 x 154	154,1	196,3	450	12,5	418	16,0	450	75447	3353	19,6	3671	24307	1080	11,13	1.636	12,27	151	11442627	33	14,1	0,625	6	2,68	137		
450 x 165	164,9	210,1	450	9,5	412	19,0	450	85001	3778	20,11	4088	28859	1283	11,72	1.933	12,52	218	13400915	43	11,8	0,526	6	2,68	128		
450 x 175	174,7	222,5	450	12,5	412	19,0	450	86749	3856	19,75	4216	28863	1283	11,39	1.940	12,38	234	13400915	33	11,8	0,526	6	2,68	120		
450 x 188	188,5	240,1	450	9,5	405	22,4	450	97865	4350	20,19	4700	34023	1512	11,9	2.277	12,6	349	15550692	43	10	0,446	8	2,68	112		
450 x 198	198	252,2	450	12,5	405	22,4	450	99526	4423	19,87	4823	34027	1512	11,62	2.284	12,48	365	15550692	32	10	0,446	8	2,68	106		
450 x 209	209,1	266,4	450	16	405	22,4	450	101463	4509	19,52	4966	34034	1513	11,3	2.294	12,35	396	15550692	25	10	0,446	8	2,67	100		
450 x 216	215,9	275	450	12,5	400	25,0	450	108385	4817	19,85	5281	37975	1688	11,75	2.547	12,53	496	17145264	32	9	0,400	8	2,68	97		
450 x 227	226,9	289	450	16	400	25,0	450	110252	4900	19,53	5421	37982	1688	11,46	2.557	12,42	527	17145264	25	9	0,400	8	2,67	92		
450 x 236	236,3	301	450	19	400	25,0	450	111852	4971	19,28	5541	37992	1689	11,23	2.567	12,32	566	17145264	21	9	0,400	8	2,66	88		
450 x 280	280,2	357	450	19	387	31,5	450	133544	5935	19,34	6644	47863	2127	11,58	3.224	12,46	1033	20947287	20	7,1	0,317	8	2,66	75		
450 x 291	290,6	370,2	450	22,4	387	31,5	450	135186	6008	19,11	6771	47877	2128	11,37	3.238	12,38	1095	20947287	17	7,1	0,317	8	2,66	72		
450 x 321	320,9	408,8	450	19	375	37,5	450	152314	6770	19,3	7629	56975	2532	11,81	3.831	12,56	1676	24227325	20	6	0,267	8	2,66	65		
450 x 331	330,9	421,5	450	22,4	375	37,5	450	153809	6836	19,1	7748	56988	2533	11,63	3.844	12,48	1737	24227325	17	6	0,267	8	2,66	63		

PERFIL CS	MASSA		ÁREA		ALT. mm	ALMA			MESAS				EIXO X - X				EIXO Y - Y				rT cm	IT cm ⁴	Cw cm ⁶	h/tw	bf/2tf	d/af cm ⁻¹	ec mm	u m ² /m	u/A m ⁻¹
	m kg/m	A cm ²	d mm	tw mm		h mm	tf mm	bf mm	lx cm ⁴	Wx cm ³	rx cm	Zx cm ³	ly cm ⁴	Wy cm ³	ry cm	Zy cm ³													
500 x 172	171,5	218,5	500	12,5	468	16,0	500	104414	4177	21,86	4556	33341	1334	12,35	2.018	13,63	168	19521333	37	15,6	0,625	6	2,98	136					
500 x 195	194,5	247,8	500	12,5	462	19,0	500	120226	4809	22,03	5237	39591	1584	12,64	2.393	13,75	260	22895099	37	13,2	0,526	6	2,98	120					
500 x 207	207,2	263,9	500	16	462	19,0	500	123102	4924	21,6	5423	39599	1584	12,25	2.405	13,58	294	22895099	29	13,2	0,526	6	2,97	113					
500 x 221	220,5	280,9	500	12,5	455	22,4	500	138161	5526	22,18	5996	46674	1867	12,89	2.818	13,86	406	26611872	36	11,2	0,446	8	2,98	106					
500 x 233	233	296,8	500	16	455	22,4	500	140908	5636	21,79	6177	46682	1867	12,54	2.829	13,71	440	26611872	28	11,2	0,446	8	2,97	100					
500 x 253	252,8	322	500	16	450	25,0	500	153296	6132	21,82	6748	52099	2084	12,72	3.154	13,79	586	29378255	28	10	0,400	8	2,97	92					
500 x 263	263,4	335,5	500	19	450	25,0	500	155574	6223	21,53	6899	52109	2084	12,46	3.166	13,68	629	29378255	24	10	0,400	8	2,96	88					
500 x 312	312,4	398	500	19	437	31,5	500	186324	7453	21,64	8286	65650	2626	12,84	3.977	13,84	1149	36010447	23	7,9	0,317	8	2,96	74					
