

SISTEMAS ESTRUTURAIS
MISTOS PARA EDIFICAÇÕES
COMERCIAIS E RESIDENCIAIS

Dr. Pedro C. G. S. Vellasco, MSc; PhD; DIC.
Professor Adjunto, Instituto Politécnico,
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro, UERJ, Brasil

Prof. Roger E. Hobbs, PhD; DIC;
FIStructE.
Professor of Structural Engineering,
Head of Civil Engineering Department,
Imperial College of Science Technology and
Medicine, University of London, U. K.

1. INTRODUÇÃO

2. SISTEMAS ESTRUTURAIS MISTOS PARA GRANDES VÃOS

3. VIGAS MISTAS COM INÉRCIA VARIÁVEL ("COMPOSITE TAPERED BEAMS")

4. FLAMBAGEM DE ALMA EM VIGAS MISTAS COM INÉRCIA VARIÁVEL

5. EXEMPLO

6. CONCLUSÕES

1. INTRODUÇÃO

Sistemas Mistos Convencionais:

→ Vãos de 6 a 9 Metros

→ Interação Total

→ Vigas Secundárias Mesmo Plano/Sobre Principais

Vãos Maiores?

Flexibilidade do Aproveitamento do Espaço

Novos Sistemas Mistos Eficientes e Econômicos

Adequação Vantagens e Desvantagens

"Composite Tapered Beam"

Metodologia de Solução → Problemas

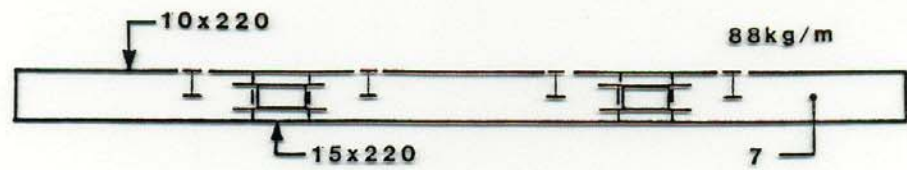
Exemplo de Dimensionamento

2. SISTEMAS ESTRUTURAIS MISTOS PARA GRANDES VÃOS

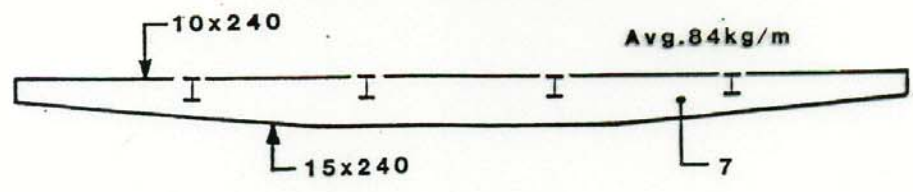
Melhores Trabalhos → Owens
Principais Conclusões → Tabela 1

- **Os Vãos, Espaçamentos → Econômicos e Práticos**
- **A Razão Vão Livre/Altura Total do Pavimento**
 - Vãos → 15 Metros**
 - Folga: → 130mm → Laje Mista**
 - 75mm → Acomodação de Instalações**
 - Limite Superior → Economia Estrutural**
 - Limite Inferior → Restrição de Ordem Prática**
- **Área Máxima para Acomodação de Serviços**
 - Soma das Áreas para Instalações em Geral**
 - Uma Altura Mínima de 300mm**
 - Aberturas Máximas → < 60% Altura**
- **As Densidades de Aço por Área de Pavimento**
 - Padrão → 15 Metros**
 - Sobrecarga → 4kPa**
 - Carga Permanente → 1.3kPa**
 - Vigas Secundárias → Vãos: 3 A 9 Metros**
 - Sensibilidade → 20 A 30%**

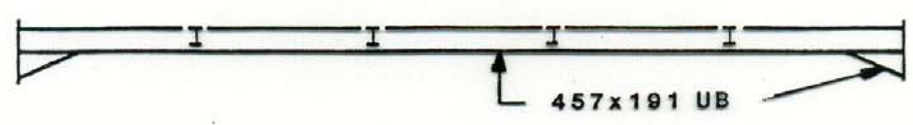
6



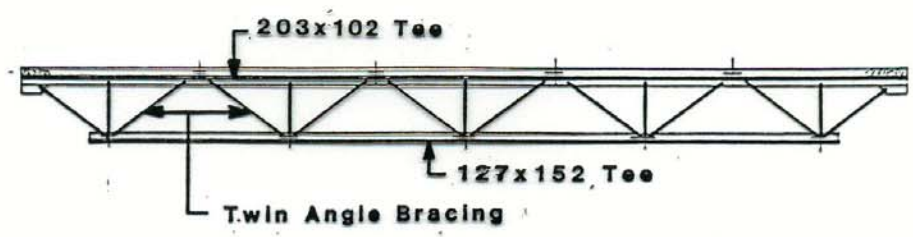
**Vigas Soldadas Leves
(Light Plate Girders)**



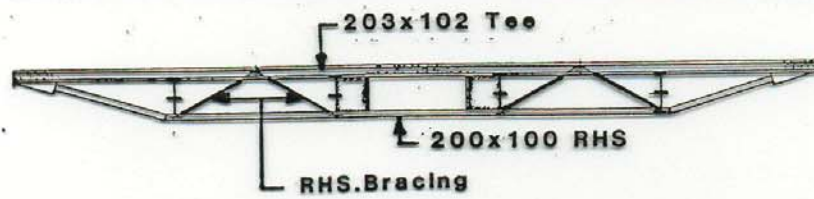
**Vigas com Inércia Variável
(Tapered Beams)**



