

5

Análises dos Resultados dos Modelos

Após a análise, dimensionamento e verificações de todos os modelos de galpões considerados no estudo paramétrico, apresentam-se neste capítulo a análises comparativas dos resultados entre os diferentes tipos de análises estruturais realizadas nas estruturas. Avaliam-se a influência dos efeitos de segunda ordem nas combinações de estudo, com respeito à amplificação obtida em relação aos esforços em análise de primeira ordem. Determina-se a sensibilidade às imperfeições geométricas iniciais dos diferentes sistemas estruturais.

São apresentados também a análises comparativas em função das tipologias consideradas através dos gráficos estimativos de consumo de aço e de deslocamentos máximos das treliças e colunas. Os resultados de valores de consumo aproximado de aço foram colocados em comparação com os resultados obtidos pelo trabalho de *D'Alembert (2012)* para galpões em pórticos de alma cheia, que apresentam maiores valores de consumo de aço que os galpões de treliças, o que seria de esperar. Mostram-se os resultados dos grupos de galpões com espaçamento de pórticos de 6 m e 9m. Tendo como base os resultados obtidos, apresentam-se tabelas e ábacos para pré-dimensionamento dos elementos estruturais dos galpões treliçados.

5.1.

Comparação dos resultados da Análise de 1º ordem e 2º Ordem

Com a finalidade de avaliar a influência da consideração dos efeitos de segunda ordem nos sistemas treliçados comparam-se os resultados obtidos por cada tipo de análise para os modelos considerados neste trabalho. Para isso, foram produzidos gráficos comparativos com a sobreposição dos valores dos esforços normais máximos obtidos nas treliças.

Apresentam-se nas Figuras 5.1 a 5.9, os resultados dos esforços máximos de compressão obtidos na treliça para as combinações de ações em que a estrutura foi analisada em função dos vãos livres, para espaçamentos $B=9\text{m}$.

- Para as treliças triangulares (GT) tem-se:

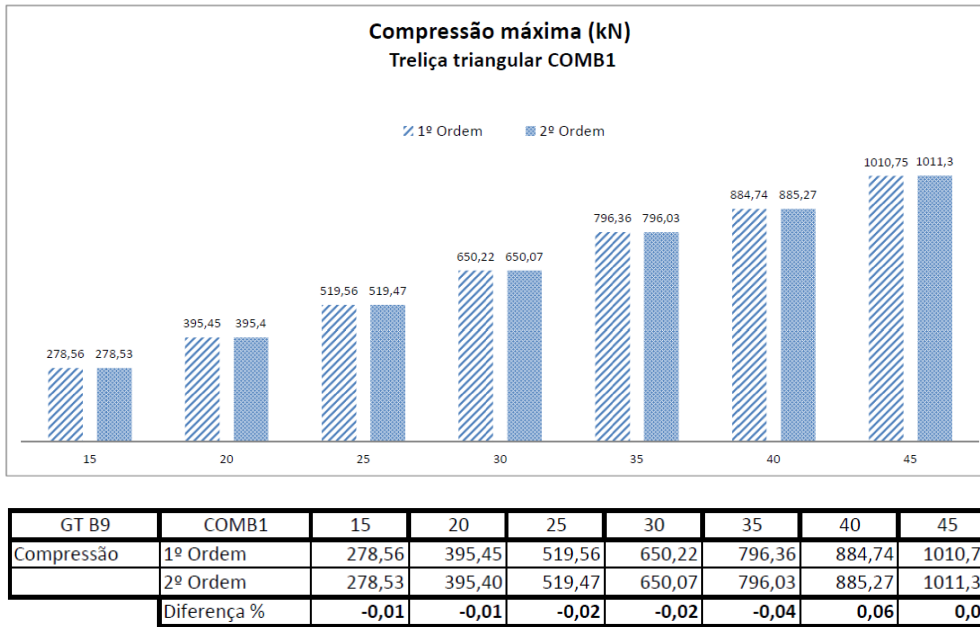


Figura 5.1– Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB1

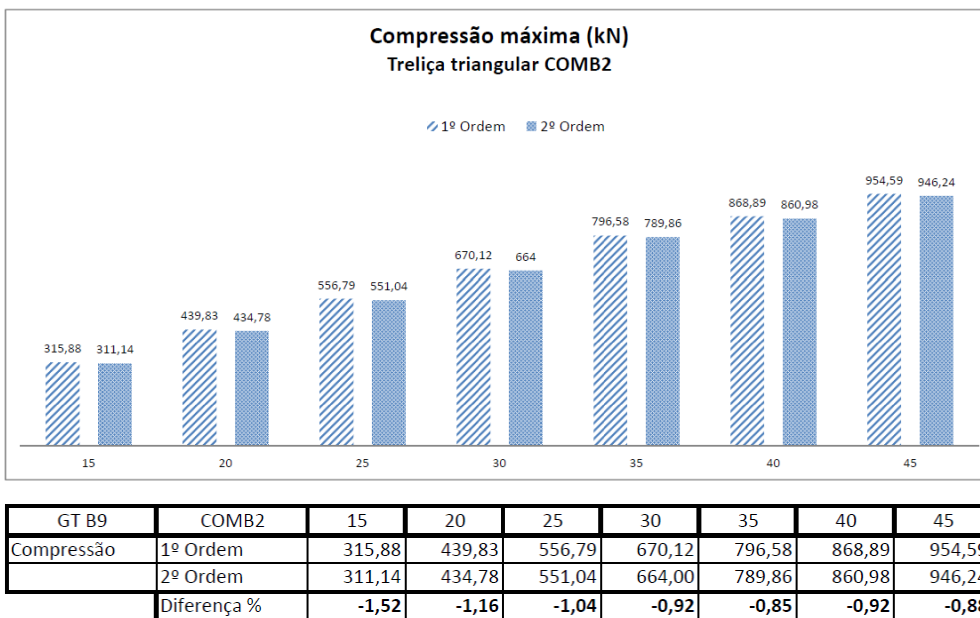


Figura 5.2– Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB2

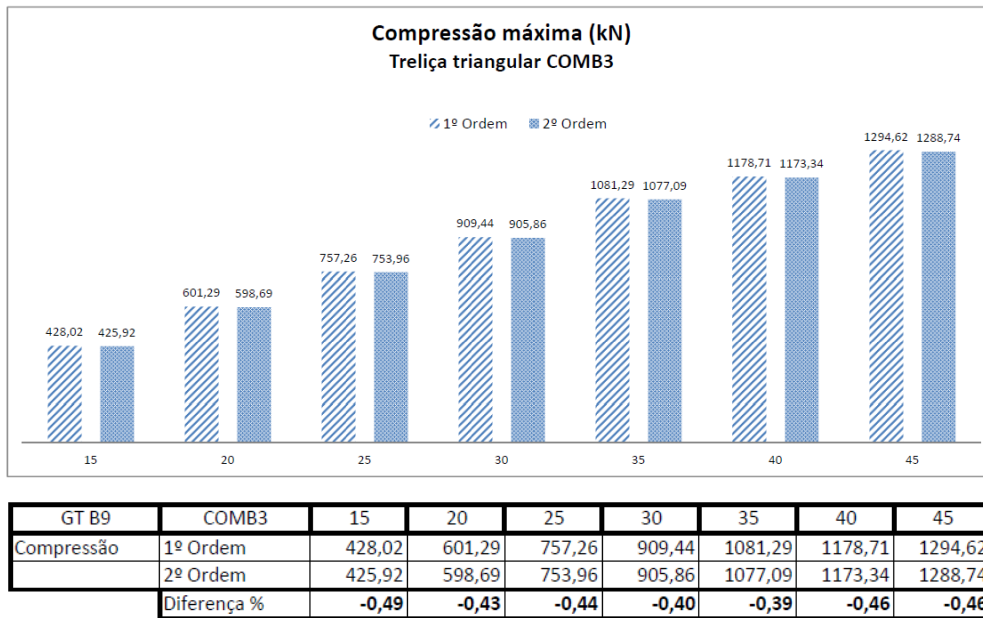


Figura 5.3 – Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB3.

- Para as treliças de banzo paralelo (GP) tem-se:

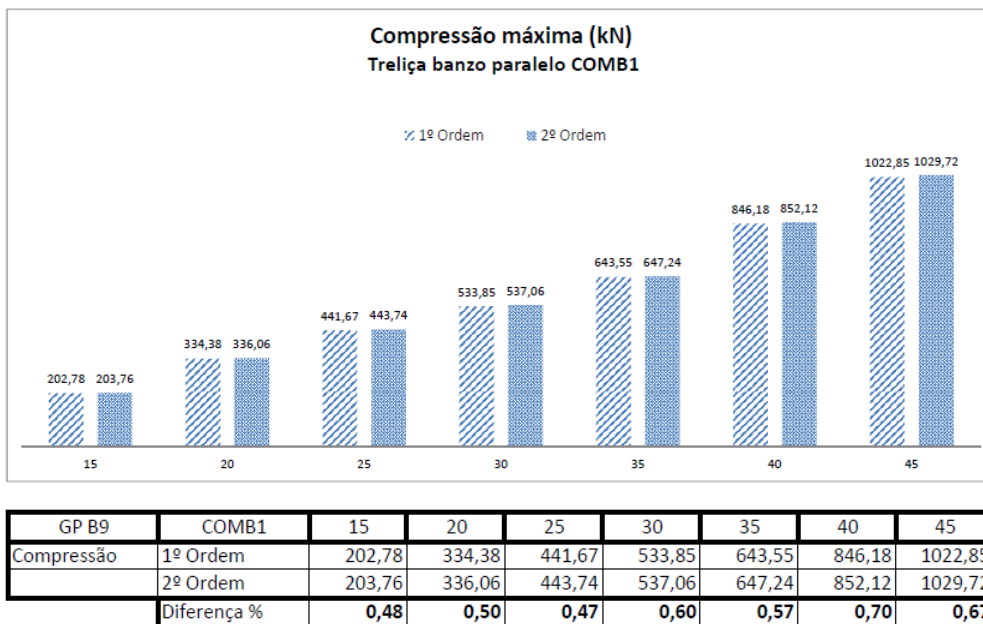


Figura 5.4 – Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB1.

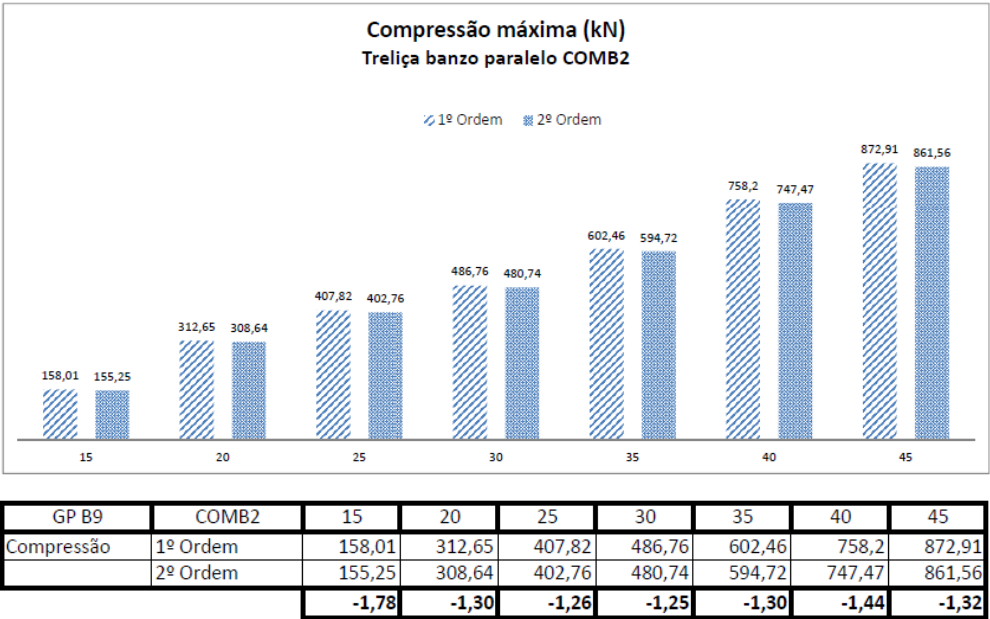


Figura 5.5– Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB2.

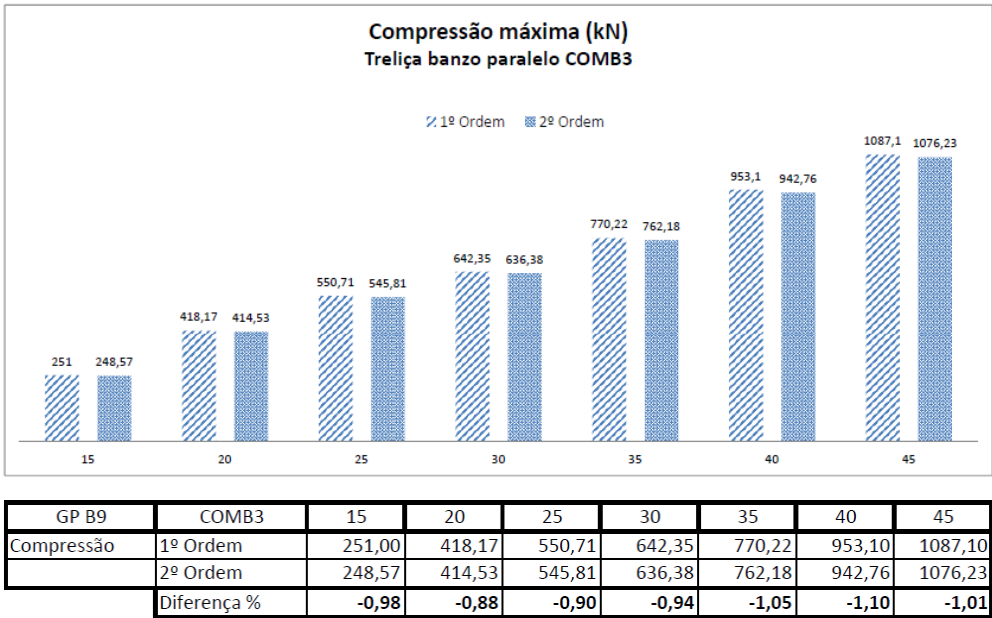


Figura 5.6– Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB3.