500 x 324	324,1	412,9	500	22,4	437	31,5	500	188689	7548	21,38	8448	65666	2627	12,61	3.992	13,74	1217	36010447	20	7,9	0,317	8	2,96	72					
500 x 333	333,1	424,3	500	25	437	31,5	500	190497	7620	21,19	8572	65682	2627	12,44	4.006	13,67	1286	36010447	17	7,9	0,317	8	2,95	70					
500 x 369	369,1	470,2	500	22,4	425	37,5	500	215306	8612	21,4	9683	78165	3127	12,89	4.741	13,86	1931	41778564	19	6,7	0,267	8	2,96	63					
500 x 378	377,8	481,3	500	25	425	37,5	500	216969	8679	21,23	9801	78180	3127	12,75	4.754	13,8	1999	41778564	17	6,7	0,267	8	2,95	61					
550 x 228	228,4	290,9	550	16	512	19,0	550	165283	6010	23,84	6598	52703	1916	13,46	2.907	14,93	324	37138082	32	14,5	0,526	6	3,27	112					
550 x 257	256,9	327,2	550	16	505	22,4	550	189447	6889	24,06	7520	62131	2259	13,78	3.420	15,08	484	43224942	32	12,3	0,446	8	3,27	100					
550 x 269	268,8	342,4	550	19	505	22,4	550	192667	7006	23,72	7711	62142	2260	13,47	3.434	14,94	533	43224942	27	12,3	0,446	8	3,26	95					
550 x 279	278,7	355	550	16	500	25,0	550	206302	7502	24,11	8219	69340	2521	13,98	3.813	15,16	645	47767822	31	11	0,400	8	3,27	92					
550 x 290	290,5	370	550	19	500	25,0	550	209427	7616	23,79	8406	69351	2522	13,69	3.826	15,04	693	47767822	26	11	0,400	8	3,26	88					
550 x 345	344,6	439	550	19	487	31,5	550	251459	9144	23,93	10110	87375	3177	14,11	4.808	15,22	1265	58706326	26	8,7	0,317	8	3,26	74					
550 x 358	357,6	455,6	550	22,4	487	31,5	550	254731	9263	23,65	10311	87392	3178	13,85	4.825	15,11	1340	58706326	22	8,7	0,317	8	3,26	72					
550 x 368	367,6	468,3	550	25	487	31,5	550	257234	9354	23,44	10465	87410	3179	13,66	4.840	15,02	1416	58706326	19	8,7	0,317	8	3,25	69					
550 x 395	394,7	502,8	550	19	475	37,5	550	288317	10484	23,95	11642	104012	3782	14,38	5.715	15,33	2051	68280365	25	7,3	0,267	8	3,26	65					
550 x 407	407,3	518,9	550	22,4	475	37,5	550	291353	10595	23,7	11834	104029	3783	14,16	5.731	15,24	2126	68280365	21	7,3	0,267	8	3,26	63					
550 x 417	417,1	531,3	550	25	475	37,5	550	293675	10679	23,51	11980	104046	3783	13,99	5.746	15,17	2201	68280365	19	7,3	0,267	8	3,25	61					
550 x 441	441,2	562,1	550	31,5	475	37,5	550	299480	10890	23,08	12347	104108	3786	13,61	5.790	15	2468	68280365	15	7,3	0,267	8	3,24	58					
550 x 498	498,2	634,7	550	31,5	461	44,5	550	339231	12336	23,12	14046	123515	4491	13,95	6.845	15,15	3758	78827755	15	6,2	0,225	8	3,24	51					
600 x 250	249,6	317,9	600	16	562	19,0	600	216146	7205	26,08	7887	68419	2281	14,67	3.456	16,28	354	57722931	35	15,8	0,526	6	3,57	112					
600 x 281	280,7	357,6	600	16	555	22,4	600	248024	8267	26,34	8995	80659	2689	15,02	4.068	16,44	528	67258147	35	13,4	0,446	8	3,57	100					
600 x 294	293,8	374,3	600	19	555	22,4	600	252298	8410	25,96	9226	80672	2689	14,68	4.082	16,29	582	67258147	29	13,4	0,446	8	3,56	95					
600 x 305	304,6	388	600	16	550	25,0	600	270308	9010	26,39	9835	90019	3001	15,23	4.535	16,53	704	74390625	34	12	0,400	8	3,57	92					
600 x 318	317,5	404,5	600	19	550	25,0	600	274468	9149	26,05	10062	90031	3001	14,92	4.550	16,4	757	74390625	29	12	0,400	8	3,56	88					
600 x 332	332,2	423,2	600	22,4	550	25,0	600	279182	9306	25,68	10319	90052	3002	14,59	4.569	16,25	840	74390625	25	12	0,400	8	3,56	84					