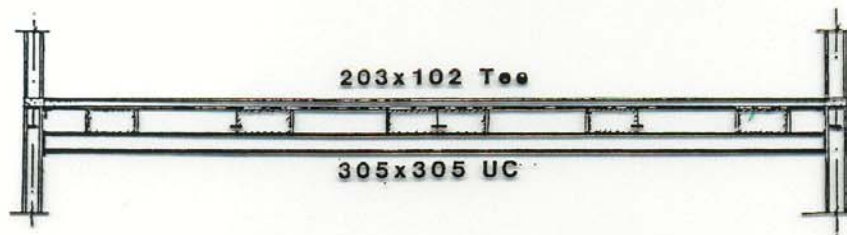
**Vigas Misuladas
(Haunched Beams)**



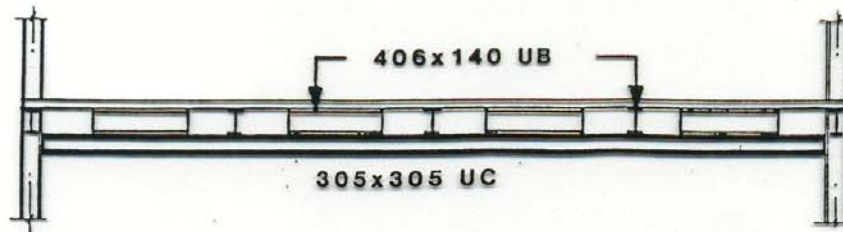
Treliça Tipo 1



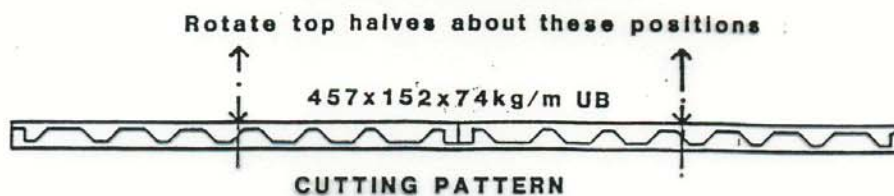
Treliça Tipo 2



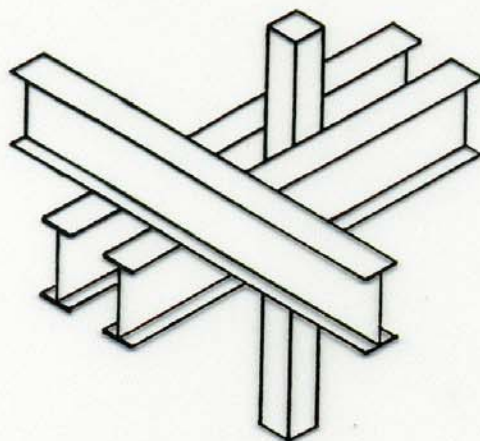
Stub-Giders Tipo 1



Stub-Giders Tipo 2



**Vigas Alveoladas
(Castelated Beams)**



**Sistema de Grelhas
(Dual Plane Grillage)**



**Vigas de Aba Larga (U.B.)
Recortadas e Reforçadas nos Apoios**

Esquema Estrutural	Vãos Típicos da Estrutura Principal	Espaçamento Típico das Vigas Principais	Razão Vão/Altura Total do Pavimento	Contribuição para Resistência à Cargas Laterais	Área Máxima para Acomodação de Serviços	Flexibilidade ao Longo do Vão para Acomodação de Serviços	Facilidade de Manutenção e Troca de Serviços	Densidade de Aço por Área do Pavimento (padrão com 15 m de vão)	Custo Estimado de Fabricação e Montagem	Provável Economia com Automação
Vigas Soldadas Leves (Light Plate Girders)	acima de 12 metros	entre 3 e 7.5 metros	15 19	Possível	2.3 m ² 1.8 m ²	Boa	Ruim	23	1.25	Pequena
Vigas com Inércia Variável (Tapered Beams)	acima de 12 metros	entre 3 e 7.5 metros	14 19	Nenhuma	1.9 m ² 0.9 m ²	Somente Perto do Alinhamento das Colunas	Boa	21	1.15	Pequena
Vigas Misuladas (Haunched Beams)	acima de 12 metros	entre 3 e 7.5 metros	16 19	Boa	5.3 m ² 3.6 m ²	Fora do Alinhamento das Colunas	Excelente	24	1.25	Média
Treliças	acima de 15 metros	entre 3 e 7.5 metros	11.5 15	Possível Possível	1.5 m ² 1.5 m ²	Somente no Centro do Vão	Razoável	de 20 a 31	1.55	Alta
Stub-Girders Tipo 1	de 10 a 15 metros	entre 8 e 12 metros	12 14	Possível	3.0 m ² 2.5 m ²	Boa	Boa	33	1.3	Alta
Stub-Girders Tipo 2	de 10 a 15 metros	entre 8 e 12 metros	12 14	Possível	3.5 m ² 3.0 m ²	Boa	Boa	34	1.35	Alta
Vigas Alveoladas (Castelated Beams)	até 16 metros	até 3.6 metros	17 18	Possível	1.5 m ² 1.3 m ²	Sobre o Terço Central do Vão	Razoável	28	1.3	Média/Alta
Sistema de Grelhas (Dual Plane Grillage)	até 9 metros	até 15 metros	13 15	Desconhecido	5.0 m ² 4.8 m ²	Excelente	Excelente	33	0.95	Pequena
Vigas de Aba Larga (U.B.) Recortadas e Reforçadas nos Apoios	até 16 metros	entre 3 e 7.5 metros	16 19	Nenhuma	1.2 m ² 0.9 m ²	Somente Perto do Alinhamento das Colunas	Boa	29	1.3	Média
Vigas de Aba Larga (U.B.) com Aberturas	até 16 metros	entre 3 e 7.5 metros	17 20	Possível	2.0 m ² 1.5 m ²	Boa	Ruim	29	1.25	Média
Vigas de Aba Larga (U.B.) com Região de Serviços em Separado	até 16 metros	entre 3 e 7.5 metros	12 15	Possível	6.0 m ² 4.5 m ²	Excelente	Excelente	29	1.0	Pequena

Tabela 1 - Sistemas Mistos para Edificações Comerciais e Residenciais. (Após [OWEN86]).

Destacam-se:

**Soluções com a Inércia Variando ao Longo do Vão
"Haunched And Tapered Beams"**

Boa Flexibilidade para Acomodação de Serviços

Pequenas Razões Vão/Altura do Pavimento

Baixas Densidades de Aço por Área de Pavimento

Menores Custos Finais de Fabricação e Montagem

3. VIGAS MISTAS COM INÉRCIA VARIÁVEL "COMPOSITE TAPERED BEAMS"

Mudança de Concepção

→ Flexibilidade de Espaços Úteis e Serviços

Vigas Mistas Associadas a Deck-Metálicos

→ Vãos de 6 a 7.5 Metros

Flexibilidade → Vãos Maiores que 7.5 Metros

→ Sem Colunas Intermediárias

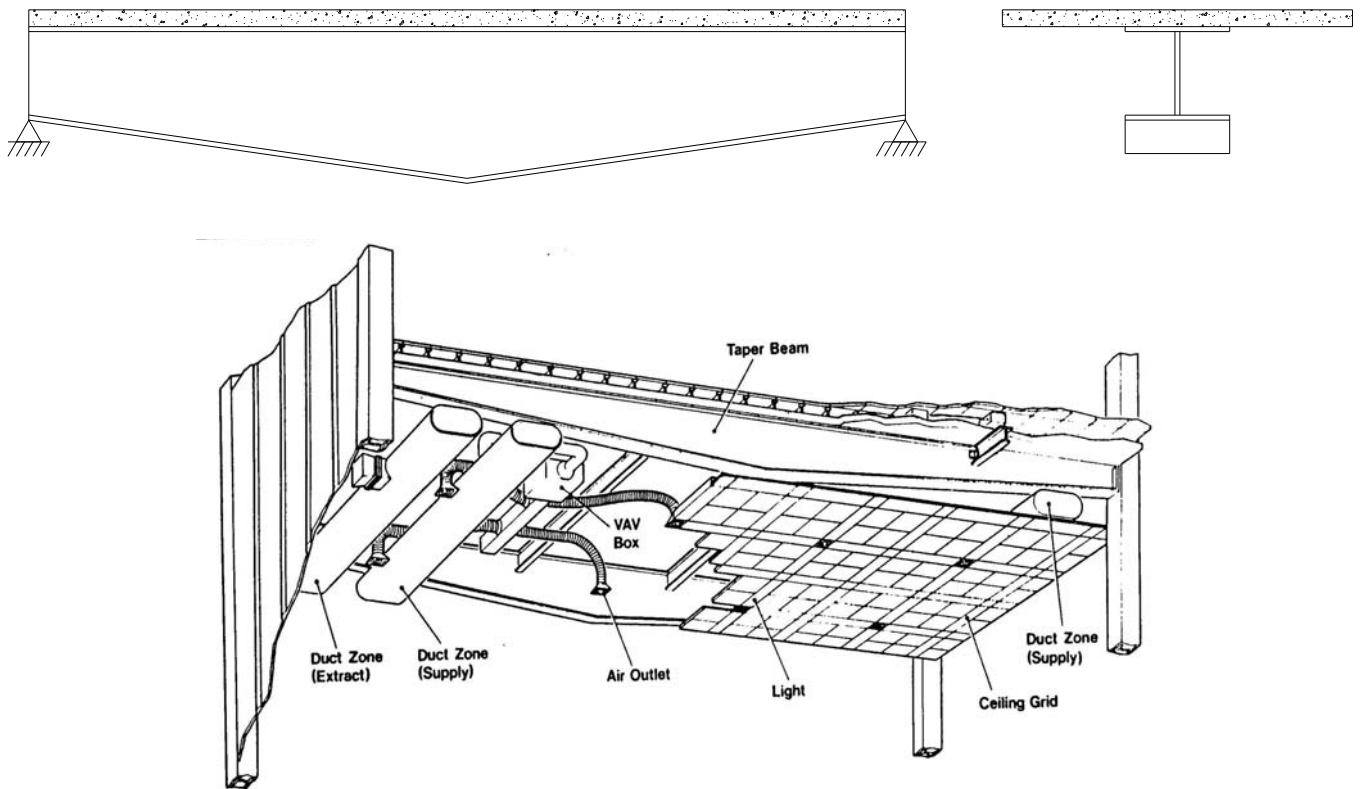
Vãos Maiores → Vigas Mais Altas

Altura do Edifício ↗

→ Alvenarias, Instalações e Acabamentos ↗

Racionalização → Vigas Com Altura/Inércia Variáveis

→ WARDS



Vantagens Principais:

Instalações Não Aumentam a Altura do Pavimento

Altura → 20% de Construções Tradicionais

Não Interferência → Inspeção e Reparo dos Serviços

**Vigas → Produção Automatizada
→ Padronização/Economia**

Redução do Numero de Pilares/Fundações

Redução da Área Protegida Contra Fogo

Facilidade de Execução de Pisos e Forros

Menos Peças na Montagem

Simplicidade de Dimensionamento

Teste em Escala Real

Viga Mista com Inércia Variável → 15 Metros de Vão

Carga De Serviço → Flambagem da Alma (5mm)

Carga de Ruína → 2 X Carga de Serviço Prevista

Teste Dinâmico da Estrutura

→ Frequência de Vibração: 5.32 Hz

→ Amortecimento de 2.5 a 4.5%

Particularidades → Maior Profundidade:

Construções Contínuas

- **Momentos Negativos → Armaduras**
→ Flambagem Lateral
- **Interação Cisalhamento X Flexão**

Construções Simplesmente Apoiadas

- **Localização de Rótulas Plásticas**
- **Efeitos de Imperfeições e Tensões Residuais**
- **Vibrações**
- **Interação Parcial**
- **Flambagem da Alma → Estudo Detalhado pelo Autor**

4. FLAMBAGEM DE ALMA EM VIGAS MISTAS COM INÉRCIA VARIÁVEL

Flambagem → Mudança de Direção nas Mesas

Objetivos:

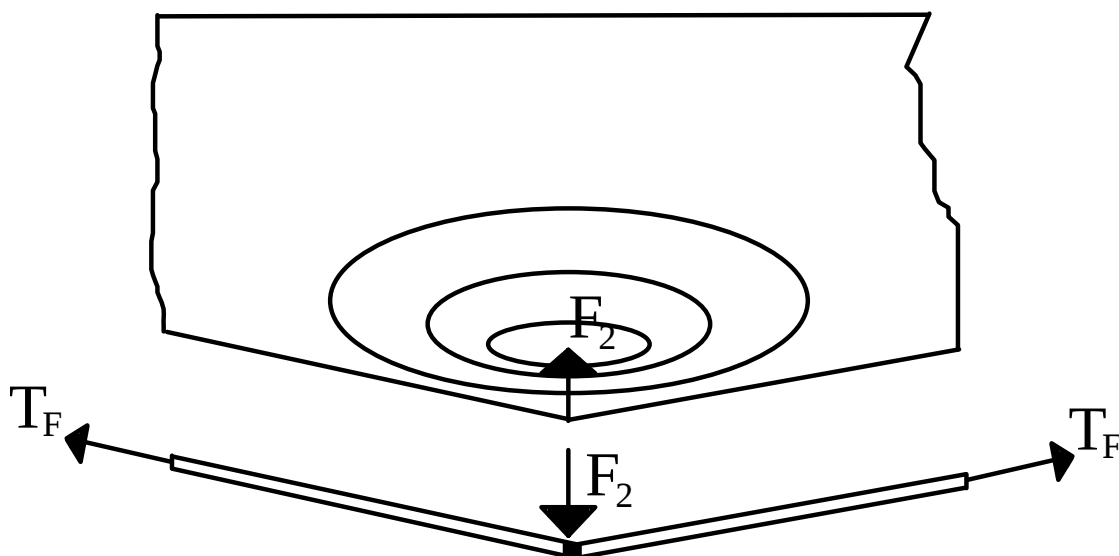
Identificação/Avaliação de Parâmetros:

Regra Simples de Projeto → Prever a Flambagem

Soluções Convencionais → Flambagem Lateral

Soluções Mistas → Restrição Lateral → Laje

Flambagem → Modelo Simples → Equilíbrio



Solução Convencional → Enrijecedores → Alto Custo

Revisão Bibliográfica → Inexistência de Trabalhos

Diferença Fundamental em Termos de Comportamento

Patch Load X Flambagem Vertical da Alma

Aumento da Carga Crítica de Compressão da Alma

Investigação Experimental

Metade da Escala Real

Concreto → Mesa Superior + Espessa

Seis Testes Foram Realizados

Primeira Série: Espessuras de alma 3, 5 e 7 Milímetros

**Vigas 5 e 7mm ($h/t_w = 93, 130$) → Rótula Plástica
→ Menor Inércia**

**Viga com 3mm ($h/t_w = 217$) → Flambagem
→ Redução Carga Última**

Segunda Série: → Linha Neutra Plástica

Linha Neutra Plástica:

Vigas 1 a 3 → Próximo a Mesa Superior

Vigas 4 e 5 → Alma ($h/3.8$, $h/2.2$)

Viga 6 → Mesa Inferior

Viga 4 → Rótula Plástica → Menor Inércia

**Vigas 5 e 6 → Flambagem Plástica da Mesa
→ Redução na Capacidade Última**

**Viga 6 → Fase Construtivas → Viga Não Escorada
→ Não Ocorre Flambagem**

Linha Neutra Plástica → Pequena Influência

Análise Não-Linear Física e Geométrica

Método dos Elementos Finitos

Modelo Calibrado com Laboratório

Análise Numérica Previu:

Forma de Colapso

Deformadas

Distribuição De Tensões

Carga Última

Primeira Fase → Enrijecedores Vigas < 4mm de Alma

Enrijecedores Foram Necessários na Segunda Série

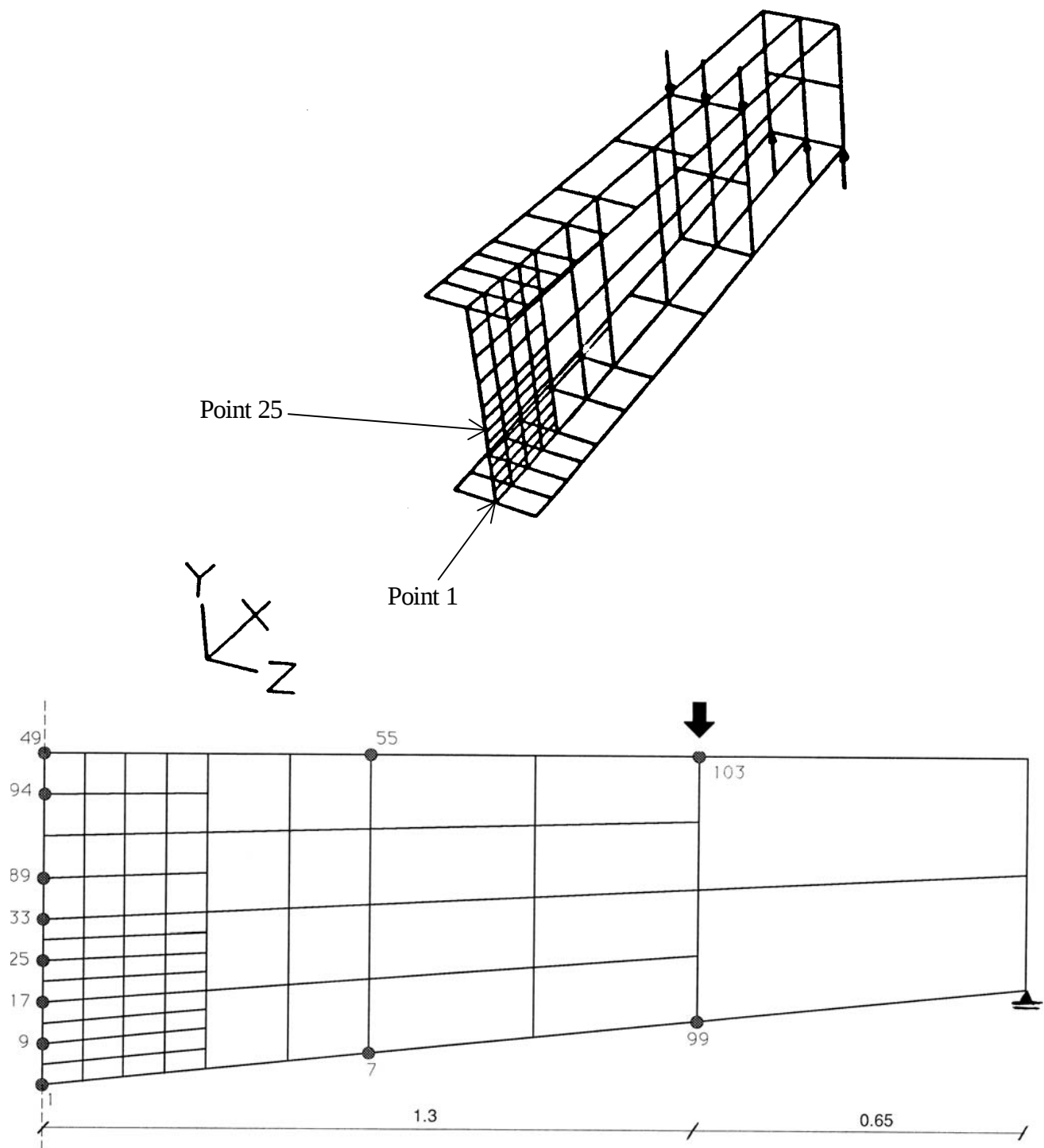


Figure 3. Finite element mesh.

Influence of the Angle of Taper and Web Thickness

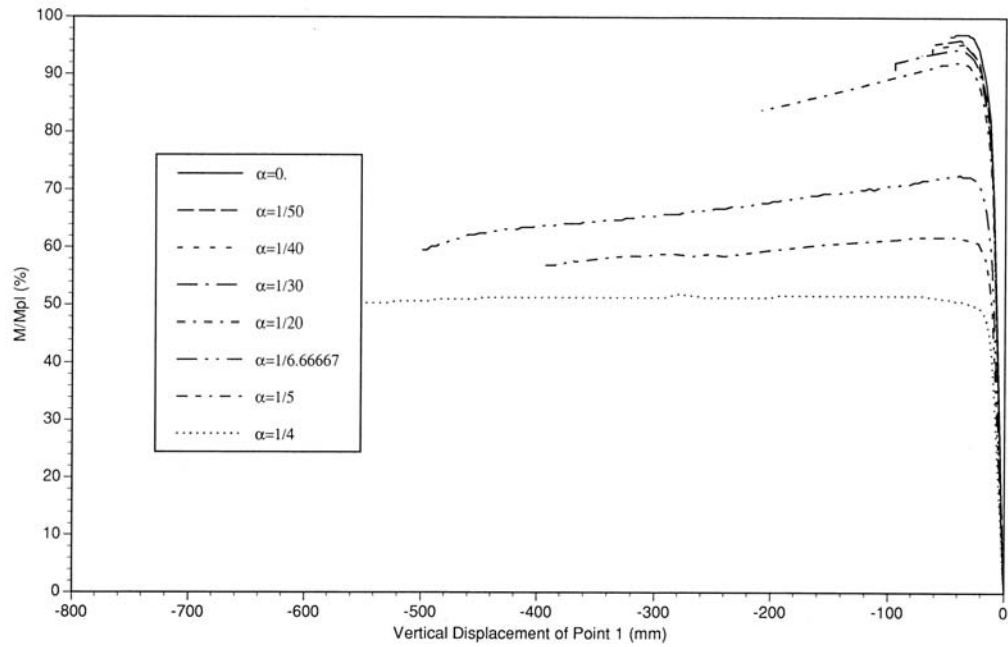
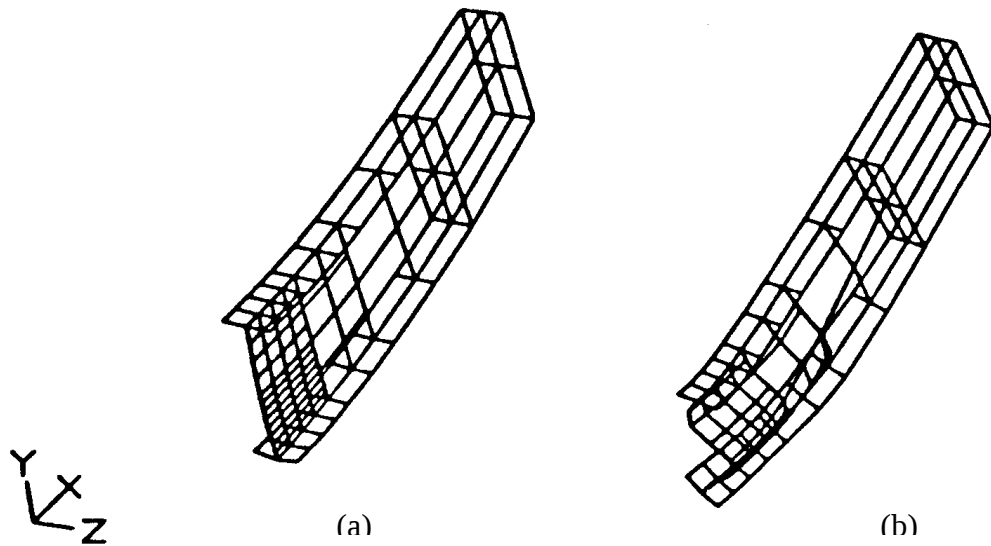


Figure 5. Vertical displacement comparison, point 1. 7mm



Figures 6.a, 6.b. Deformed configurations of the beam with $\alpha = 1.15^\circ(1/50)$ at ultimate and last loading stages.