- Para as treliças trapezoidais (GZ) tem-se:

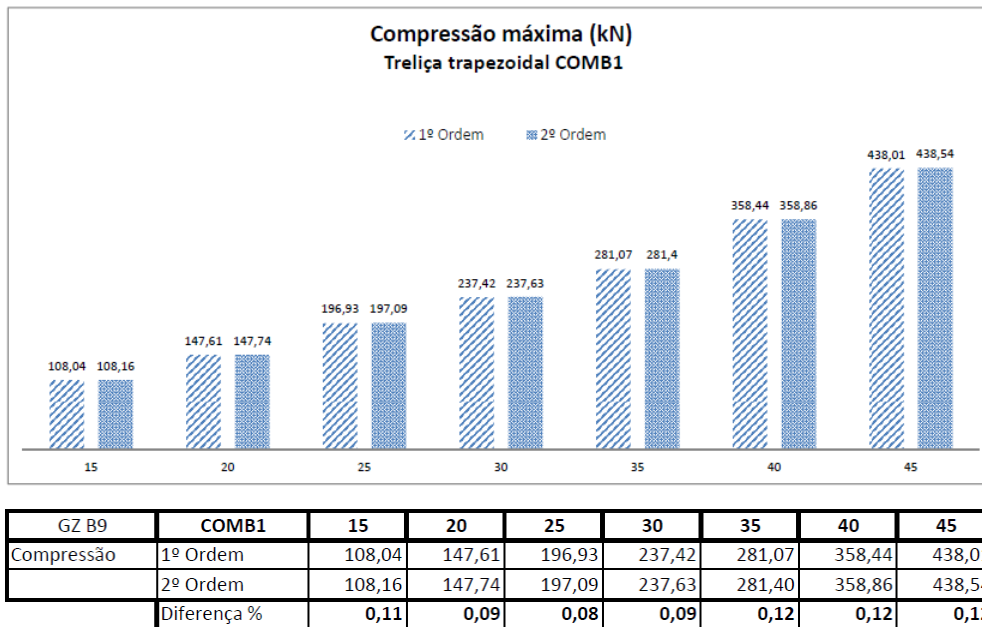


Figura 5.7– Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB1.

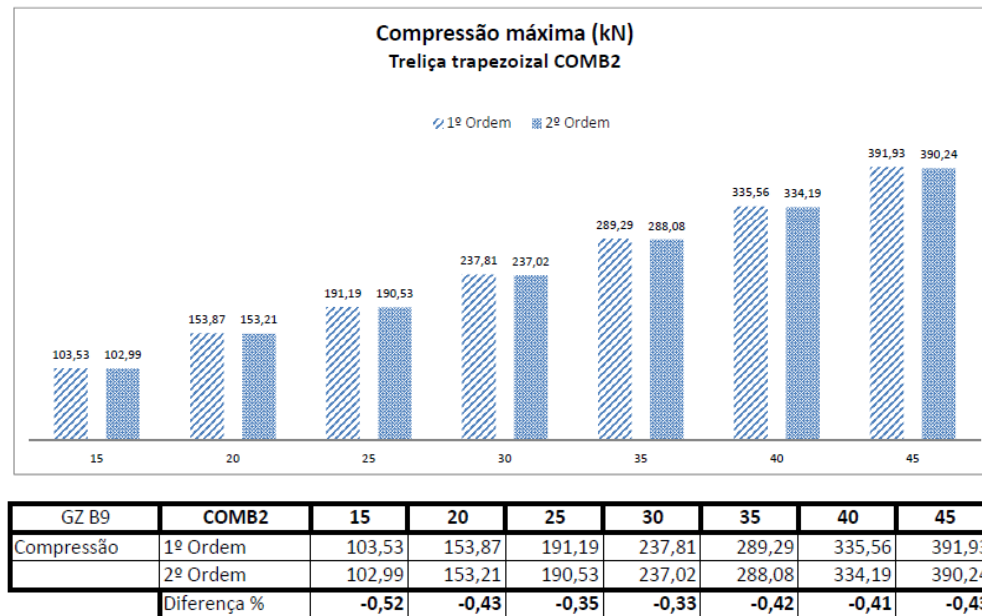
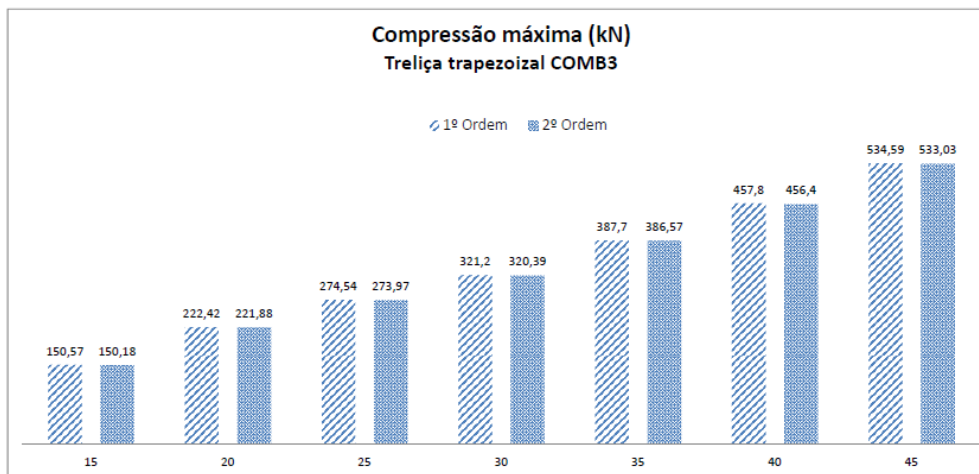


Figura 5.8– Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB2.



GZ B9	COMB3	15	20	25	30	35	40	45
Compressão	1º Ordem	150,57	222,42	274,54	321,20	387,70	457,80	534,59
	2º Ordem	150,18	221,88	273,97	320,39	386,57	456,40	533,03
	Diferença %	-0,26	-0,24	-0,21	-0,25	-0,29	-0,31	-0,29

Figura 5.9– Gráfico comparativo entre tipos de análises de 1ª e 2ª ordem. COMB3.

Pode-se observar nos gráficos que as amplificações obtidas nos esforços solicitantes nas treliças devido à consideração dos efeitos de 2º ordem são reduzidas, e acontecem na COMB1, nas outras combinações observa-se uma leve redução. Esta pequena diferença entre os esforços foi constatada também para as colunas. A proximidade entre os esforços de primeira e segunda ordem nos casos analisados é consistente com o fato de que os pórticos treliçados são classificados como estruturas de pequena deslocabilidade, confirmando que os efeitos de segunda ordem não produzem um aumento considerável dos esforços solicitantes. Portanto, pode-se concluir que não precisam ser considerados no dimensionamento dos sistemas estruturais treliçados.

Os modelos de galpões industriais analisados foram dimensionados e verificados de acordo aos estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS), com as combinações respectivas de acordo com a NBR8800:2008.

As tabelas 5.1 e 5.2 corroboram as conclusões anteriores que para os pórticos treliçados deste trabalho é suficiente realizar-se uma análise linear para obter os esforços de projeto e verificação de dimensionamento.

Tabela 5.1 – Resultados das análises numérica de 1ª e 2ª ordem para o deslocamento lateral dos pórticos treliçados com B=6.

	Modelo Galpão	$\Delta_{1^{\text{a}} \text{ ordem}}$ (mm)	$\Delta_{2^{\text{a}} \text{ ordem}}$ (mm)	$\frac{\Delta_{2^{\text{a}} \text{ Ordem}}}{\Delta_{1^{\text{a}} \text{ Ordem}}}$	B_2	Classificação
Treliça Triangular	GT15 B6	2,97	2,86	0,96	1,01	Pequena Deslocabilidade
	GT20 B6	4,26	4,08	0,96	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GT25 B6	4,69	4,43	0,94	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GT30 B6	7,54	7,18	0,95	1,03	Pequena Deslocabilidade
	GT35 B6	9,64	9,18	0,95	1,04	Pequena Deslocabilidade
	GT40 B6	12,01	11,34	0,94	1,00	Pequena Deslocabilidade
	GT45 B6	12,94	12,53	0,97	1,08	Pequena Deslocabilidade
Treliça Banzo Paralelo	GP15 B6	7,38	7,33	0,99	1,01	Pequena Deslocabilidade
	GP20 B6	12,85	12,76	0,99	1,01	Pequena Deslocabilidade
	GP25 B6	16,51	16,40	0,99	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GP30 B6	21,16	21,01	0,99	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GP35 B6	25,03	24,76	0,99	1,03	Pequena Deslocabilidade
	GP40 B6	37,26	36,92	0,99	1,04	Pequena Deslocabilidade
	GP45 B6	42,35	41,97	0,99	1,04	Pequena Deslocabilidade
Treliça Trapezoidal	GZ15 B6	2,80	2,79	1,00	1,01	Pequena Deslocabilidade
	GZ20 B6	2,82	2,82	1,00	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GZ25 B6	5,00	5,00	1,00	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GZ30 B6	6,87	6,86	1,00	1,03	Pequena Deslocabilidade
	GZ35 B6	5,75	5,84	1,02	1,05	Pequena Deslocabilidade
	GZ40 B6	8,34	8,26	0,99	1,06	Pequena Deslocabilidade
	GZ45 B6	11,55	11,63	1,01	1,07	Pequena Deslocabilidade

Tabela 5.2– Resultados das análises numérica de 1ª e 2ª ordem para o deslocamento lateral dos pórticos treliçados com B=9m.

	Modelo Galpão	$\Delta_{1^{\text{a}} \text{ ordem}}$ (mm)	$\Delta_{2^{\text{a}} \text{ ordem}}$ (mm)	$\frac{\Delta_{2^{\text{a}} \text{ Ordem}}}{\Delta_{1^{\text{a}} \text{ Ordem}}}$	B_2	Classificação
Treliça Triangular	GT15 B9	3,33	3,15	0,95	1,01	Pequena Deslocabilidade
	GT20 B9	4,45	4,21	0,95	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GT25 B9	5,57	5,27	0,95	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GT30 B9	6,86	6,50	0,95	1,03	Pequena Deslocabilidade
	GT35 B9	8,70	8,32	0,96	1,05	Pequena Deslocabilidade
	GT40 B9	11,18	10,60	0,95	1,06	Pequena Deslocabilidade
	GT45 B9	13,52	12,91	0,95	1,09	Pequena Deslocabilidade
Treliça Banzo Paralelo	GP15 B9	9,29	9,22	0,99	1,01	Pequena Deslocabilidade
	GP20 B9	13,26	13,15	0,99	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GP25 B9	17,22	17,08	0,99	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GP30 B9	21,70	21,53	0,99	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GP35 B9	23,96	23,67	0,99	1,03	Pequena Deslocabilidade
	GP40 B9	34,32	34,01	0,99	1,04	Pequena Deslocabilidade
	GP45 B9	40,24	39,87	0,99	1,06	Pequena Deslocabilidade
Treliça Trapezoidal	GZ15 B9	2,51	2,50	1,00	1,00	Pequena Deslocabilidade
	GZ20 B9	3,51	3,50	1,00	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GZ25 B9	3,81	3,81	1,00	1,02	Pequena Deslocabilidade
	GZ30 B9	5,56	5,57	1,00	1,04	Pequena Deslocabilidade
	GZ35 B9	7,91	7,90	1,00	1,04	Pequena Deslocabilidade
	GZ40 B9	10,13	10,17	1,00	1,07	Pequena Deslocabilidade
	GZ45 B9	12,49	12,65	1,01	1,10	Pequena Deslocabilidade

5.2.

Comparação da introdução das imperfeições geométricas

Para esta análise comparativa, utiliza-se como exemplo as estruturas dos pórticos treliçados dos galpões de $L=45$ m e $B=9$ m. Para a comparação analisa-se a amplificação dos esforços para os diferentes tipos de análises para a introdução das imperfeições geométricas. Isso é feito através da introdução de uma força nocional, devido a sua simplicidade quando comparado ao outro método de impor o deslocamento lateral na própria estrutura.

Um detalhe importante para análise de 2ª ordem, é que não há necessidade de somar estas forças nocionais às ações do vento. Portanto a combinação aplicada é a COMB1 onde atuam apenas ações permanentes e sobrecargas de uso.

Tabela 5.3 – Resultados de introdução das imperfeições geométricas

Momentos Fletores da coluna direita						
Tipologia	Tipo de análise	Combinação	Sem Imperfeições	Com imperfeições	Diferença (kNm)	Amplificação %
Treliza Triangular	1ª Ordem	COMB1	21,82	22,89	1,07	4,7
	2ª Ordem	COMB1	21,07	22,10	1,03	4,7
Treliza Banzo Paralelo	1ª Ordem	COMB1	75,31	76,24	0,93	1,2
	2ª Ordem	COMB1	75,34	76,36	1,02	1,3
Treliza Trapezoidal	1ª Ordem	COMB1	18,04	19,04	1,00	5,3
	2ª Ordem	COMB1	18,05	19,12	1,07	5,6

Como pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 5.3, a introdução das imperfeições geométricas globais produz um pequeno aumento do momento fletor na base da coluna direita do pórtico. As tipologias de treliça triangular e treliça trapezoidal são as mais sensíveis à introdução, mas em geral a sensibilidade a imperfeições não é significativa.

5.3.

Gráficos de avaliação de tipologias

Como critério para avaliar e comparar as tipologias dos pórticos treliçados, usou-se o valor aproximado de consumo de aço e os deslocamentos verticais e horizontais dos pórticos dos galpões.

5.3.1.

Consumo aproximado de aço

Nas figuras 5.10 e 5.11 apresentam-se as sobreposições dos resultados de consumo de aço para os vãos livres de 15, 20, 25, 30, 35, 40 e 45 metros e espaçamentos entre os pórticos de 6m e 9m em função das tipologias estudadas. Como referência inclui-se a curva de consumo correspondente para estruturas de alma cheia obtida por *D'Alembert (2012)*. Para a obtenção dos valores dos gráficos que estabelecem uma linha média para os pesos estimados das estruturas em kg/m^2 , consideram-se os seguintes elementos:

- Peso próprio da estrutura de pórtico.
- Peso de travamentos necessários para a estabilização dos pórticos.

O peso total obtido não inclui o peso dos elementos de fechamento lateral. Para qualquer galpão dentro das dimensões gerais utilizadas pode-se fazer uma interpolação linear para obter o consumo de aço aproximado.