600 x 377	376,8	480	600	19	537	31,5	600	330248	11008	26,23	12114	113431	3781	15,37	5.718	16,59	1380	91625003	28	9,5	0,317	8	3,56	74					
600 x 391	391,2	498,3	600	22,4	537	31,5	600	334635	11155	25,91	12360	113450	3782	15,09	5.737	16,47	1463	91625003	24	9,5	0,317	8	3,56	71					
600 x 402	402,2	512,3	600	25	537	31,5	600	337991	11266	25,69	12547	113470	3782	14,88	5.754	16,38	1546	91625003	21	9,5	0,317	8	3,55	69					
600 x 432	431,6	549,8	600	19	525	37,5	600	379396	12647	26,27	13965	135030	4501	15,67	6.797	16,71	2238	106787109	28	8	0,267	8	3,56	65					
600 x 446	445,6	567,6	600	22,4	525	37,5	600	383496	12783	25,99	14200	135049	4502	15,42	6.816	16,61	2320	106787109	23	8	0,267	8	3,56	63					
600 x 456	456,3	581,3	600	25	525	37,5	600	386631	12888	25,79	14379	135068	4502	15,24	6.832	16,54	2402	106787109	21	8	0,267	8	3,55	61					
600 x 483	483,1	615,4	600	31,5	525	37,5	600	394469	13149	25,32	14827	135137	4505	14,82	6.880	16,35	2695	106787109	17	8	0,267	8	3,54	58					
600 x 546	545,6	695	600	31,5	511	44,5	600	447862	14929	25,39	16888	160333	5344	15,19	8.137	16,51	4104	123586390	16	6,7	0,225	8	3,54	51					

PERFIL	MASSA	ÁREA	ALT.	ALMA			MESAS				EIXO X - X				EIXO Y - Y				rT	IT	Cw	h/tw	bf/2tf	d/af	ec	u	u/A
	m	A	d	tw	h	tf	bf	lx	Wx	rx	Zx	ly	Wy	ry	Zy	cm	cm ⁴	cm ⁶									
CS	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm	cm ⁴	cm ⁶	cm ⁻¹	mm	m ² /m	m ⁻¹		
650 x 305	304,6	388	650	16	605	22,4	650	317584	9772	28,61	10602	102547	3155	16,26	4.771	17,8	573	100958460	38	14,5	0,446	8	3,87	100			
650 x 319	318,9	406,2	650	19	605	22,4	650	323120	9942	28,2	10876	102561	3156	15,89	4.787	17,64	631	100958460	32	14,5	0,446	8	3,86	95			
650 x 330	330,5	421	650	16	600	25,0	650	346352	10657	28,68	11596	114448	3521	16,49	5.320	17,9	762	111745199	38	13	0,400	8	3,87	92			
650 x 345	344,6	439	650	19	600	25,0	650	351752	10823	28,31	11866	114461	3522	16,15	5.335	17,76	820	111745199	32	13	0,400	8	3,86	88			
650 x 361	360,6	459,4	650	22,4	600	25,0	650	357872	11011	27,91	12172	114483	3523	15,79	5.357	17,59	911	111745199	27	13	0,400	8	3,86	84			
650 x 395	395,2	503,4	650	16	587	31,5	650	418935	12890	28,85	14042	144198	4437	16,92	6.692	18,09	1439	137885561	37	10,3	0,317	8	3,87	77			
650 x 409	409	521	650	19	587	31,5	650	423991	13046	28,53	14300	144212	4437	16,64	6.707	17,97	1496	137885561	31	10,3	0,317	8	3,86	74			
650 x 425	424,7	541	650	22,4	587	31,5	650	429722	13222	28,18	14593	144233	4438	16,33	6.728	17,83	1586	137885561	26	10,3	0,317	8	3,86	71			
650 x 437	436,7	556,3	650	25	587	31,5	650	434104	13357	27,93	14817	144255	4439	16,1	6.746	17,74	1677	137885561	23	10,3	0,317	8	3,85	69			
650 x 468	468,5	596,8	650	19	575	37,5	650	487894	15012	28,59	16500	171673	5282	16,96	7.974	18,1	2425	160980133	30	8,7	0,267	8	3,86	65			
650 x 484	483,8	616,3	650	22,4	575	37,5	650	493280	15178	28,29	16781	171694	5283	16,69	7.994	17,99	2515	160980133	26	8,7	0,267	8	3,86	63			
650 x 496	495,6	631,3	650	25	575	37,5	650	497399	15305	28,07	16996	171715	5284	16,49	8.012	17,91	2604	160980133	23	8,7	0,267	8	3,85	61			