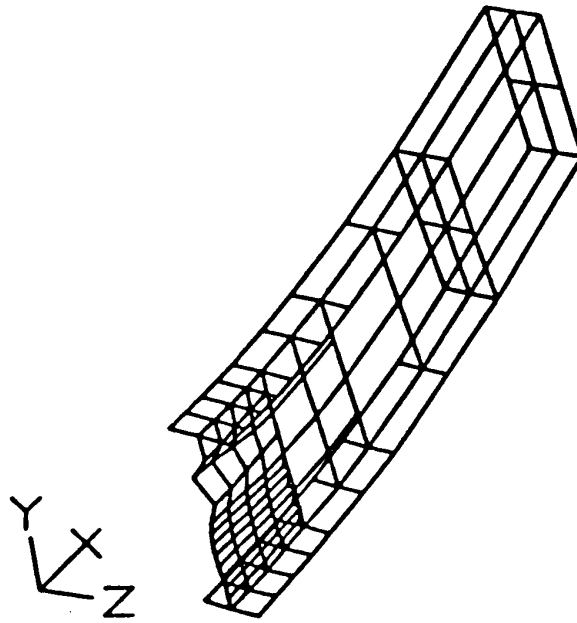


Figure 8. Deformed configuration of the beam with $\alpha = 0^\circ$.

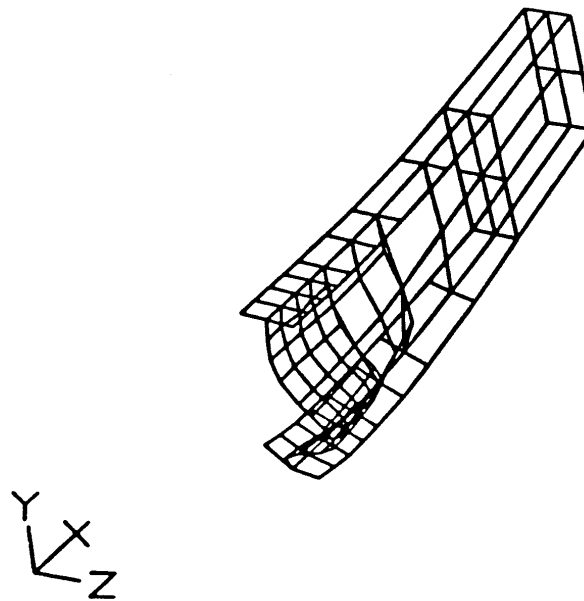
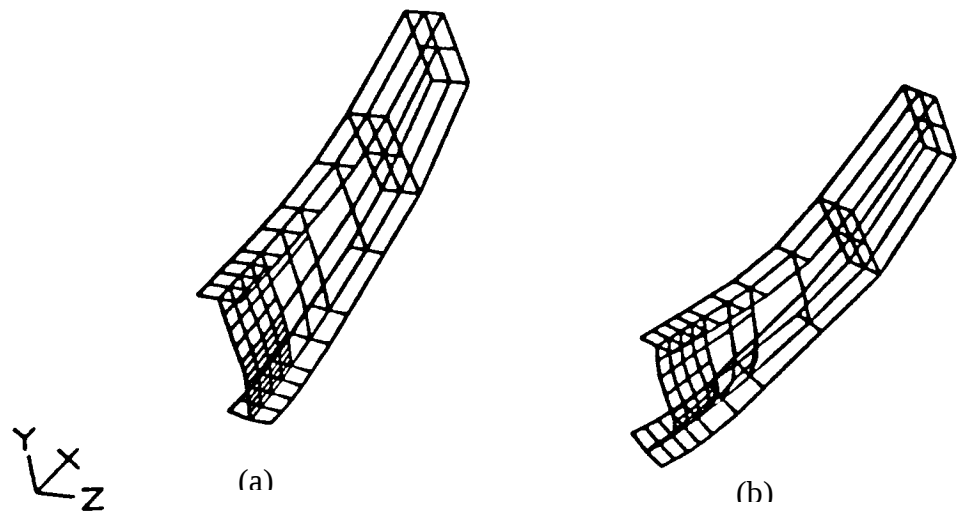


Figure 9. Deformed configuration of the beam with $\alpha = 2.86^\circ$ (1/20).

Table 1. First Series Final Loads (% Central M_{pl}).

Taper Angle/ Web Thickness	0° $\alpha=0$	1.15° $\alpha=1/50$	1.43° $\alpha=1/40$	1.91° $\alpha=1/30$	2.86° $\alpha=1/20$	8.53° $\alpha=1/6.67$	11.31° $\alpha=1/5$	14.84° $\alpha=1/4$
3mm	95.53	-	93.31	-	88.79	60.57	49.16	38.14
5mm	95.40	94.03	93.37	-	90.02	70.68	60.04	49.53
7mm	97.14	96.25	95.56	94.54	92.20	72.64	61.93	51.68
10mm	97.50	96.22	96.04	95.17	93.05	73.99	63.26	55.36

Influence of the Tension Flange Area



Figures 13.a, 13.b. Deformed configurations of the beam with $t_w = 7\text{mm}$ at penultimate and last loading stages.

Table 2. Second Series Final Loads (% Central M_{pl}).

Web Thickness/ Bottom Flange Area	3mm	5mm	7mm	10mm
3000mm ²	85.95	88.30	90.40	91.45
6250mm ²	50.99	54.67	56.30	56.41

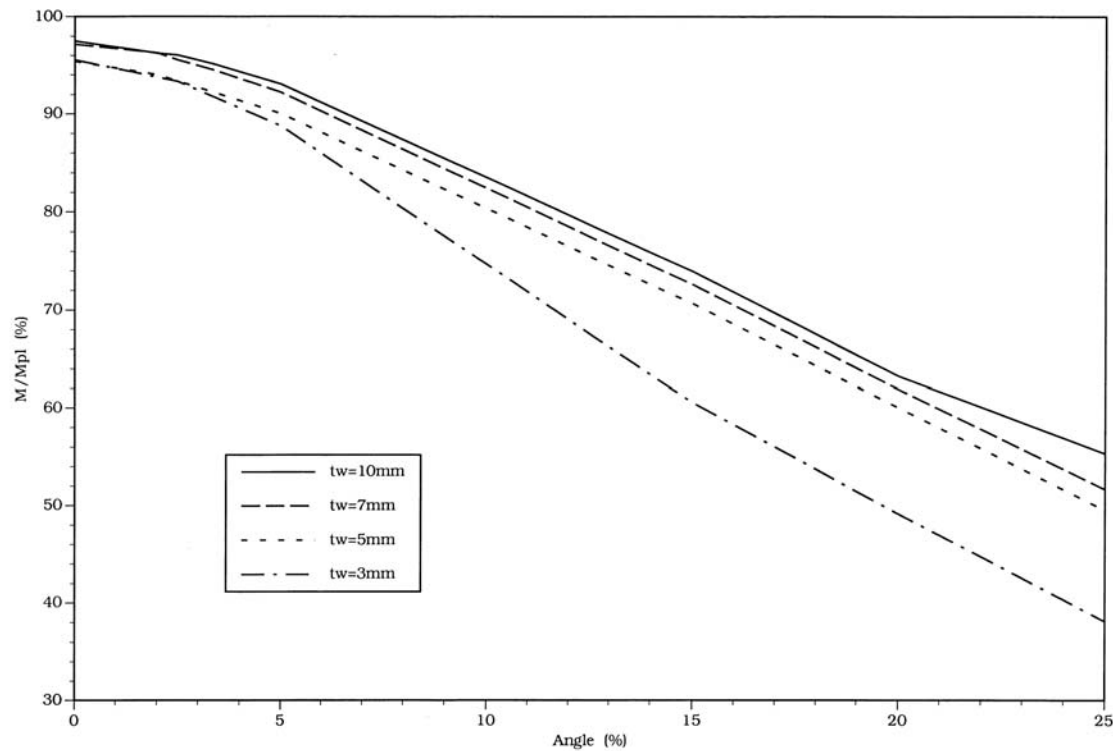


Figure 14. Influence of the angle of taper and the thickness of the web on the failure load.

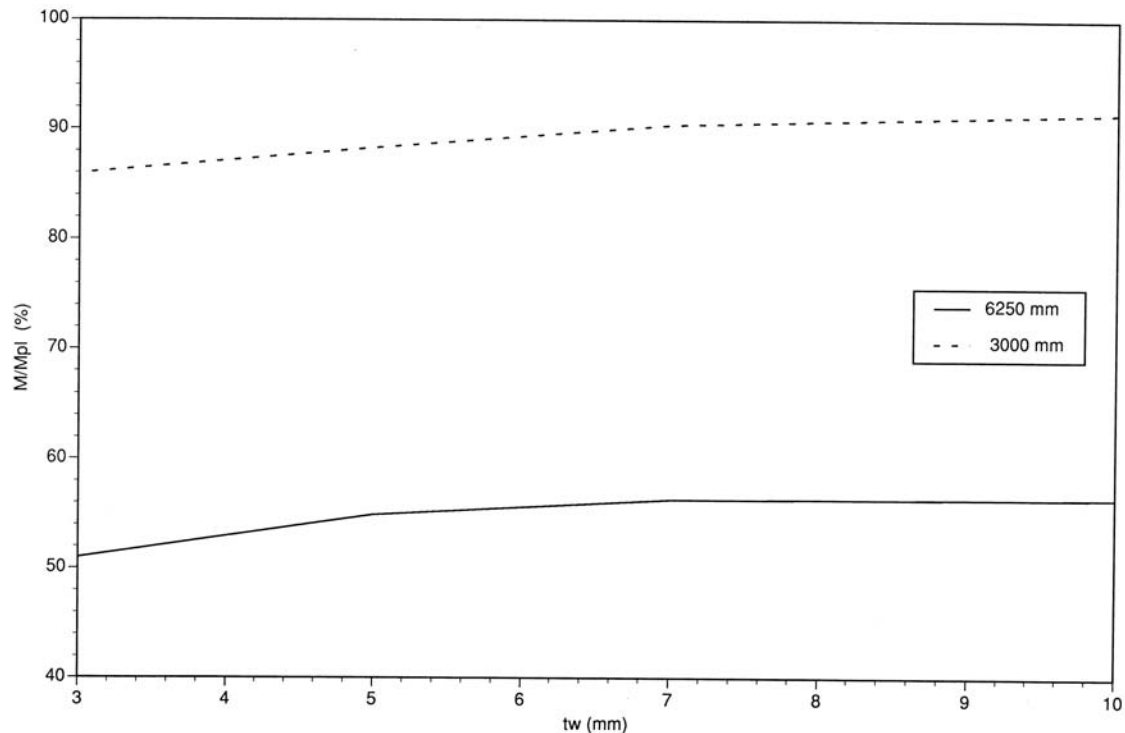


Figure 15. Influence of the area of the bottom flange on the failure load.