Observa-se um menor consumo de aço dos galpões de treliça trapezoidal para os vãos de 15 m a 45 m e para os espaçamentos de 6 m e 9 m, obtendo um valor mínimo para L de 30m.

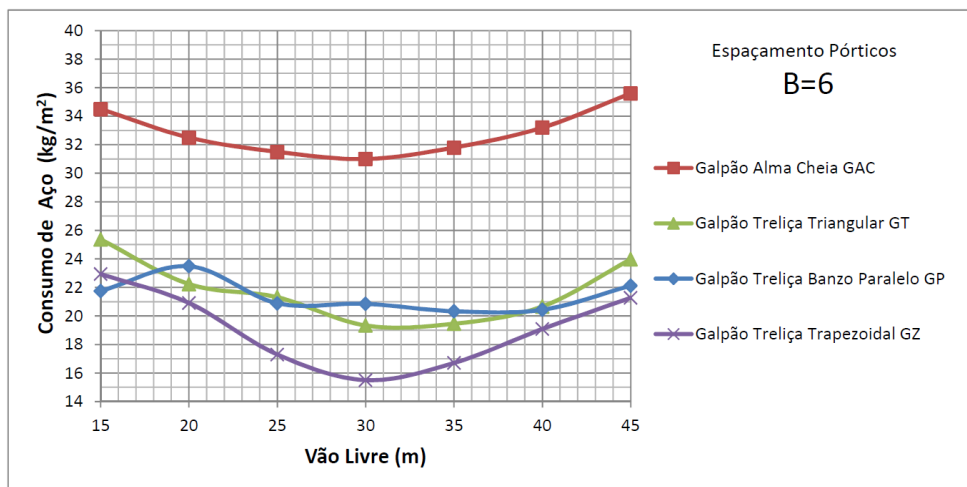


Figura 5.10 – Variação do CAA para cada tipologia. Para B=6m.

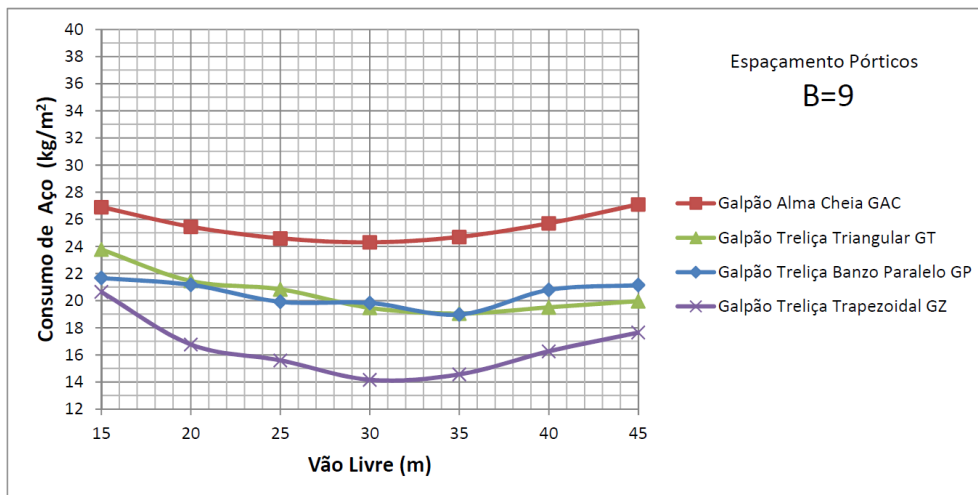


Figura 5.11 – Variação do CAA para cada tipologia. Para B=9m.

Esses tipos de galpões apresentam uma variação semelhante, quanto à forma da curva dos galpões de alma cheia. Observa-se uma redução significativa no valor de consumo médio de aço de 15 kg/m^2 em relação à curva de alma cheia para o vão livre $L=30\text{m}$ com espaçamento de pórticos $B=6 \text{ m}$ (Fig. 5.10) e de aproximadamente 10 kg/m^2 para $L=30\text{m}$ com $B=9\text{m}$ (Fig. 5.11).

Observa-se nas Figuras 5.10 e 5.11 que as curvas das treliças triangulares e as treliças de banzos paralelos apresentam proximidades entre os valores de consumo de aço para os diferentes espaçamentos entre pórticos B (6 e 9 m). Para essas tipologias obtêm-se também valores menores em relação ao do tipo alma cheia.

Quanto à variação do espaçamento entre os pórticos do galpão, encontra-se que quanto maior o espaçamento menor é o consumo estimado de aço. Portanto um fator importante seria projetar galpões que permitam maximizar esse espaçamento.

As figuras 5.12 e 5.13 mostram a variação do Consumo de Aço Aproximado (CAA) para um mesmo vão livre em função da tipologia. Observa-se nesses gráficos que seguem um tipo de variação parecida em relação a forma da curva entre as tipologias para a maioria dos vãos livres.

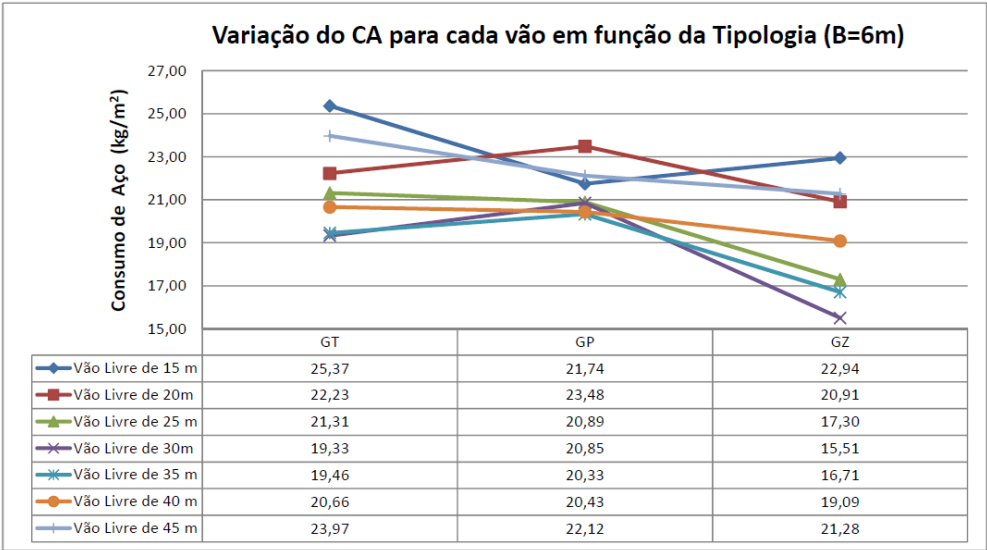


Figura 5.12 – Variação do CAA para cada vão em função da tipologia. Para B=6m.

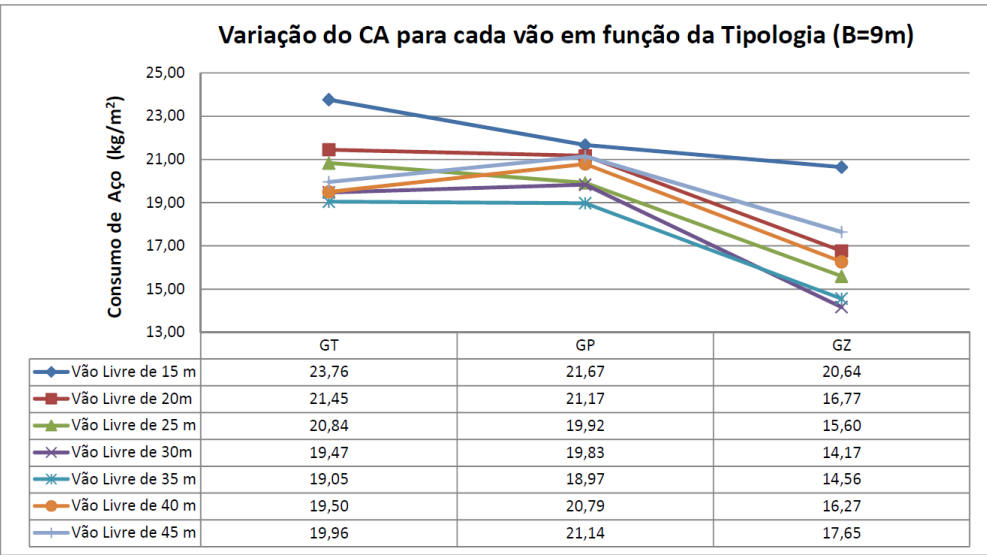


Figura 5.13 – Variação do CAA para cada vão em função da tipologia. Para B=6m.

5.3.2.
Deslocamentos máximos

Nas figuras 5.14 e 5.15 apresentam-se os deslocamentos máximos horizontais (Δ_h) e verticais (Δ_v) para as diversas tipologias de pórtico treliçados em função do vão livre. Em todos os gráficos pode-se observar que os deslocamentos máximos não ultrapassam os valores limites para todos os modelos analisados. Isto demonstra que todos os modelos atendem ao Estado

Limite de Serviço (ELS) da estrutura de acordo com as recomendações da ABNT NBR 8800:2008.

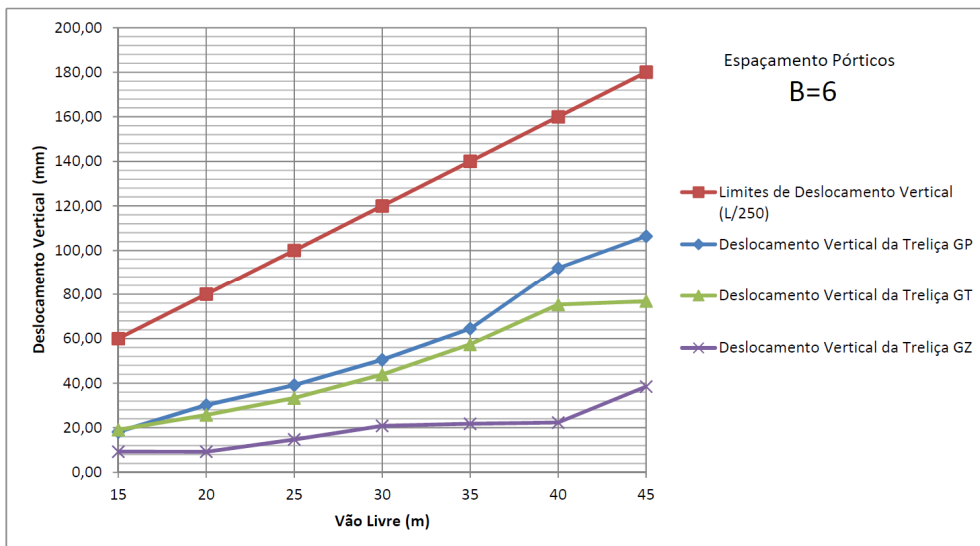


Figura 5.14 – Deslocamentos verticais em função da tipologia. Para B=6m.

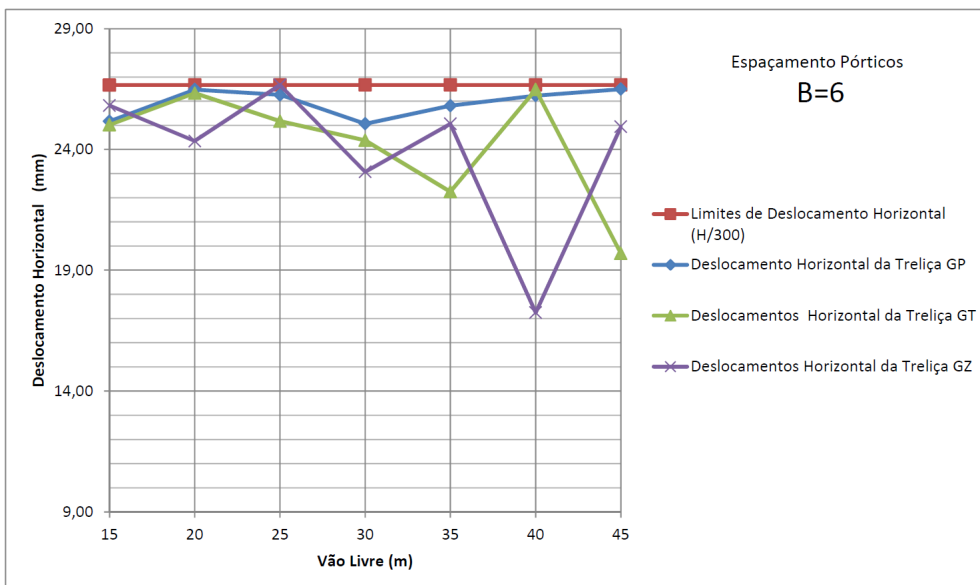


Figura 5.15 – Deslocamentos horizontais em função da tipologia. Para B=6m.

A partir das Figuras 5.14 e 5.16 pode-se observar para as diferentes tipologias que a variação dos deslocamentos verticais é crescente dado que aumenta com o vão livre da treliça. Entre os tipos de pórticos, o pórtico com treliça trapezoidal é o que apresenta menores deslocamentos verticais, devido à maior inércia global da treliça. Nota-se nas Figuras 5.14 e 5.16 que a variação dos

deslocamentos verticais para os galpões com espaçamentos entre pórticos $B=6\text{m}$ e $B=9\text{m}$ são semelhantes, mantendo-se a tendência entre as tipologias.

Enquanto os deslocamentos horizontais Figuras 5.15 e 5.17, que são resistidos em parte pelas colunas, observa-se que a variação com o aumento do vão livre é oscilante em função da rigidez das colunas. A tipologia de banzo paralelo é a que apresenta em geral maiores deslocamentos laterais para um mesmo vão em relação a demais tipologias.