650 x 525	524,9	668,6	650	31,5	575	37,5	650	507697	15621	27,56	17533	171790	5286	16,03	8.065	17,7	2923	160980133	18	8,7	0,267	8	3,84	57			
650 x 593	592,8	755,2	650	31,5	561	44,5	650	577540	17770	27,65	19993	203826	6272	16,43	9.540	17,88	4449	186688314	18	7,3	0,225	8	3,84	51			
700 x 389	389	495,6	700	22,4	650	25,0	700	450118	12861	30,14	14179	142978	4085	16,99	6.207	18,94	982	162791016	29	14	0,400	8	4,16	84			
700 x 426	426,2	542,9	700	16	637	31,5	700	527527	15072	31,17	16364	180097	5146	18,21	7.758	19,47	1550	201185305	40	11,1	0,317	8	4,17	77			
700 x 441	441,2	562	700	19	637	31,5	700	533989	15257	30,82	16668	180111	5146	17,9	7.775	19,34	1611	201185305	34	11,1	0,317	8	4,16	74			
700 x 458	458,2	583,7	700	22,4	637	31,5	700	541312	15466	30,45	17013	180135	5147	17,57	7.797	19,2	1709	201185305	28	11,1	0,317	8	4,16	71			
700 x 471	471,2	600,3	700	25	637	31,5	700	546912	15626	30,18	17276	180158	5147	17,32	7.817	19,09	1807	201185305	25	11,1	0,317	8	4,15	69			
700 x 505	505,4	643,8	700	19	625	37,5	700	615335	17581	30,92	19246	214411	6126	18,25	9.244	19,49	2612	235226318	33	9,3	0,267	8	4,16	65			
700 x 522	522	665	700	22,4	625	37,5	700	622253	17779	30,59	19578	214434	6127	17,96	9.266	19,37	2709	235226318	28	9,3	0,267	8	4,16	63			
700 x 535	534,8	681,3	700	25	625	37,5	700	627542	17930	30,35	19832	214456	6127	17,74	9.285	19,28	2806	235226318	25	9,3	0,267	8	4,15	61			
700 x 567	566,7	721,9	700	31,5	625	37,5	700	640767	18308	29,79	20467	214538	6130	17,24	9.343	19,05	3151	235226318	20	9,3	0,267	8	4,14	57			
700 x 640	640,2	815,5	700	31,5	611	44,5	700	730131	20861	29,92	23359	254551	7273	17,67	11.054	19,24	4795	273267687	19	7,9	0,225	8	4,14	51			
750 x 417	417,5	531,8	750	22,4	700	25,0	750	556995	14853	32,36	16338	175847	4689	18,18	7.119	20,28	1053	230987549	31	15	0,400	8	4,46	84			
750 x 457	457,2	582,4	750	16	687	31,5	750	653434	17425	33,5	18862	221508	5907	19,5	8.903	20,86	1661	285848980	43	11,9	0,317	8	4,47	77			
750 x 473	473,4	603	750	19	687	31,5	750	661540	17641	33,12	19216	221524	5907	19,17	8.921	20,72	1727	285848980	36	11,9	0,317	8	4,46	74			
750 x 492	491,7	626,4	750	22,4	687	31,5	750	670727	17886	32,72	19618	221549	5908	18,81	8.946	20,56	1832	285848980	31	11,9	0,317	8	4,46	71			
750 x 506	505,8	644,3	750	25	687	31,5	750	677752	18073	32,43	19924	221574	5909	18,54	8.967	20,45	1937	285848980	27	11,9	0,317	8	4,45	69			
750 x 542	542,3	690,8	750	19	675	37,5	750	763246	20353	33,24	22203	263710	7032	19,54	10.608	20,87	2800	334636688	36	10	0,267	8	4,46	65			
750 x 560	560,3	713,7	750	22,4	675	37,5	750	771960	20586	32,89	22591	263735	7033	19,22	10.632	20,74	2904	334636688	30	10	0,267	8	4,46	62			
750 x 574	574,1	731,3	750	25	675	37,5	750	778623	20763	32,63	22887	263760	7034	18,99	10.652	20,64	3008	334636688	27	10	0,267	8	4,45	61			
750 x 608	608,5	775,1	750	31,5	675	37,5	750	795282	21208	32,03	23627	263848	7036	18,45	10.714	20,41	3379	334636688	21	10	0,267	8	4,44	57			
750 x 687	687,4	875,7	750	31,5	661	44,5	750	907500	24200	32,19	26987	313063	8348	18,91	12.680	20,61	5141	389337823	21	8,4	0,225	8	4,44	51			