Análise Paramétrica → Modelo Calibrado

Análise:

Ângulo de Inclinação da Mesa Inferior

Espessura da Alma

Área da Mesa Tractionada

Obteve-se:

Momento X Rotação

Momentos Máximos

Mecanismos de Colapso

Conclui-se

**Ângulo e Área do Flange Tractionado tem Influência
Flambagem Vertical da Alma um Caso**

→ $h/t_w < 155$

→ 7mm de Alma

→ Ângulo = 14.84°

Ângulos Elevados São Raros na Prática

Modelo de Dimensionamento → Prever Flambagem

Revisão Normas Vigas de Inércia Constante

Normas Britânicas BS5950, BS5400

Norma Americana AISC-LFRD

Norma Europeia Eurocode 3

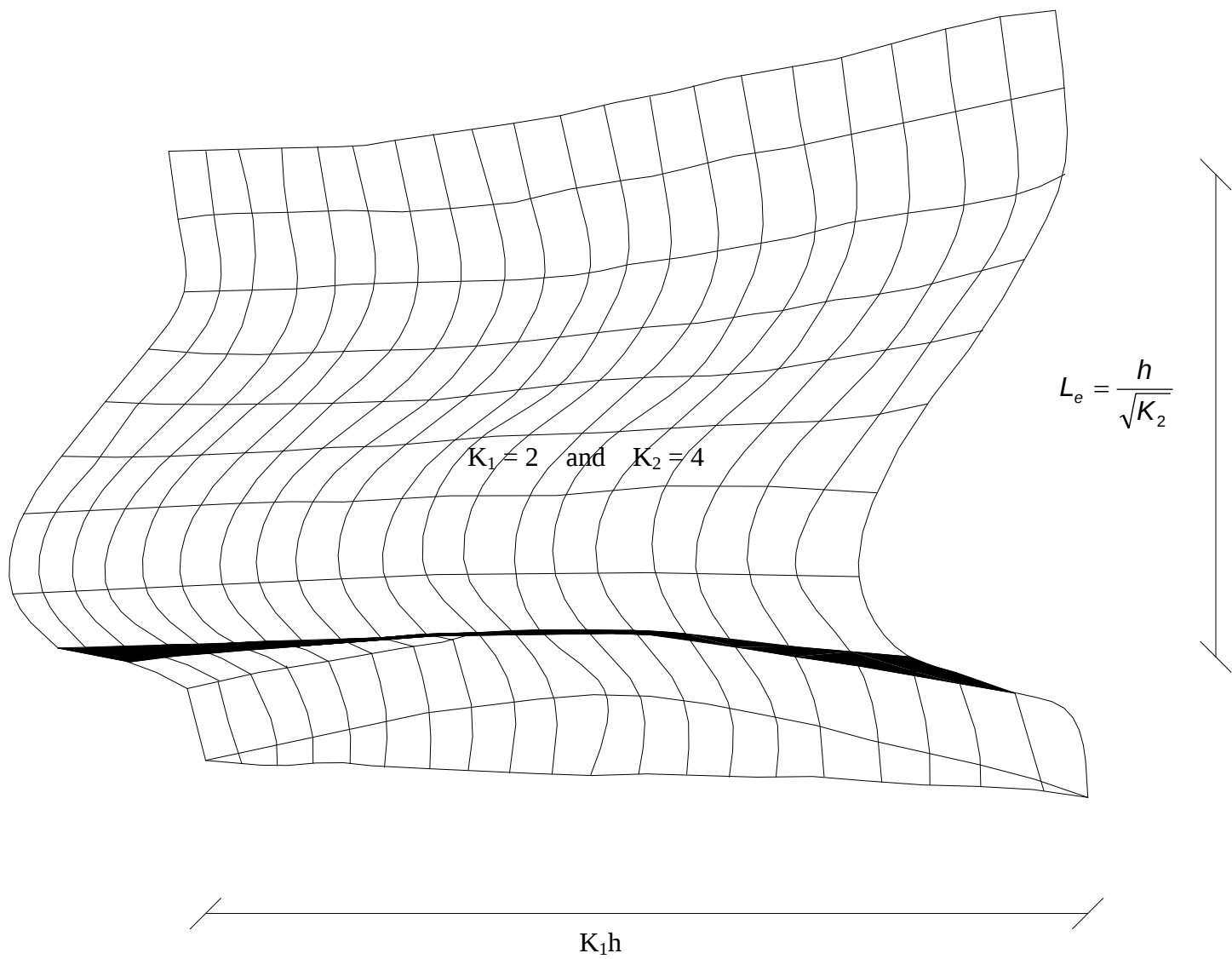
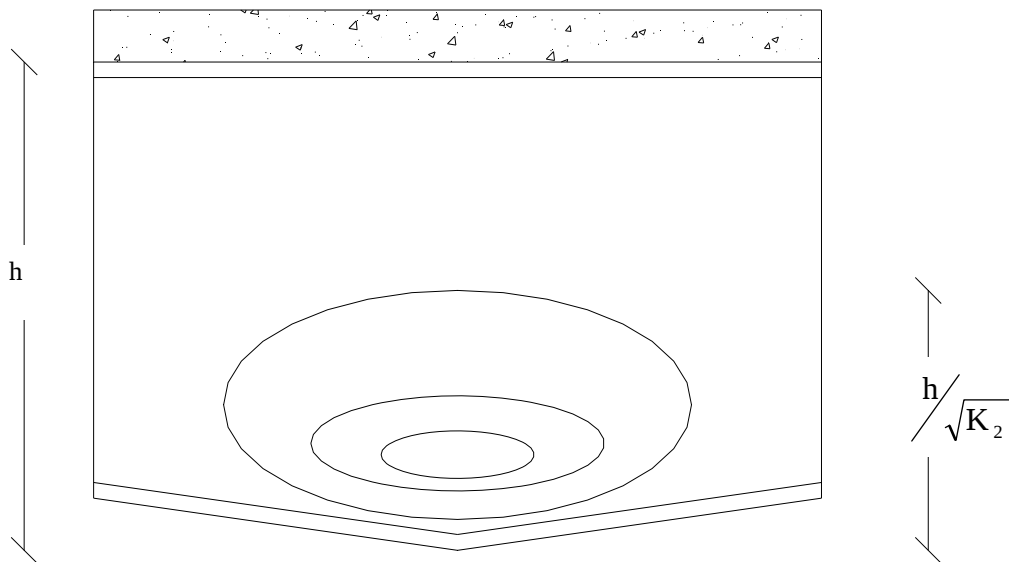
Não Avaliam Flambagem em Vigas de Inércia Variável