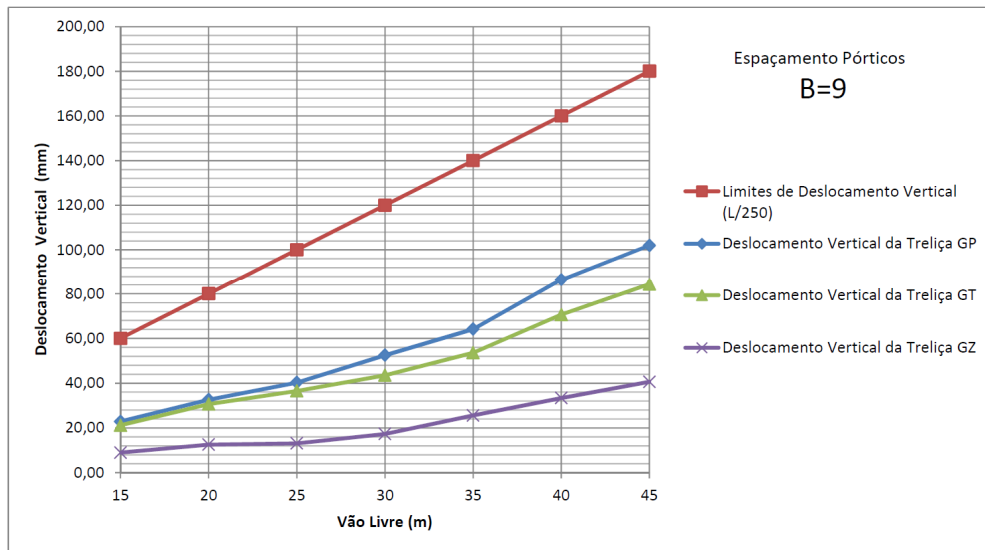


Figura 5.16– Deslocamentos verticais em função da tipologia. Para $B=9\text{m}$.

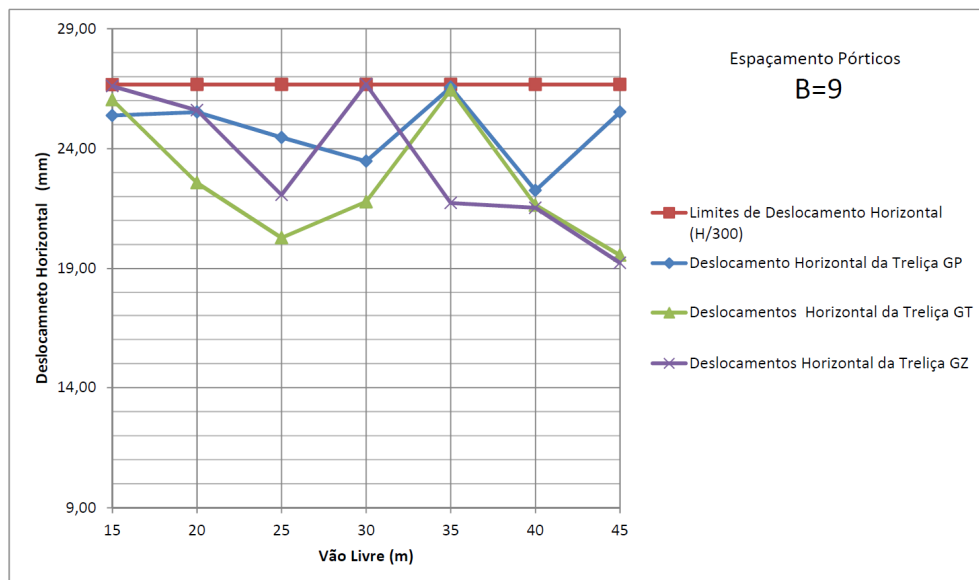


Figura 5.17 – Deslocamentos horizontais em função da tipologia. Para $B=9\text{m}$.

Do apresentado comprova-se que esses deslocamentos limites definem a estabilidade global da estrutura e determinam o dimensionamento das colunas dos pórticos principais dos galpões.

5.4.

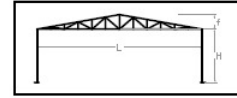
Ábacos de pré-dimensionamento

As tabelas e os ábacos organizados na continuação servem para o pré-dimensionamento dos elementos estruturais dos diferentes tipos de galpões analisados, por meio do uso prático de entrada com dados do galpão a projetar, ou seja, com os dados de vão livre, tipologia da cobertura e espaçamento entre pórticos pode-se determinar as seções dos perfis dos elementos que verificam os estados limites. Por exemplo, a figura 5.18 corresponde ao ábaco de pré-dimensionamento dos elementos da treliça triangular para espaçamento dos pórticos de 6 m, divididos em banzos superior e inferior, diagonais e montantes. Obtém-se por cada tipologia 4 ábacos de pré-dimensionamento, sendo um para dimensionamento elementos da treliça e um para as colunas para cada um dos espaçamentos entre pórticos considerados (6 m e 9 m).

É importante notar que para a aplicação satisfatória dos ábacos, os galpões treliçados a projetar devem possuir inclinações de cobertura na ordem de 10° , relação flechas da treliça e vão livre entre $1/8$ e $1/15$ e distância entre montantes de até 2,50 m.

São apresentados em forma de tabelas os perfis resultantes (Tabelas 5.3 a 5.14), com os esforços máximos de compressão e tração para os elementos da treliça. Para as colunas incluem-se as solicitações máximas de esforços normais, cortantes e momentos fletores para um posterior cálculo das placas de apoios. Indica-se em cada elemento estrutural o nível de solicitação/resistência.

GALPÃO TRELIÇA TRIANGULAR B = 6m



—■— Diagonais —●— Montantes —▲— Banzos

Vãos Livres

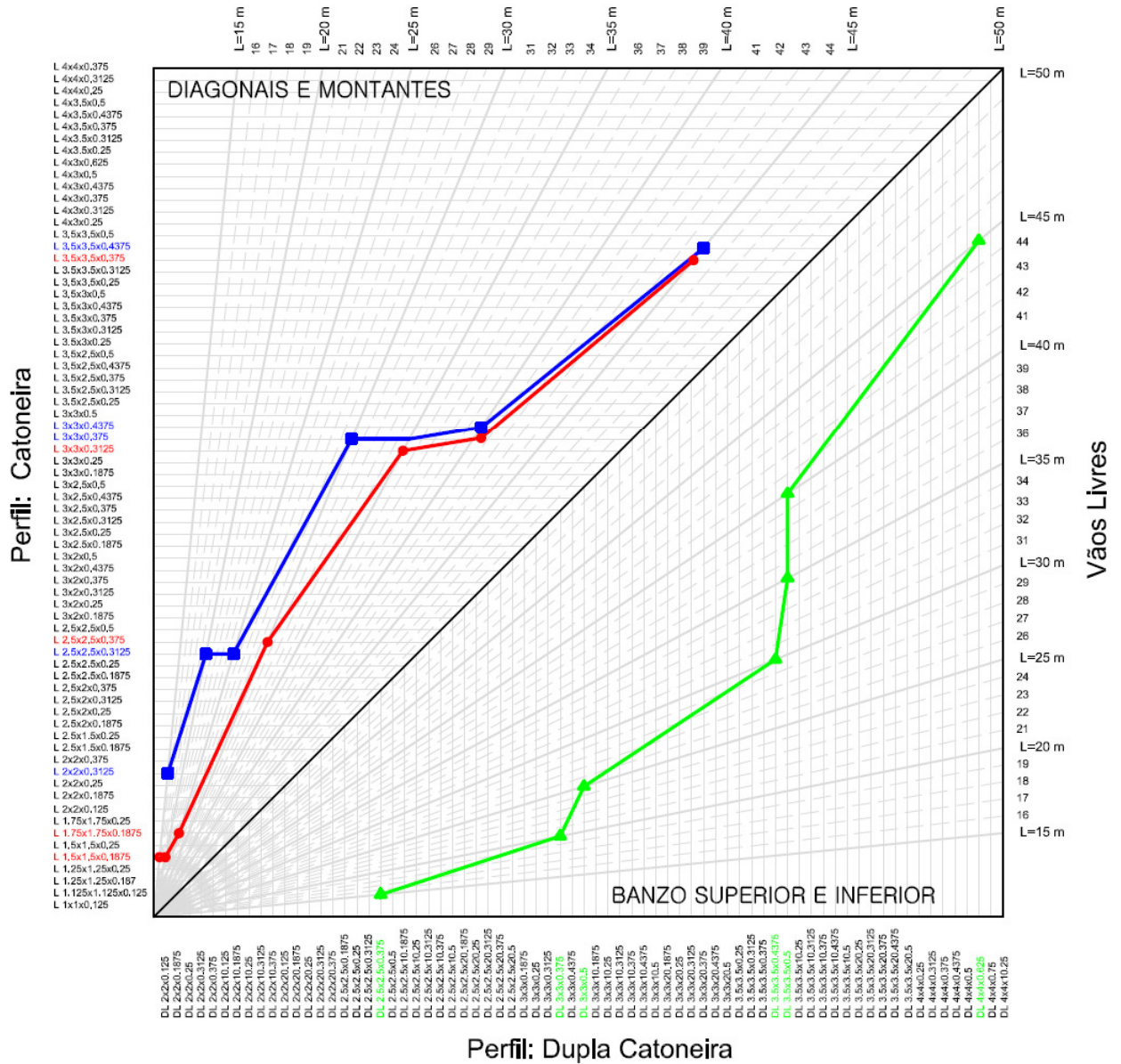
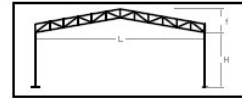


Figura 5.18 – Ábaco de pré-dimensionamento para galpão com treliça triangular (GT B6)

GALPÃO TRELIÇA BANZO PARALELO B = 6m



—■— Diagonais —●— Montantes —▲— Banzos

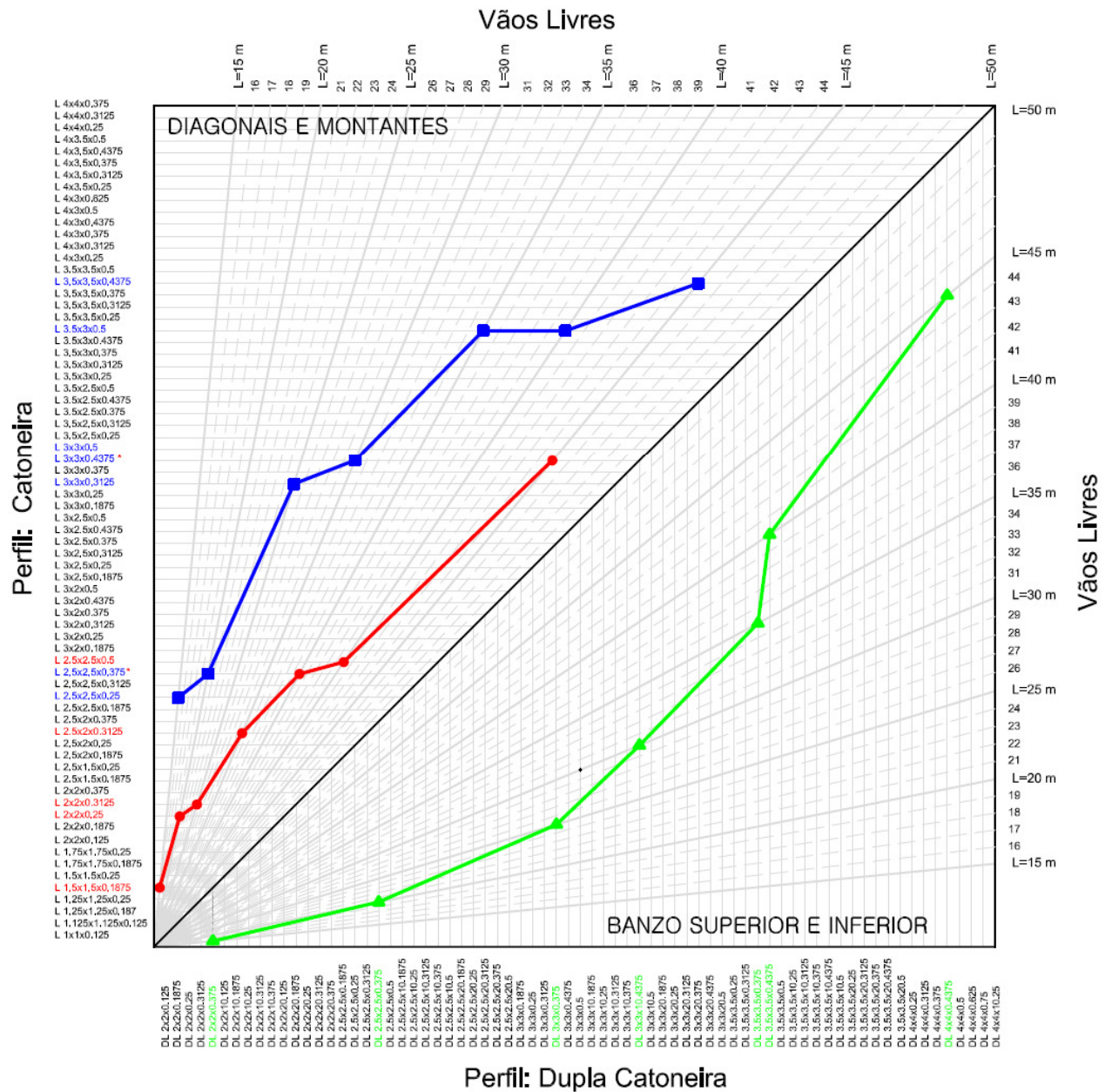


Figura 5.19 – Ábaco de pré-dimensionamento para galpão com treliça banzo paralelo (GP B6)

GALPÃO TRELIÇA TRAPEZOIDAL B = 6m

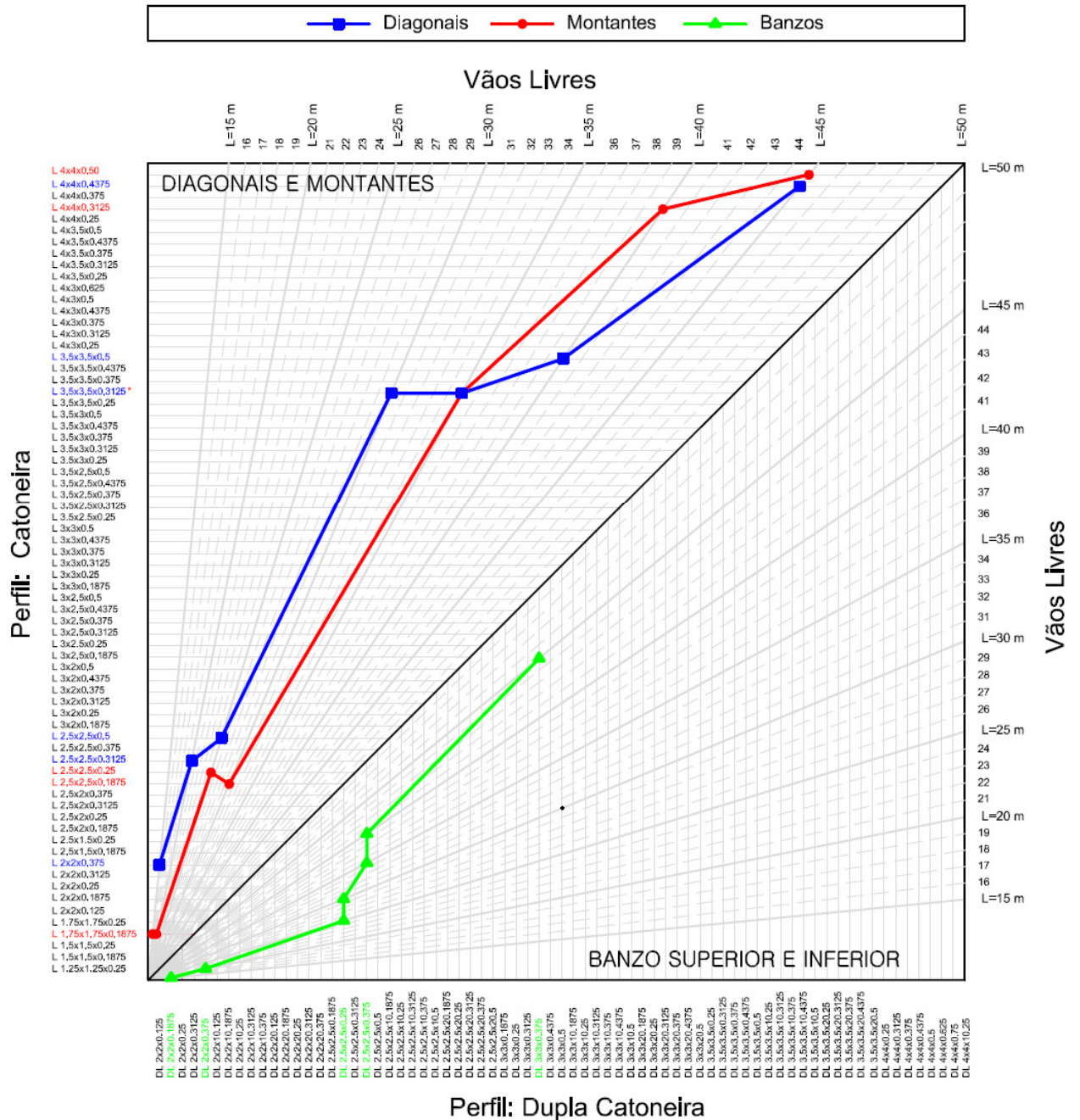
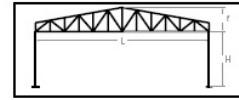


Figura 5.20– Ábaco de pré-dimensionamento para galpão com treliça trapezoidal (GZ B6)

Tabela 5.4 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações dos elementos da treliça GT B6.

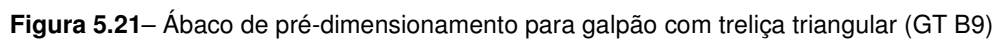
Vão Livre (m)	Galpão de treliça Triangular (GT) B=6m							
	TRELIÇA							
	N (kN)		PERFIS			Sd/Rd		
	Compressão	Tração	Banzos	Diagonais	Montantes	Banzos	Diagonais	Montantes
15	282,88	-289,56	DL 2,5x2,5x0,375	L 2x2x0,3125	L 1,50x1,50x0,1875	0,92	0,95	0,93
20	367,68	-375,90	DL 3x3x0,375	L 2,5x2,5x0,3125	L 1,50x1,50x0,1875	0,88	0,93	0,83
25	466,13	-472,35	DL 3x3x0,50	L 2,5x2,5x0,375	L 2x2x0,375	0,89	0,90	0,96
30	564,32	-567,68	DL 3,5x3,5x0,4375	L 3x3x0,375	L 2,5x2,5x0,375	0,91	0,91	0,45
35	655,84	-657,77	DL 3,5x3,5x0,50	L 3x3x0,375	L 3x3x0,3125	0,97	0,97	0,91
40	661,27	-660,35	DL 3,5x3,5x0,50	L 3x3x0,4375	L 3x3x0,50	0,92	0,97	0,87
45	807,78	-803,58	DL 4x4x0,625	L 3,5x3,5x0,4375	L 3,5x3,5x0,4375	0,80	0,91	0,83

Tabela 5.5 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações dos elementos da treliça GP B6.

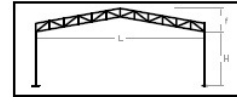
Vão Livre (m)	Galpão de treliça Banzo Paralelos (GP) B=6m							
	TRELIÇA							
	N (kN)		PERFIS			Sd/Rd		
	Compressão	Tração	Banzos	Diagonais	Montantes	Banzos	Diagonais	Montantes
15	166,53	-175,43	DL 2x2x0,375	L 2,5x2,5x0,25	L 1,25x1,25x0,25	0,95	0,98	0,82
20	267,13	-308,31	DL 2,5x2,5x0,375	L 2,5x2,5x0,375	L 2x2x0,25	0,94	0,93	0,84
25	349,98	-369,09	DL 3x3x0,375	L 3x3x0,3125	L 2x2x0,3125	0,87	0,88	0,93
30	417,99	-451,67	DL 3x3x0,4375	L 3x3x0,4375	L 2,5x2,5x0,3125	0,93	0,93	0,88
35	471,53	-516,79	DL 3,5x3,5x0,375	L 3,5x3x0,50	L 2,5x2,5x0,375	0,91	0,85	0,93
40	594,90	-643,91	DL 3,5x3,5x0,4375	L 3x3x0,50	L 2,5x2,5x0,50	0,95	0,9	0,94
45	667,97	-715,77	DL 4x4x0,4375	L 3,5x3,5x0,4375	L 3x3x0,4375	0,91	0,90	0,90

Tabela 5.6 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações dos elementos da treliça GZ B6.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Trapezoidal (GZ) B=6m							
	TRELIÇA							
	N (kN)		PERFIS			Sd/Rd		
	Compressão	Tração	Banzos	Diagonais	Montantes	Banzos	Diagonais	Montantes
15	100,12	-118,12	DL 2x2x0,1875	L 2x2x0,375	L 1,75x1,75x0,1875	1,00	0,91	0,74
20	139,98	-147,6	DL 2x2x0,375	L 2,5x2,5x0,3125	L 1,75x1,75x0,1875	0,87	0,96	0,52
25	173,57	-190,73	DL 2,5x2,5x0,25	L 2,5x2,5x0,50	L 2,5x2,5x0,25	0,90	0,80	0,96
30	184,04	-205,93	DL 2,5x2,5x0,25	L 3,5x3,5x0,3125	L 2,5x2,5x0,1875	0,99	0,94	0,53
35	236,32	-259,35	DL 2,5x2,5x0,375	L 3,5x3,5x0,3125	L 3,5x3,5x0,3125	0,92	0,88	1,00
40	278,38	-300,65	DL 2,5x2,5x0,375	L 3,5x3,5x0,50	L 4x4x0,3125	0,97	1,00	0,90
45	334,8	-339,75	DL 3x3x0,375	L 4x4x0,4375	L 4x4x0,50	0,88	0,93	0,88



GALPÃO TRELIÇA BANZO PARALELO B = 9m



Diagonais Montantes Banzos

Vãos Livres

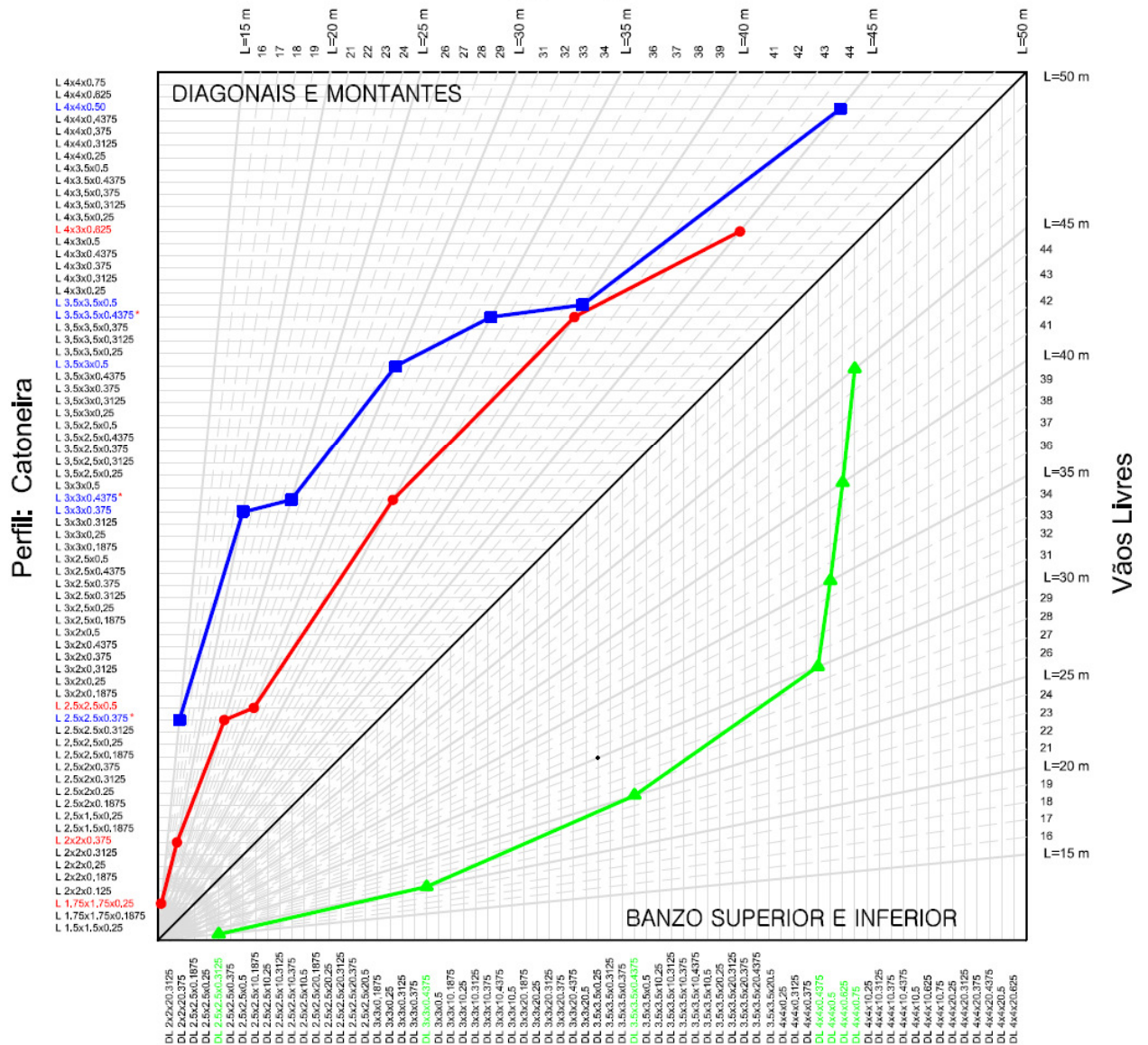


Figura 5.22– Ábaco de pré-dimensionamento para galpão com treliça banzo paralelo (GP B9)

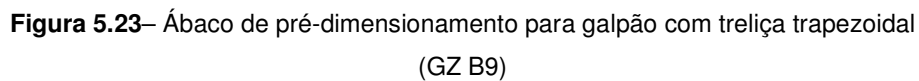


Tabela 5.7 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações dos elementos da treliça GT B9.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Triangular (GT) B=9m							
	TRELIÇA							
	N (kN)		PERFIS			Sd/Rd		
	Compressão	Tração	Banzos	Diagonais	Montantes	Banzos	Diagonais	Montantes
15	428,02	-438,59	DL 3x3x0,375	L 2,5x2,5x0,25	L 1,75x1,75x0,25	0,97	0,97	0,77
20	601,29	612,54	DL 3,5x3,5x0,4375	L 2,5x2,5x0,50	L 1,75x1,75x0,25	0,95	0,94	0,65
25	757,26	-769,7	DL 4x4x0,50	L 3x3x0,3125	L 2,5x2,5x0,375	0,88	0,94	0,82
30	909,44	-922,54	DL 4x4x0,625	L 3,5x3,5x0,375	L 2,5x2,5x0,375	0,86	0,85	0,64
35	1081,29	-1094,55	DL 4x4x0,75	L 3,5x3,5x0,375	L 3x3x0,50	0,89	0,93	0,95
40	1171,78	-1177,31	DL 4x4x0,75	L 3,5x3,5x0,4375	L 3,5x3,5x0,50	0,93	0,99	0,88
45	1294,62	-1307,44	DL 5x5x0,625	L 4x4x0,4375	L 4x4x0,4375	0,9	0,94	0,93

Tabela 5.8– Perfis, esforços máximos e nível de solicitações dos elementos da treliça GP B9.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Banzo Paralelos (GP) B=9m							
	TRELIÇA							
	N (kN)		PERFIS			Sd/Rd		
	Compressão	Tração	Banzos	Diagonais	Montantes	Banzos	Diagonais	Montantes
15	251,00	-263,94	DL 2,5x2,5x0,3125	L 2,5x2,5x0,375	L 1,50x1,50x0,25	0,97	0,97	0,92
20	418,17	-482,8	DL 3x3x0,4375	L 3x3x0,375	L 2x2x0,375	0,88	0,86	0,92
25	550,71	-574,7	DL 3,5x3,5x0,4375	L 3x3x0,4375	L 2,5x2,5x0,375	0,90	0,94	0,87
30	642,35	-703,88	DL 4x4x0,4375	L 3,5x3x0,50	L 2,5x2,5x0,50	0,86	0,98	0,89
35	770,22	-836,28	DL 4x4x0,50	L 3,5x3,5x0,4375	L 3x3x0,4375	0,92	0,95	0,96
40	953,10	-1039,06	DL 4x4x0,625	L 3,5x3,5x0,50	L 3,5x3,5x0,4375	0,89	0,88	0,96
45	1087,1	-1176,85	DL 4x4x0,75	L 4x4x0,50	L 4x3x0,625	0,92	0,90	0,97