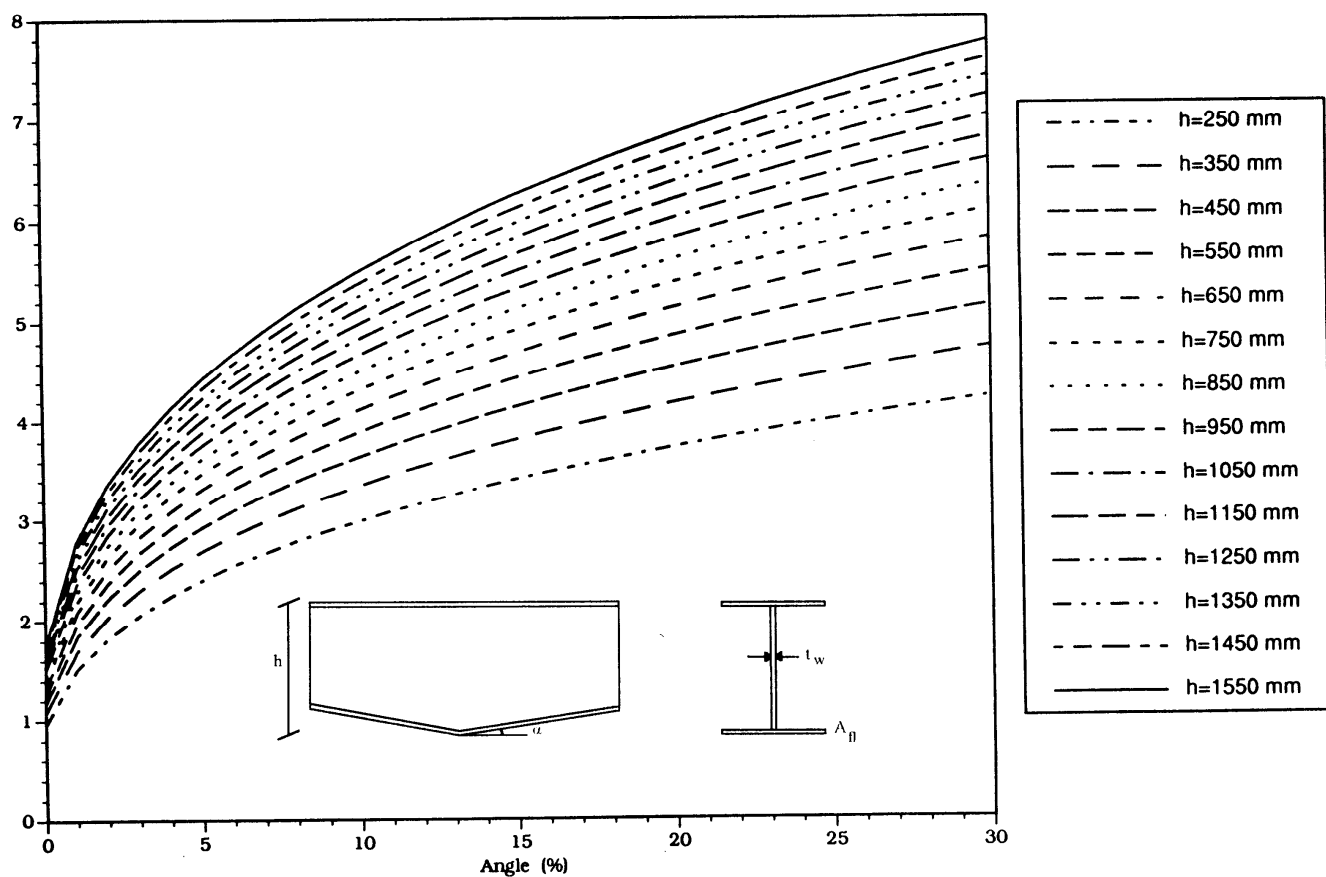
Modelo Teórico → Espessura Mínima

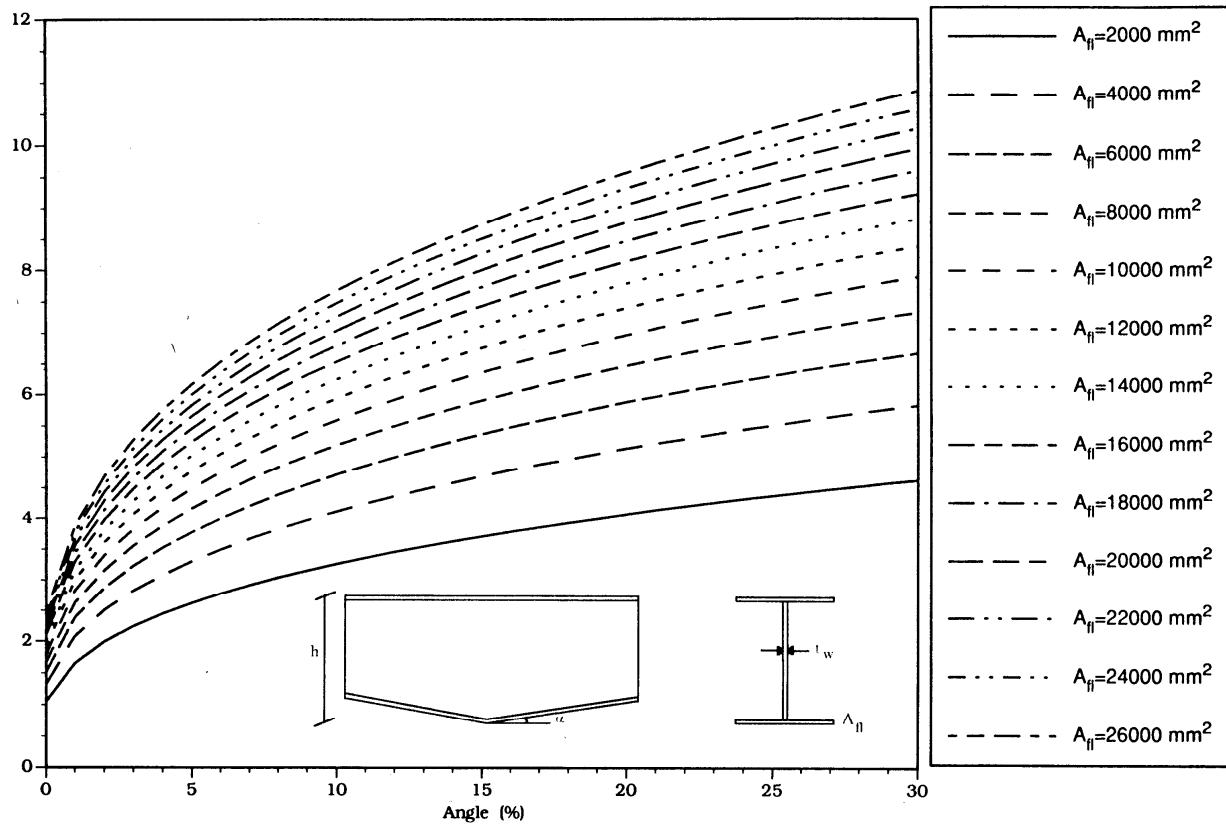
$$t_w = \sqrt[3]{\frac{0.553\sigma_y^{fl} b_f t_f h}{205000} \times \left| \frac{1.3\sigma_y^{fl}}{205000} + \frac{\sin\alpha}{2} \right|} ; \sigma_y^{fl} \text{ em MPa}$$

Modelo → Bons Resultados

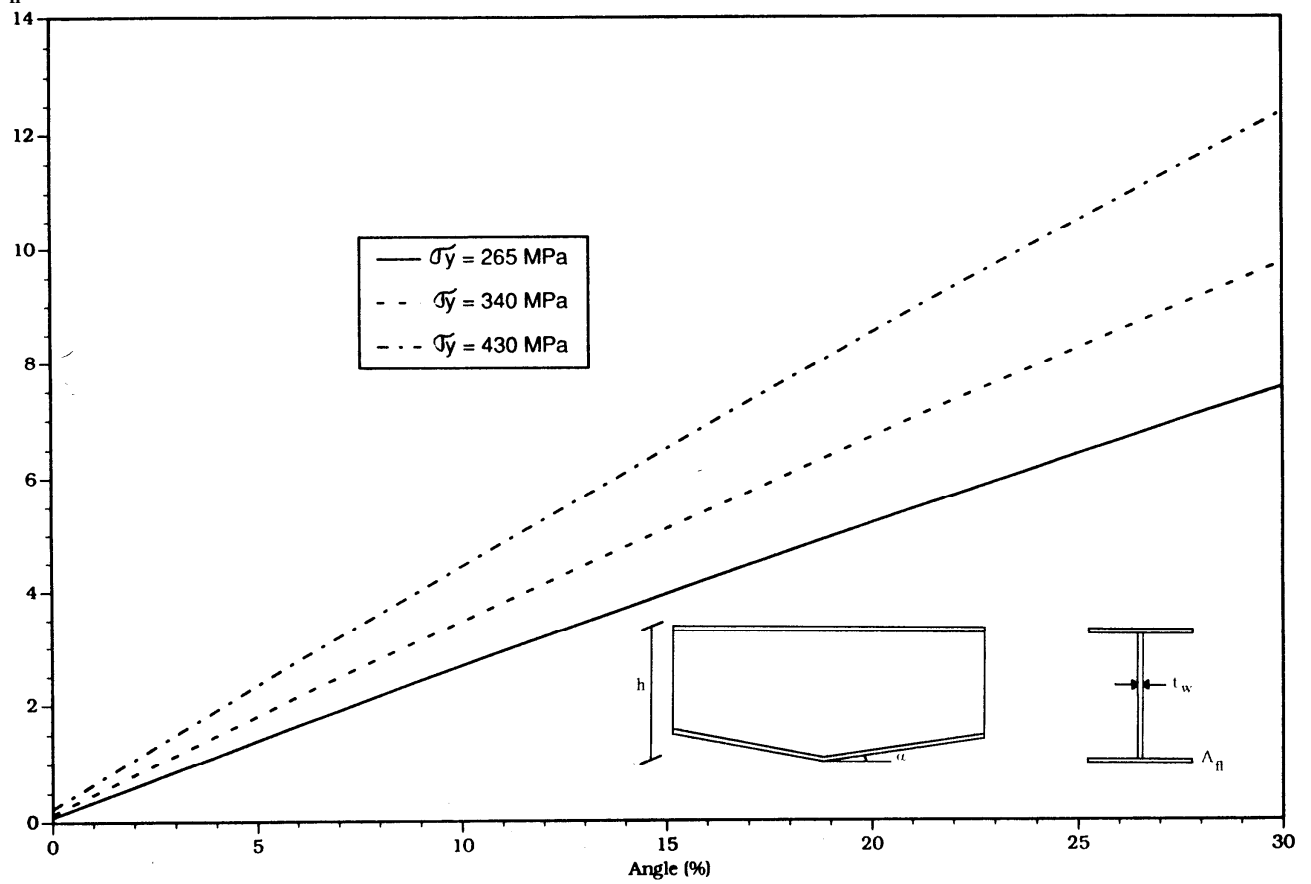
→ Experimentais/Análise Paramétrica







$$\frac{t_w^3}{A_{fl} h} \cdot 100000$$



5. EXEMPLO

Grã-Bretanha:

Largura Efetiva → Varia Linearmente

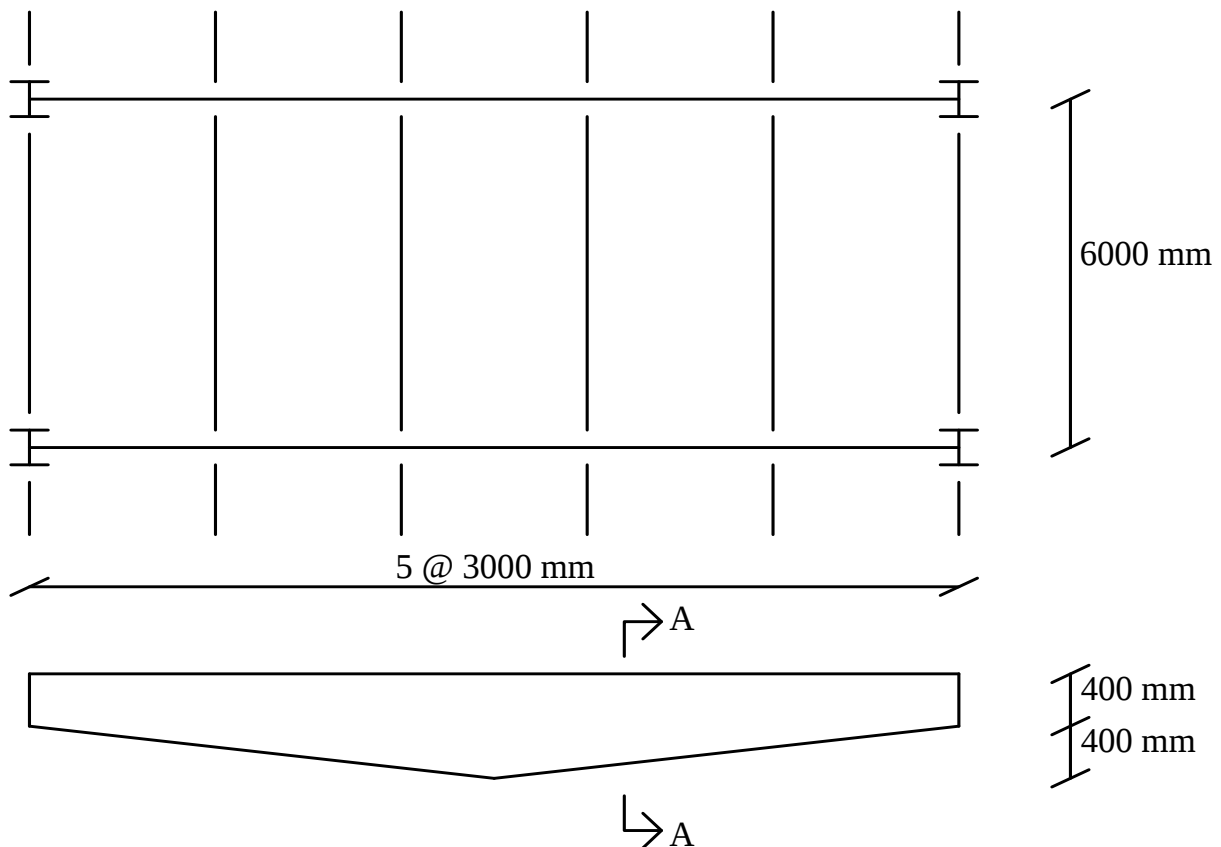
→ Distribuição de Conectores

→ Valor Máximo → 1/5 do Vão

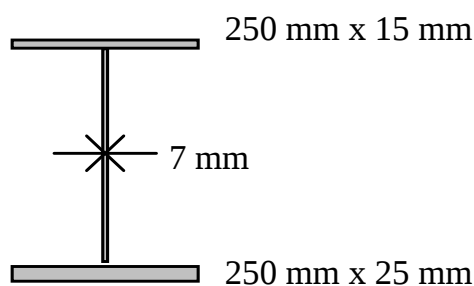
Módulos de Elasticidade Aço/Concreto = 10

Pavimento Estudado → Módulos: 6m X 15m

→ Sem Colunas Intermidiárias



CORTE AA



CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Aço do Perfil: AR-345 $F_y = 345\text{MPa}$, $F_u = 450\text{ MPa}$

Resistência Característica do Concreto: $F_{ck} = 30\text{ MPa}$

Espessura da Laje 69 mm Acima do Deck-Metálico

**Deck-Metálico "Super Holorib" 1.2 mm Espessura
51mm Altura**

AVALIAÇÃO DAS CARGAS NO PAVIMENTO

Antes da Pega do Concreto

Ações Permanentes:

Densidade do Concreto Fresco	18.8	kN/m ³
Deck-Metálico	0.174	kPa
Armação da Laje	0.040	kPa

Ações Variáveis

Sobrecarga	0.500	kPa
------------	-------	-----

Após a Pega do Concreto

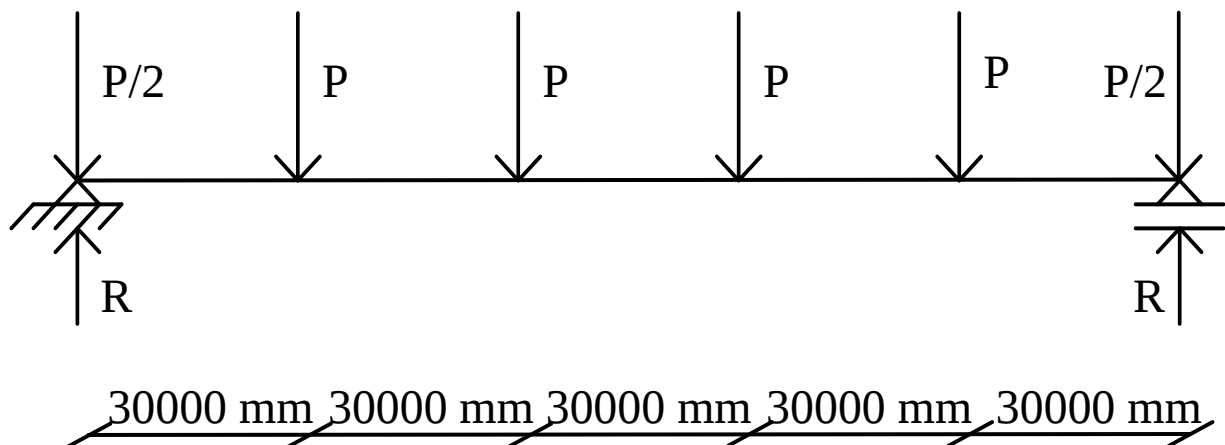
Ações Permanentes:

Densidade do Concreto Seco	17.6	kN/m ³
Serviços e Acabamentos	0.700	kPa
Divisórias	1.000	kPa

Ações Variáveis

Sobrecarga	4.000	kPa
------------	-------	-----

ESQUEMA ESTRUTURAL



COMBINAÇÕES DE CARGA

Antes da Pega do Concreto

$$P_{AT} = 1.3P_{Aperm} + 1.3P_{Avar} = 1.3(7.91 + 9.0) = 21.98\text{kN}$$

Depois da Pega do Concreto

$$P_{DT} = 1.4P_{Dperm} + 1.5P_{Dvar} = 1.4 \times 34.4 + 1.5 \times 72 = 156.16\text{kN}$$

ESFORÇOS MÁXIMOS

$$M_{\max} = 9 P$$

$$Q_{\max} = 2 P$$

Antes da Pega do Concreto

$$\begin{aligned} M_{A\max} &= 9 \times 21.98 = 197.82\text{kNm}, \\ &= 2 \times 21.98 = 43.96\text{kN} \end{aligned}$$

$$Q_{A\max}$$

Depois da Pega do Concreto

$$M_{D\max} = 9 \times 156.16 = 1405.44\text{kNm}$$

$$Q_{D\max} = 2 \times 156.16 = 312.32\text{kN}$$

PRÉ-DIMENSIONAMENTO

Altura Máxima:

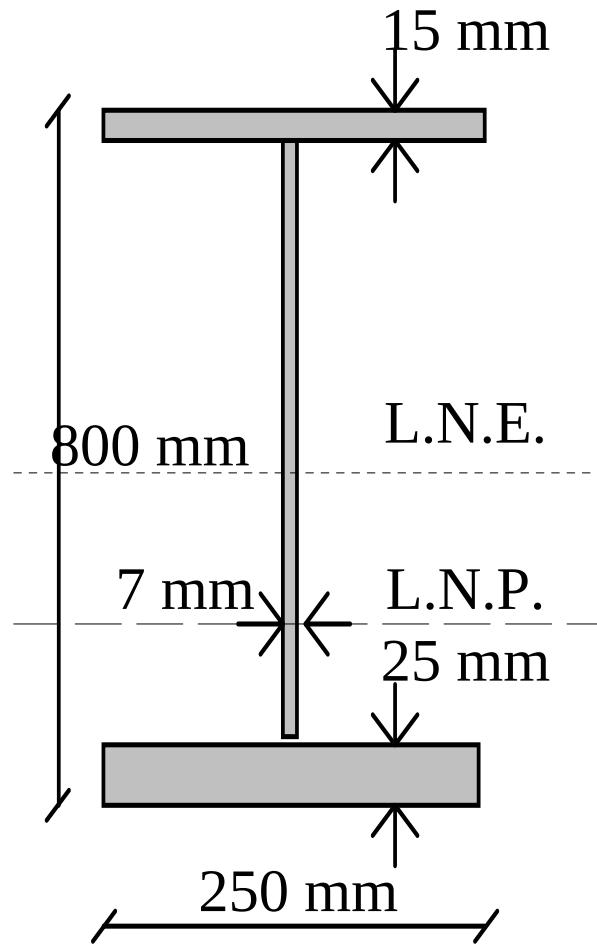
$$h_{\max} = L/20 = 15000/20 = 750, \text{ adota-se } h_{\max} = 800\text{mm}$$

Ângulo de Variação da Altura

$$2(h_{\max} - h_{\min})/L = \tan(3^\circ) \quad \therefore h_{\min} = 400\text{mm}$$

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO

$$\begin{aligned}
 A_s &= 15320 \text{ mm}^2 \\
 Y_{lne} &= 460.27 \text{ mm} \\
 Y_{lnp} &= 573.57 \text{ mm} \\
 I_x &= 1.72 \text{ E}9 \text{ mm}^4 \\
 W_{xc} &= 3.73 \text{ E}6 \text{ mm}^3 \\
 W_{xt} &= 5.05 \text{ E}6 \text{ mm}^3 \\
 I_y &= 5.21 \text{ E}7 \text{ mm}^4 \\
 r_x &= 334.79 \text{ mm} \\
 r_y &= 58.32 \text{ mm} \\
 Z_x &= 4.69 \text{ E}6 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$



SEÇÃO DE AÇO NA FASE CONSTRUTIVA

Mesa Comprimida Será Suportada Lateralmente

Flambagem Local da Mesa Comprimida

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = 250/15 = 8.34 < \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9$$

Flambagem Local da Alma

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = 760/7 = 108.57$$

$$\lambda_p = 90.68 < \lambda < \lambda_r = 136.51$$

Seção é Semi-Compacta

$$M_{pl} = Z_x F_y = 4.69E+03 \times 0.345 = 1619.85 \text{ kNm}$$

$$M_R = W_x (F_y - F_t) = 3.73E+03 (0.345 - 0.115) = 857.90 \text{ kNm}$$

$$M_n = M_{pl} - (M_{pl} - M_t) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} = 1322.42 \text{ kNm}$$

$$M_R = \phi M_n = 0.9 \times 1322.42 = 1190.18 > M_{Amax} = 197.82 \text{ kNm}$$