Tabela 5.9 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações dos elementos da treliça GZ B9.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Trapezoidal (GZ) B=9m							
	TRELIÇA							
	N (kN)		PERFIS			Sd/Rd		
	Compressão	Tração	Banzos	Diagonais	Montantes	Banzos	Diagonais	Montantes
15	150,57	-177,69	DL 2x2x0,3125	L 2,5x2,5x0,3125	L 1,75x1,75x0,25	0,97	0,86	0,87
20	222,42	-234,07	DL 2,5x2,5x0,3125	L 2,5x2,5x0,50	L 2x2x0,1875	0,91	0,98	0,76
25	274,54	-300,2	DL 2,5x2,5x0,50	L 3x3x0,375	L 3x3x0,25	0,79	0,91	0,95
30	321,2	-360,2	DL 2,5x2,5x0,50	L 3,5x3,5x0,4375	L 3x3x0,25	0,95	0,95	0,79
35	387,7	-421,09	DL 3x3x0,375	L 3,5x3,5x0,4375	L 4x4x0,3125	0,99	0,97	0,99
40	457,8	-495,56	DL 3x3x0,4375	L 4x4x0,4375	L 4x4x0,50	0,95	0,89	0,98
45	534,39	-574,01	DL 3,5x3,5x0,4375	L 4x4x0,75	L 5x3x0,3125	0,91	0,91	0,96

GALPÃO TRELIÇA TRIANGULAR B = 6m

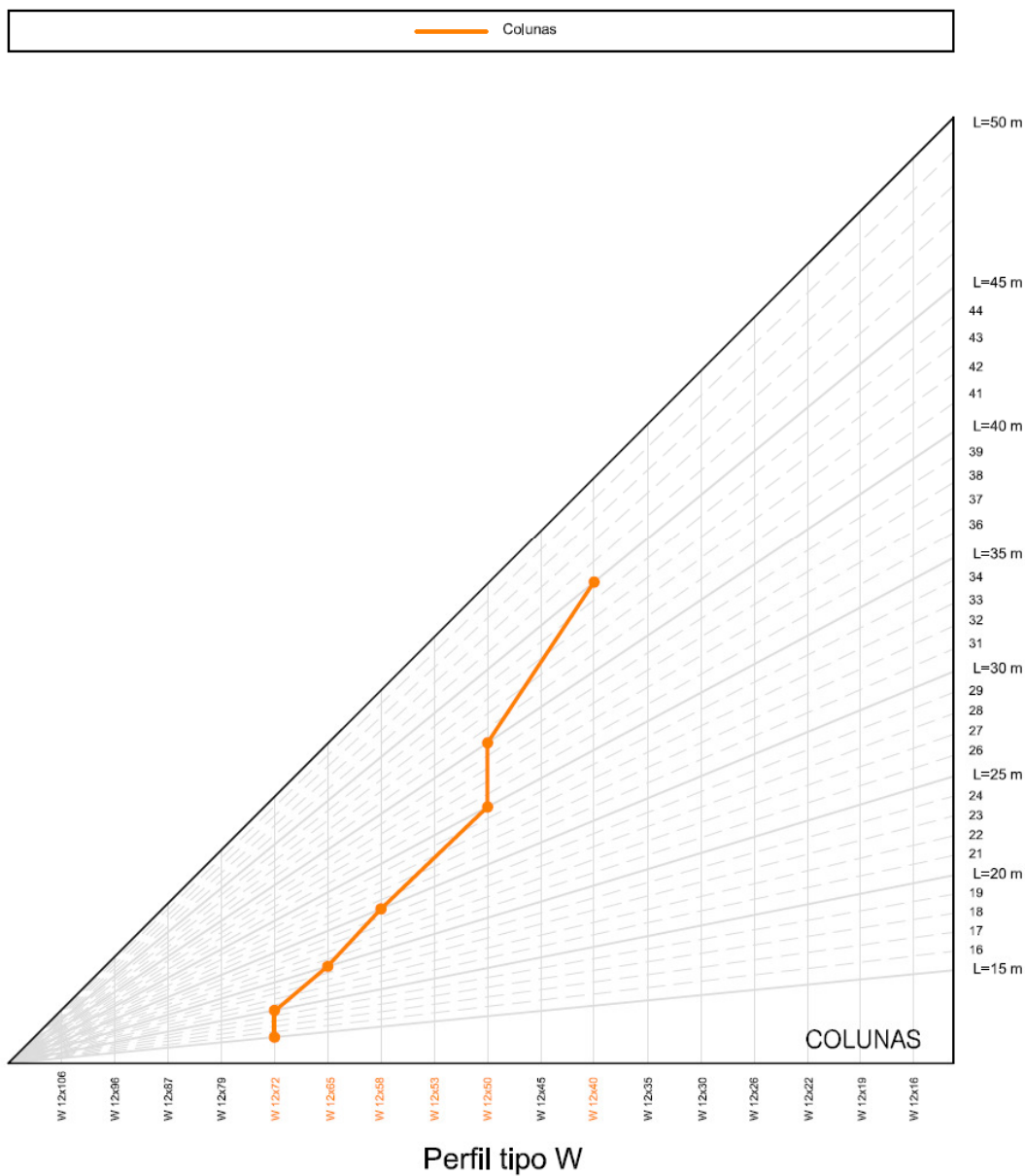
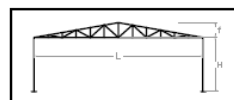


Figura 5.24 – Ábaco de pré-dimensionamento colunas (GT) B=6 m.

GALPÃO TRELIÇA BANZO PARALELO
B = 6m

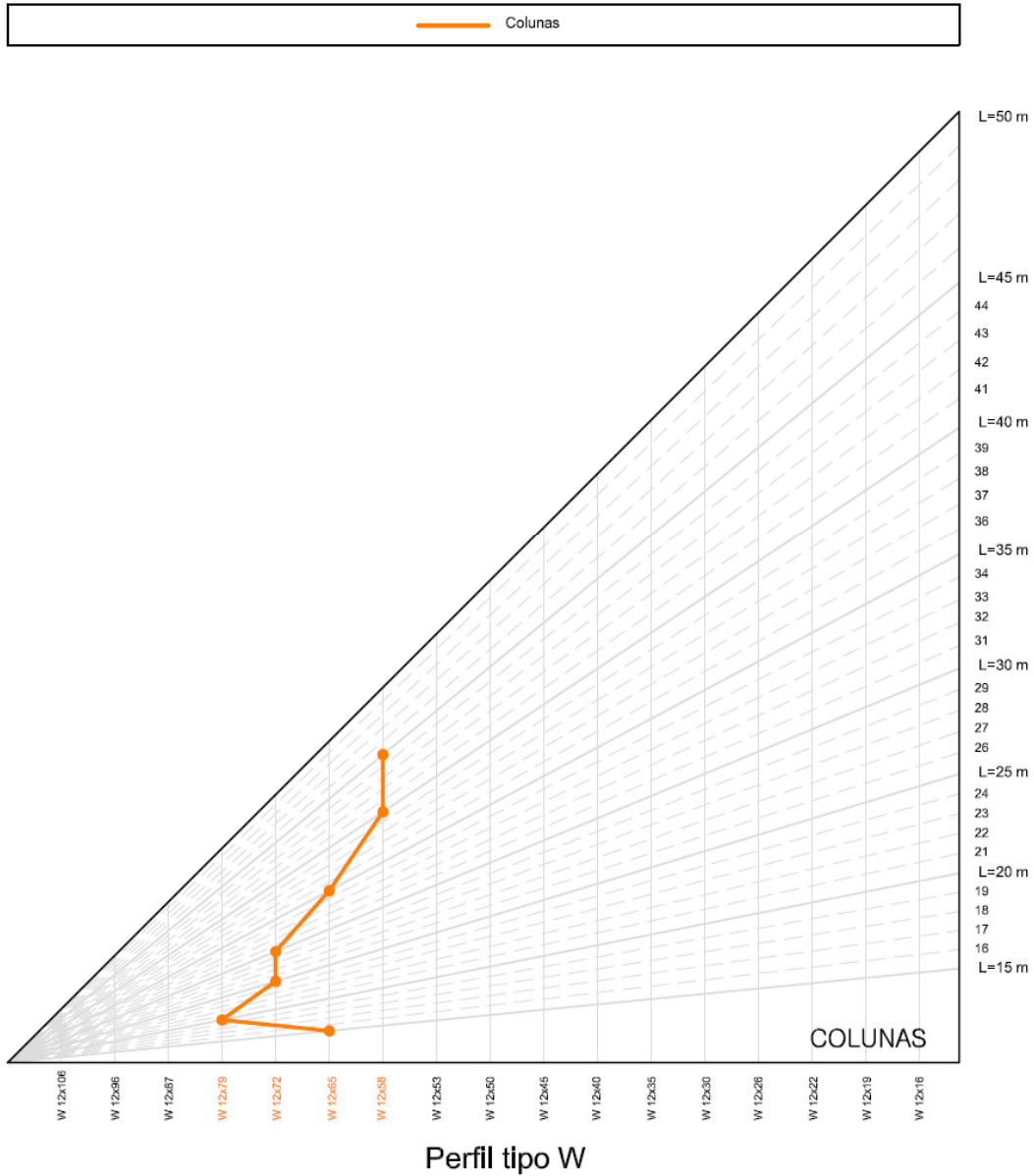
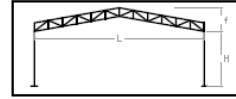
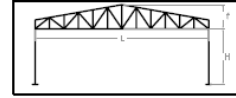


Figura 5.25 – Ábaco de pré-dimensionamento colunas (GP) B= 6 m.

GALPÃO TRELIÇA TRAPEZOIDAL B = 6m



Colunas

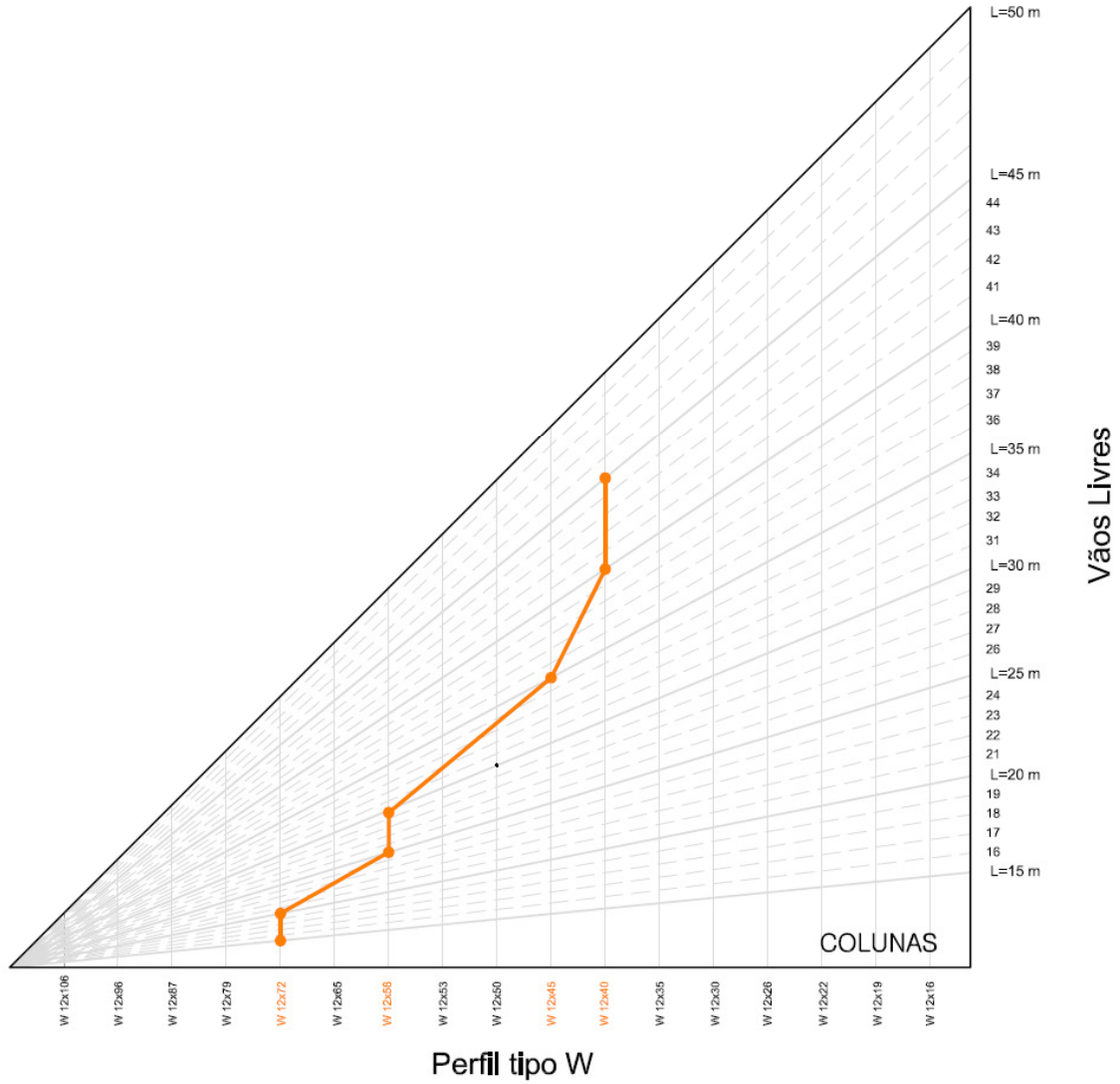


Figura 5.26 – Ábaco de pré-dimensionamento colunas (GZ) B=6 m.

Tabela 5.10– Perfis, esforços máximos e nível de solicitações das colunas GT B6.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Triangular (GT) B=6m							
	COLUNA							
	N (kN)		V (kN)	M (kNm)	PERFIL	Sd/Rd	Δ/Δ_{max}	
	Compressão	Tração					vertical	horizontal
15	48	-59,36	33,80	122,09	W12x72	0,28	0,32	0,94
20	61,67	-78,11	31,81	120,98	W12x72	0,28	0,32	0,99
25	76,14	-95,38	31,89	108,85	W12x65	0,29	0,33	0,94
30	89,18	-113,77	31,34	101,91	W12x58	0,33	0,37	0,91
35	104,26	-130,56	31,26	90,48	W12x50	0,47	0,41	0,83
40	113,79	-131,42	29,23	98,54	W12x53	0,36	0,47	0,99
45	141,85	-158,79	31,39	66,29	W12x40	0,47	0,43	0,74

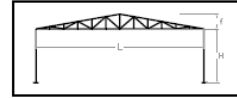
Tabela 5.11 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações das colunas GP B6.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Banzo Paralelos (GP) B=6m							
	COLUNA							
	N (kN)		V (kN)	M (kNm)	PERFIL	Sd/Rd	Δ/Δ_{max}	
	Compressão	Tração					vertical	horizontal
15	46,97	-61,43	36,05	131,16	W12x65	0,34	0,3	0,94
20	62,58	-78,24	33,98	150,34	W12x79	0,31	0,38	0,99
25	75,7	-96,46	34,49	146,05	W12x72	0,34	0,39	0,98
30	90,84	-113,72	34,76	147,09	W12x72	0,34	0,42	0,94
35	105,18	-130,81	36,34	149,99	W12x65	0,40	0,46	0,97
40	120,6	-147,51	38,94	151,11	W12x58	0,48	0,58	0,98
45	138,67	-163,53	43,74	164,83	W12x58	0,44	0,59	0,99

Tabela 5.12 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações das colunas GZ B6.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Trapezoidal (GZ) B=6m							
	COLUNA							
	N (kN)		V (kN)	M (kNm)	PERFIL	Sd/Rd	Δ/Δ_{max}	
	Compressão	Tração					vertical	horizontal
15	46,62	-60,37	35,34	119,99	W 12x72	0,35	0,15	0,97
20	60,66	-78,71	31,91	115,14	W 12x72	0,27	0,12	0,91
25	72,35	-97,26	31,18	106,82	W 12x58	0,34	0,15	1
30	84,84	-107,80	30,42	98,45	W 12x58	0,32	0,17	0,87
35	100,60	-132,16	30,69	84,57	W 12x45	0,47	0,16	0,94
40	117,53	-146,09	31,91	66,76	W 12x40	0,45	0,14	0,65
45	142,97	-158,03	27,76	63,36	W 12x40	0,38	0,21	0,94

GALPÃO TRELIÇA TRIANGULAR B = 9m



Colunas

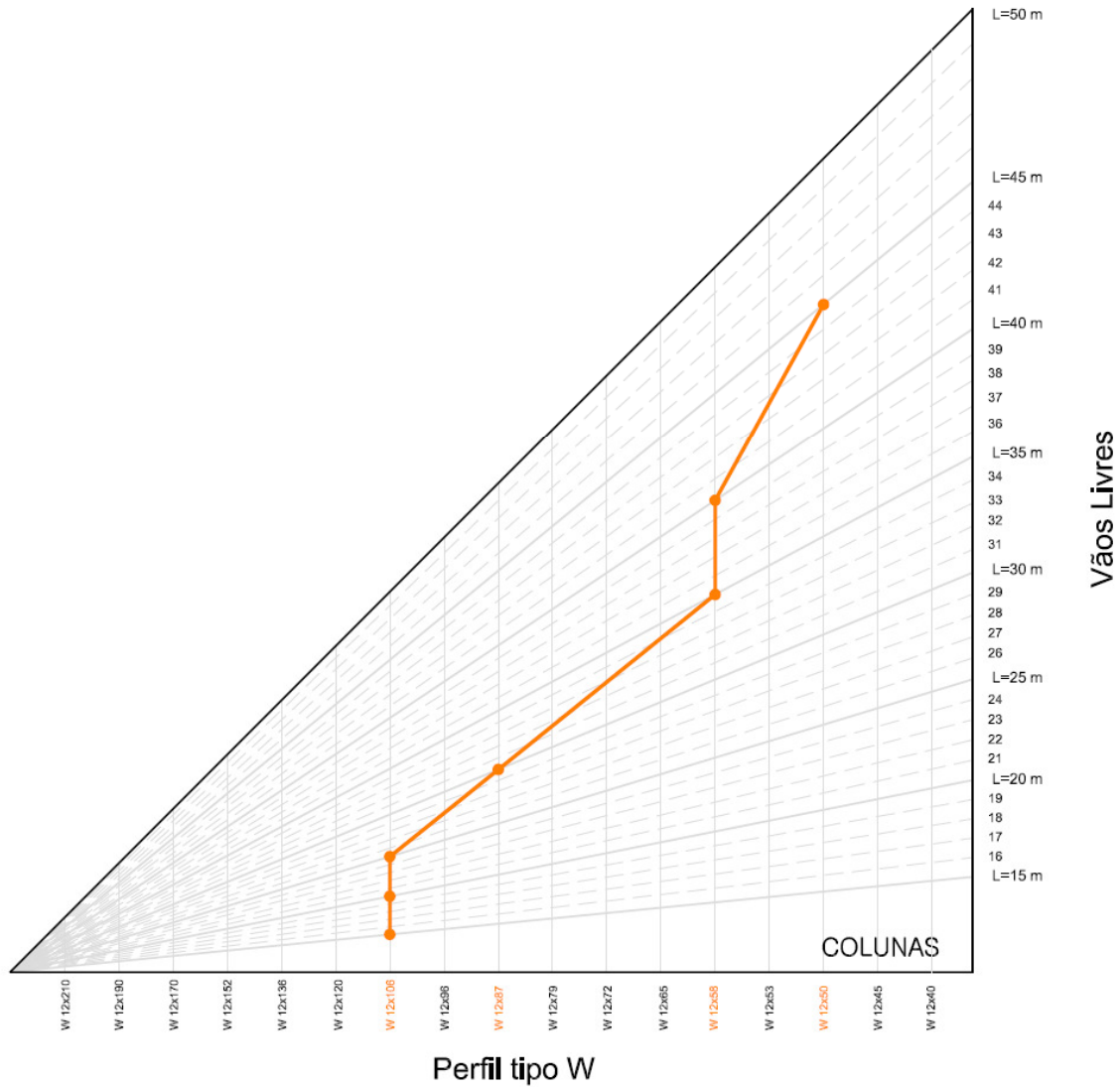


Figura 5.27 – Ábaco de pré-dimensionamento colunas (GT) B=9 m.

GALPÃO TRELIÇA BANZO PARALELO B = 9m

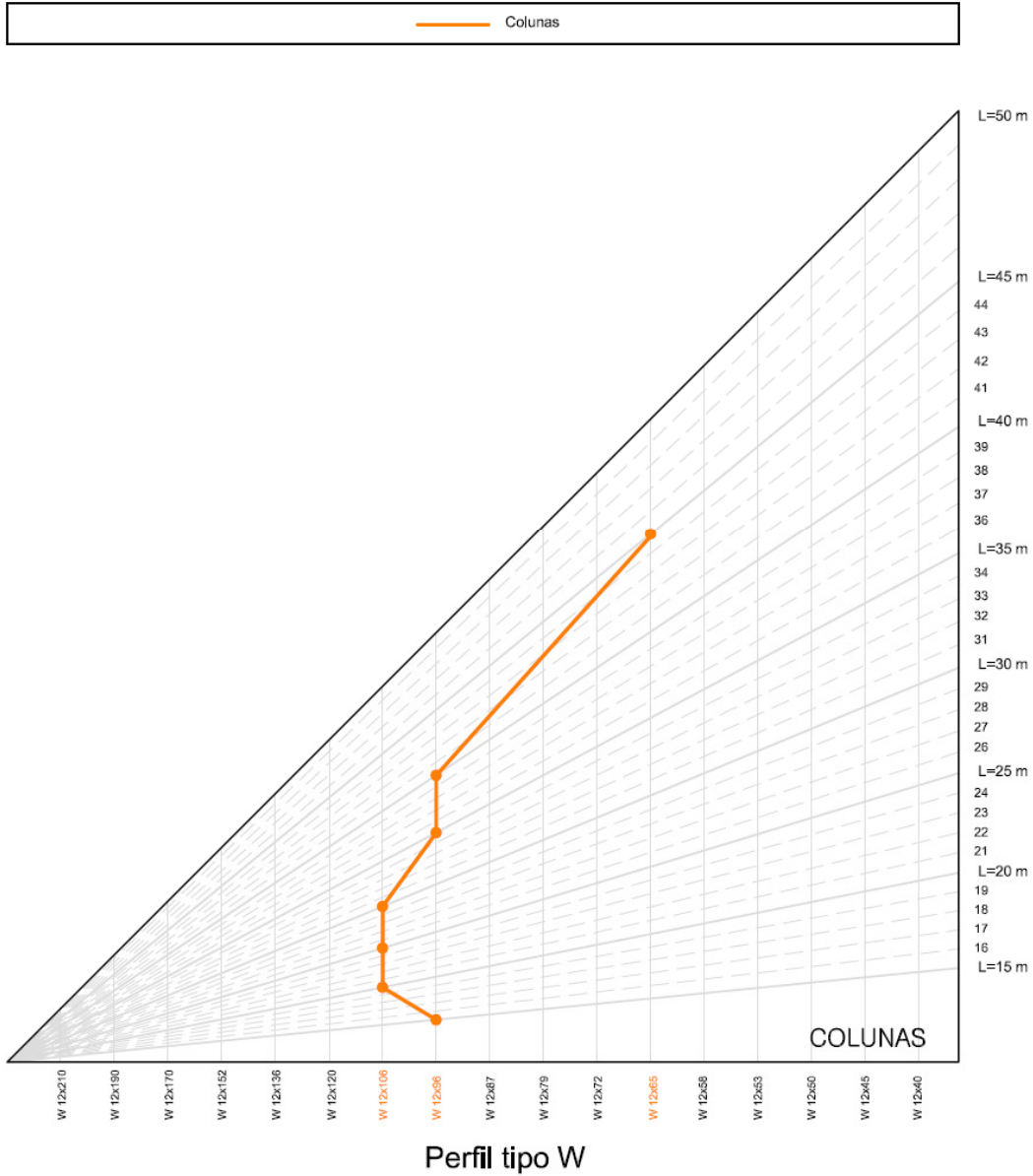
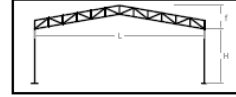
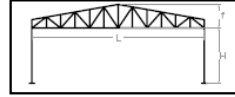


Figura 5.28 – Ábaco de pré-dimensionamento colunas (GP) B= 9 m.

GALPÃO TRELIÇA TRAPEZOIDAL B = 9m



Colunas

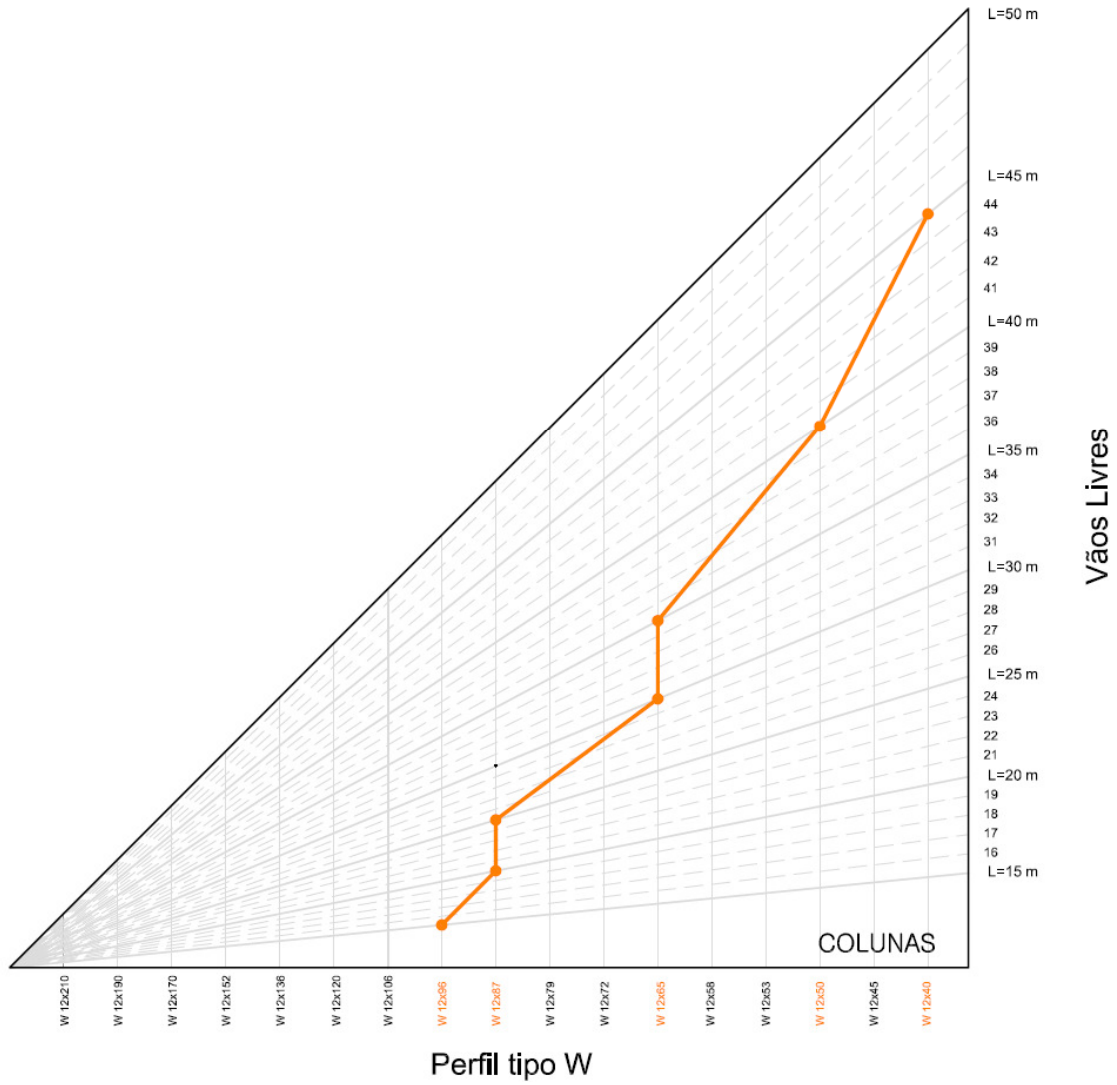


Figura 5.29 – Ábaco de pré-dimensionamento colunas (GZ) B=9 m.