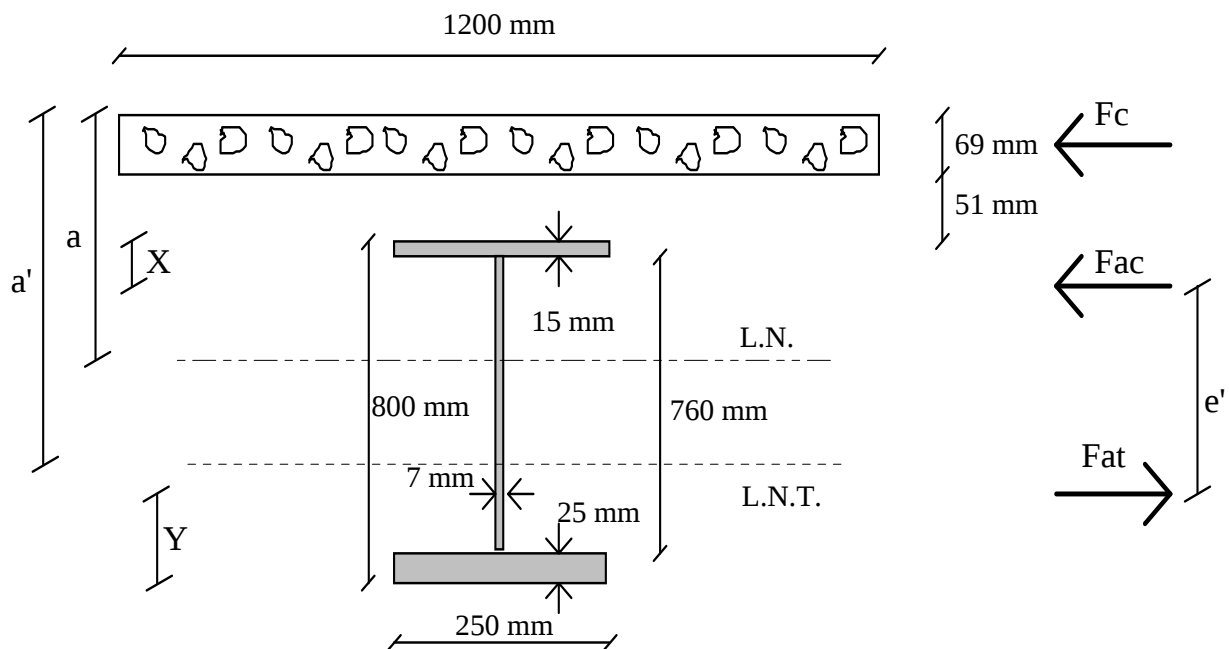
$$M_R / M_{Amax} = 6.01$$

DIMENSIONAMENTO DA VIGA MISTA

RESISTÊNCIA A FLEXÃO DIVERSAS SEÇÕES

Seção	x	h	b _{ef}	A _s	LNE	LNP	I _x	w _{xc}	Z _x	a	M _{da}	M _d	Mr	Mr/Md	Q _d	VR	VR/QD	S _s	S _s /S _{max}
Unidades	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm ⁴)	(mm ³)	(mm ³)	(mm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	ADIM	(kN)	(kN)	ADIM	(kN/mm ²)	ADIM
1	0	400	0	12520	234.9361	373.57143	371081282	1579498.8	1909835.7	200	0	0	490.43437	NA	312.32	469.476	1.503189	0	0
2	750	440	300	12800	257.96875	393.57143	457783854	1774571	2163035.7	145.0375	32.97	234.24	794.84176	3.3932794	312.32	521.64	1.67021	0.0786121	0.2531792
3	1500	480	600	13080	280.87156	413.57143	554501064	1974215.8	2421835.7	143.28409	65.94	468.48	963.68742	2.0570514	312.32	555.35502	1.7781603	0.1535699	0.494589
4	2250	520	900	13360	303.65269	433.57143	661471082	2178380.4	2686235.7	141.82292	98.91	702.72	1142.7968	1.6262478	312.32	555.35502	1.7781603	0.2184874	0.7036633
5	3000	560	1200	13640	326.31965	453.57143	778930913	2387018.1	2956235.7	140.58654	131.88	936.96	1331.9946	1.4216131	312.32	555.35502	1.7781603	0.2728639	0.8787889
6	3750	600	1500	13920	348.87931	473.57143	907116517	2600086.9	3231835.7	139.52679	148.365	1054.08	1531.1215	1.4525667	156.16	540.57064	3.461646	0.2861109	0.921452
7	4500	640	1800	14200	371.33803	493.57143	1.046E+09	2817548.5	3513035.7	138.60833	164.85	1171.2	1740.0338	1.4856846	156.16	504.53259	3.2308696	0.2959265	0.9530643
8	5250	680	2100	14480	393.70166	513.57143	1.197E+09	3039368.1	3799835.7	134.68	181.335	1288.32	1942.921	1.5081043	156.16	472.99931	3.0289402	0.3031999	0.9764893
9	6000	720	2400	14760	415.97561	533.57143	1.358E+09	3265513.5	4092235.7	133.2	197.82	1405.44	2109.5122	1.5009621	156.16	445.17582	2.8507673	0.3085573	0.9937434
10	6750	760	2700	15040	438.16489	553.57143	1.532E+09	3495954.8	4390235.7	131.72	197.82	1405.44	2279.2409	1.6217276	0	420.44383	NA	0.2884132	0.9288669
11	7500	800	3000	15320	460.27415	573.57143	1.717E+09	3730664.7	4693835.7	130.24	197.82	1405.44	2452.1072	1.7447256	0	398.31521	NA	0.2701703	0.8701136
12	8250	760	2700	15040	438.16489	553.57143	1.532E+09	3495954.8	4390235.7	131.72	197.82	1405.44	2279.2409	1.6217276	0	420.44383	NA	0.2884132	0.9288669
13	9000	720	2400	14760	415.97561	533.57143	1.358E+09	3265513.5	4092235.7	133.2	197.82	1405.44	2109.5122	1.5009621	156.16	445.17582	2.8507673	0.3085573	0.9937434
14	9750	680	2100	14480	393.70166	513.57143	1.197E+09	3039368.1	3799835.7	134.68	181.335	1288.32	1942.921	1.5081043	156.16	472.99931	3.0289402	0.3031999	0.9764893
15	10500	640	1800	14200	371.33803	493.57143	1.046E+09	2817548.5	3513035.7	138.60833	164.85	1171.2	1740.0338	1.4856846	156.16	504.53259	3.2308696	0.2959265	0.9530643
16	11250	600	1500	13920	348.87931	473.57143	907116517	2600086.9	3231835.7	139.52679	148.365	1054.08	1531.1215	1.4525667	156.16	540.57064	3.461646	0.2861109	0.921452
17	12000	560	1200	13640	326.31965	453.57143	778930913	2387018.1	2956235.7	140.58654	131.88	936.96	1331.9946	1.4216131	312.32	555.35502	1.7781603	0.2728639	0.8787889
18	12750	520	900	13360	303.65269	433.57143	661471082	2178380.4	2686235.7	141.82292	98.91	702.72	1142.7968	1.6262478	312.32	555.35502	1.7781603	0.2184874	0.7036633
19	13500	480	600	13080	280.87156	413.57143	554501064	1974215.8	2421835.7	143.28409	65.94	468.48	963.68742	2.0570514	312.32	555.35502	1.7781603	0.1535699	0.494589
20	14250	440	300	12800	257.96875	393.57143	457783854	1774571	2163035.7	145.0375	32.97	234.24	794.84176	3.3932794	312.32	521.64	1.67021	0.0786121	0.2531792
21	15000	400	0	12520	234.9361	373.57143	371081282	1579498.8	1909835.7	200	0	0	490.43437		312.32	469.476	1.503189	0	0

Dimensionamento Completo, Seção Central 11



Cálculo da Posição da Linha Neutra

$$X = \frac{\phi A_s F_y - 0.88 \phi_c b_{ef} t_c F_{ck}}{4 \phi b_f F_y} = 5.12 \text{ mm}$$

Linha Neutra na Mesa Superior

$$a = 2 X + 120 = 130.24 \text{ mm}$$

Forças de Compressão: Concreto e Mesa do Perfil

$$F_c = 0.85 \phi_c b_{ef} t_c F_{ck} = 3167.1 \text{ kN}$$

$$F_{mc} = 2 \phi b_f X F_y = 794.88 \text{ kN}$$

$$e = 800 + 120 - 69 / 2 - 248.41 = 697.09 \text{ mm}$$

$$e' = 800 - 10.24 - 248.41 = 46.47 \text{ mm}$$

RESISTÊNCIA A FLEXÃO

$$M_R = F_c e + F_{mc} e' = 2452.11 \text{KNm}$$

$$M_R = 2452.17 > M_{Dmax} = 1405.44$$

$$M_R / M_{Dmax} = 1.75$$

LIMITE DE TENSÃO NA MESA INFERIOR

$$\begin{aligned} & \frac{M_{Amax}}{W_{xc}} + \frac{|M_{Dmax} - M_{Amax}|}{W_x^{Tr}} = \\ & \frac{197.82}{5.05E + 03} + \frac{|1405.44 - 197.82|}{5.20E + 03} = \\ & 0.27 \text{kN} / \text{mm}^2 < 0.9F_y = 0.311 \text{kN} / \text{mm}^2 \end{aligned}$$

RESISTÊNCIA AO ESFORÇO CORTANTE

NÚMERO DE CONECTORES

FLECHAS NA VIGA MISTA

6. - CONCLUSÕES

- **Sistemas Estruturais Mistos com Inércia Variável são os mais Economicamente Viáveis**
Boa Flexibilidade → Acomodação de Serviços
Pequenas Razões Vão/Altura do Pavimento
Baixas Densidades de Aço/Área de Pavimento
Menor Custo de Fabricação e Montagem
- **Flambagem Vertical da Alma**
- **Enrijecedores Só em Situações Extremas**
- **Casos Práticos Não Requerem Enrijecedores**
- **Aumentar a Espessura da Alma para Evitar Flambagem é o Modo mais Econômico**
- **Alternativamente, um enrijecedor com 1/3 Terço da Altura do Perfil Deve Ser Soldado em Ambas as Faces da Alma**
- **Dimensionamento do Enrijecedor → de Apoio**
- **Força de Projeto → Componente Vertical**