Tabela 5.13 – Perfis, esforços máximos e nível de solicitações das colunas GT B9.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Triangular (GT) B=9m							
	COLUNA							
	N (kN)		V (kN)	M (kNm)	PERFIL	Sd/Rd	Δ/Δ_{max}	
	Compressão	Tração					vertical	horizontal
15	70,69	-89,86	53,00	185,24	W12x106	0,26	0,35	0,98
20	91,63	-120,78	47,49	168,25	W12x106	0,24	0,38	0,85
25	113,7	-148,46	46,99	157,51	W12x106	0,23	0,37	0,76
30	134,04	-175,14	47,16	140,84	W12x87	0,26	0,36	0,82
35	155,58	-205,48	47,72	118,4	W12x58	0,47	0,38	0,99
40	178,88	-233,01	47,17	107,07	W12x58	0,35	0,44	0,81
45	202,32	-259,48	47,24	91,56	W12x50	0,48	0,47	0,73

Tabela 5.14– Perfis, esforços máximos e nível de solicitações das colunas GP B9.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Banzo Paralelos (GP) B=9m							
	COLUNA							
	N (kN)		V (kN)	M (kNm)	PERFIL	Sd/Rd	Δ/Δ_{max}	
	Compressão	Tração					vertical	horizontal
15	68,88	-92,56	55,51	212,64	W12x96	0,34	0,38	0,95
20	91,28	-121,3	50,95	215,92	W12x106	0,30	0,41	0,96
25	112,37	-149,52	53,38	222,88	W12x106	0,32	0,40	0,92
30	134,64	-176,66	56,36	232,04	W12x106	0,33	0,44	0,88
35	155,06	-209,15	58,22	239,09	W12x96	0,38	0,46	1,00
40	181,72	-234,21	61,89	239,39	W12x96	0,39	0,54	0,83
45	205,25	-257,88	58,55	198,46	W12x65	0,52	0,57	0,96

Tabela 5.15– Perfis, esforços máximos e nível de solicitações das colunas GZ B9.

Vão Livre (m)	Galpão de treliça Trapezoidal (GZ) B=9m							
	COLUNA							
	N (kN)		V (kN)	M (kNm)	PERFIL	Sd/Rd	Δ/Δ_{max}	
	Compressão	Tração					vertical	horizontal
15	68,04	-90,7	53,18	177,91	W12x96	0,36	0,15	1,00
20	86,34	-122,61	47,47	158,26	W12x87	0,29	0,16	0,96
25	108,18	-150,21	47,17	143,81	W12x87	0,27	0,13	0,83
30	125,09	-179,10	46,72	129,62	W12x65	0,35	0,14	1,00
35	146,70	-212,46	45,27	121,23	W12x65	0,33	0,18	0,81
40	171,48	-236,94	44,55	104,3	W12x50	0,47	0,21	0,81
45	196,4	-261,92	-42,89	-92,07	W12x40	0,59	0,23	0,72

5.5.

Exemplos de utilização dos ábacos

Para descrever o uso das tabelas e ábacos para o pré-dimensionamento prático são apresentados alguns exemplos a seguir:

- **Exemplo 1:**

Um galpão com medidas padrão, com entrada direta nas tabelas e ábacos. As características do galpão a pré-dimensionar são:

- Tipologia: em função do projeto, galpão de treliça triangular (GT)
- Vão livre do pórtico: $L = 35\text{m}$
- Altura da coluna: $H = 8\text{m}$
- Espaçamento entre pórticos: $B=6\text{ m}$

Pré-dimensionamento:

O procedimento de pré-dimensionamento pelo ábaco é ilustrado na Figura 5.30.

1. Selecione o ábaco referente à treliça triangular com $B=6\text{m}$ → GTB6 (Figura 5.18).
2. Entra-se com a reta do vão livre $L=35\text{ m}$, interceptando a linha de cada elemento estrutural (banzos superior e inferior, diagonais e montantes).
3. Obtemos os perfis pré-dimensionados:
 - ✓ Banzo Superior e Inferior: DL 3,5x3,5x0,4375
 - ✓ Diagonais: L 3x3x0,375
 - ✓ Montantes: L 3x3x0,3125

Pode-se utilizar a tabela 5.4 para este exemplo. As tabelas mostram também os esforços máximos nas barras da treliças.

Para o caso de pré-dimensionamento das colunas, segue-se o mesmo procedimento utilizando o ábaco para o galpão de treliça triangular com $B=6\text{m}$ (GT B6) da Figura 5.24, obtendo-se:

- ✓ Colunas: W 12x40

Pode-se utilizar a tabela 5.10 para este exemplo. As tabelas para as colunas mostram os esforços máximos (normal, cortante e momento) e deslocamentos máximos.

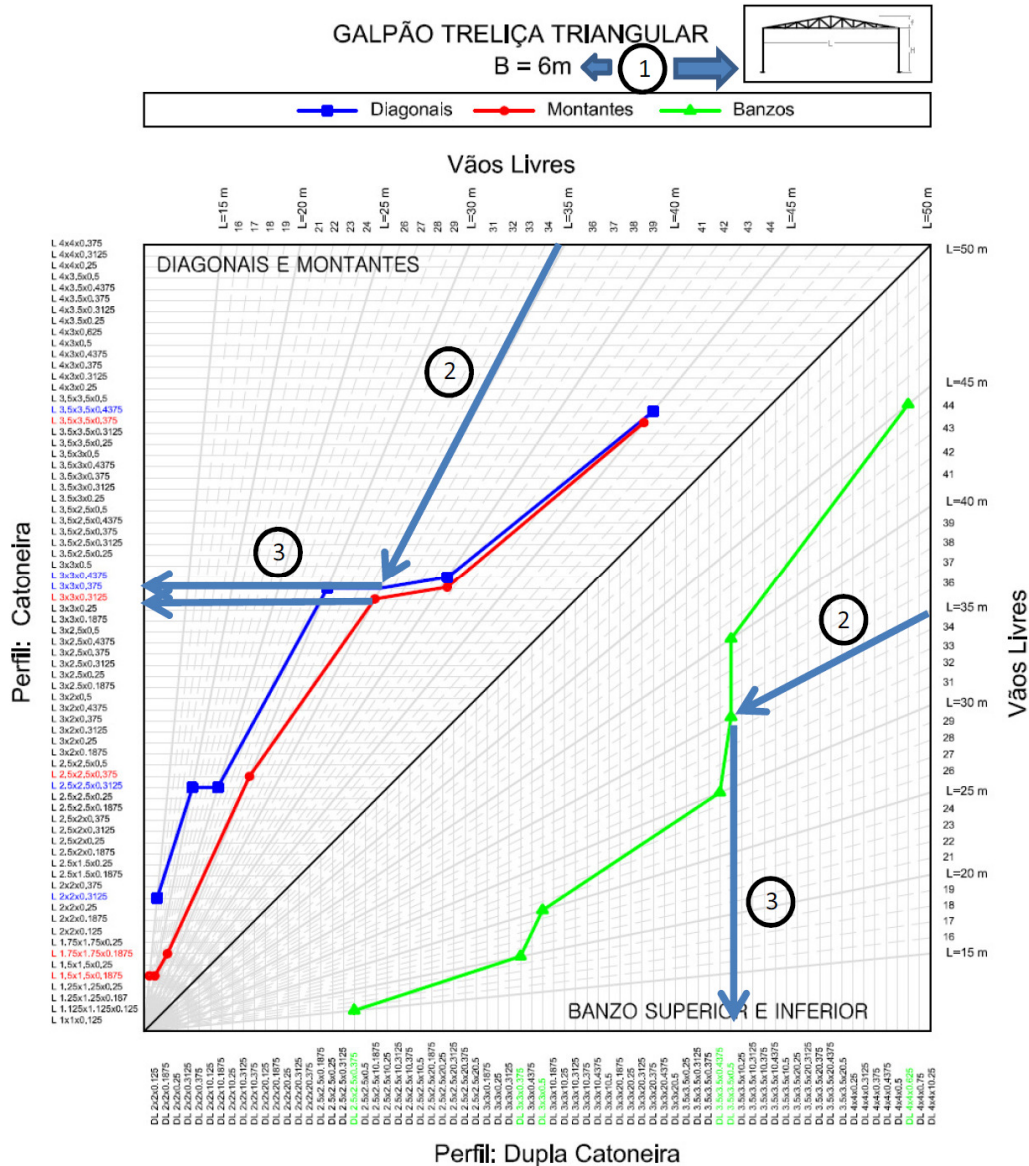


Figura 5.30 – Exemplo 1 de utilização do ábaco de pré-dimensionamento

Note que utilizando o ábaco é possível calcular galpões com medidas intermediárias, por meio de interpolação do pré-dimensionamento dos modelos estudados, escolhendo a seções mais próximas ao resultado de interseções do ábaco correspondente. Esse procedimento é descrito no Exemplo 2 é ilustrado na Figura 5.31.

- **Exemplo 2:**

Para um galpão com medidas intermediárias tem-se as seguintes características:

→ Tipologia: galpão de treliça trapezoidal (GZ)

→ Vão livre do pórtico: $L = 28\text{m}$

→ Altura da coluna: $H = 8\text{m}$

→ Espaçamento entre pórticos: $B = 8\text{ m}$

Pré-dimensionamento:

O procedimento de pré-dimensionamento pelo ábaco é ilustrado na Figura 5.31.

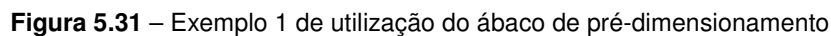
Tem-se por interpolação dos valores:

1. Selecione o ábaco referente à treliça trapezoidal com $B=9\text{m}$ → GZB9 (Figura 5.23).
2. Entra-se com a reta do vão livre $L=28\text{ m}$, interceptando a linha de cada elemento estrutural (banzos superior e inferior, diagonais e montantes).
3. Obtemos os perfis pré-dimensionados:

- ✓ Banzo Superior e Inferior: DL 2,5x2,5x0,50
- ✓ Diagonais: L 3,5x3x0,25
- ✓ Montantes: L 3x3x0,25

Para o caso de pré-dimensionamento das colunas, segue-se o mesmo procedimento utilizando o ábaco para o galpão de treliça trapezoidal com $B=9\text{m}$ (GZ B9) da Figura 5.29, obtendo-se o perfil:

- ✓ Colunas: W12x72



Os elementos dos banzos nas treliças normalmente não ficam articulados nos nós, e, em geral, estão conectados de forma rígida. Na fabricação é usual utilizar cordas contínuas e articular os elementos da treliça. Quando a estrutura se deforma com aplicação das cargas, além dos esforços normais originais aparecem

esforços secundários em forma de momentos fletores devido aos momentos e cortantes gerados devido à deformação da treliça *Sechalo (2012)*.

Comprovou-se que a transformação das ligações articuladas em nós rígidos normalmente não leva a uma variação dos esforços axiais nos elementos, devido a pouca influência dos esforços cortantes transmitidos no equilíbrio de forças nodais.

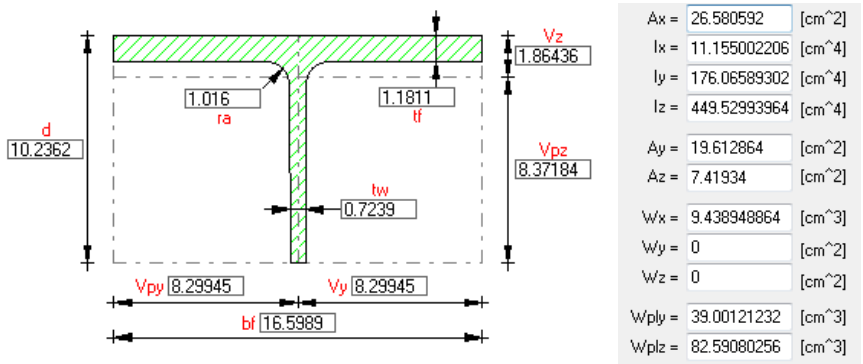
Durante o uso dos ábacos de pré-dimensionamento, notou-se a necessidade de avaliar a influência da rigidez dos banzos sobre os outros elementos da treliça (diagonais e montantes). Realizou-se alguns testes nos modelos em que uma seção maior ao que se determina pelo ábaco para o banzo (do lado da segurança) foi escolhida. Os resultados mostraram que com o reforço do banzo em até 3 bitolas imediatas, obteve-se na verificação os mesmos perfis para as diagonais e montantes. Com isso entende-se que o pré-dimensionamento do banzo, oferece uma margem de segurança sem necessitar alterar os perfis das diagonais e dos montantes. Não obstante, quanto maior a rigidez dos banzos em comparação com a rigidez global da treliça maiores serão os momentos secundários.

5.7.

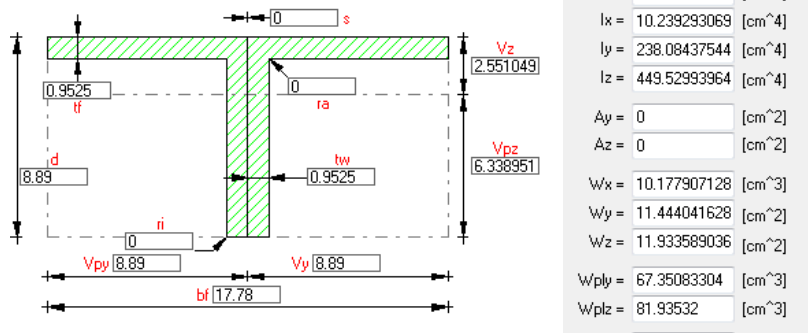
Escolha do perfil em função da seção equivalente

Outro caso que o projetista poderia avaliar no pré-dimensionamento, seria o de escolher entre outros tipos de perfis não disponíveis no pelo ábaco, como por exemplo, para os banzos utilizar perfis TE ao invés de cantoneira dupla. Neste caso, pode-se aplicar o critério de seções equivalentes, ou seja, obter seções que apresentem as propriedades mecânicas equivalentes. Os fabricantes sugerem que a equivalência considere os seguintes critérios: valores de inércia e raio de giração.

Portanto, ao utilizar como referência os valores dessas propriedades (I_z, r_z) da seção obtida no ábaco, pode-se substituir por outro perfil com as mesmas propriedades ou propriedades próximas. A figura 5.32 exemplifica duas seções equivalentes:



TE 4x14



DL 3,5x3,5x0,375

Figura 5.32 – Seções Equivalentes Perfil TE e Perfil DL