

1 **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE PÓRTICOS DE ALMA CHEIA E BANZOS**  
2 **PARALELOS FABRICADOS COM ESTRUTURA DE AÇO**

3 <sup>(1)</sup>Leonardo Batista Souza

4 <sup>(2)</sup>Leonardo Carvalho Mesquita

5 <sup>(1)</sup>Estudante de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

6 <sup>(2)</sup>Professor Adjunto do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

7 Presidente da banca: Leonardo Carvalho Mesquita

8 Membro 1: Arthur Filipe Freire Gomes

9 Membro 2: Diogo Soares Resende

10 **11 de Dezembro de 2017**

11 **RESUMO:** As estruturas produzidas em aço vem sendo cada vez mais utilizadas e aceitas no Brasil,  
12 já que essas resistem de maneira eficiente aos esforços em que são submetidas, além de possuir uma  
13 grande vantagem econômica comparado a outros tipos de estrutura, principalmente, se tratando de  
14 galpões de vãos livres diversos. Esse estudo tem a finalidade de comparar duas tipologias de pórticos  
15 planos para galpões em estrutura de aço, onde as suas colunas são de perfis I de alma cheia, e as suas  
16 vigas de cobertura variam, sendo elas de banzo paralelo ou de alma cheia. Para os dois casos foi  
17 realizada uma análise onde variou-se o vão livre, sendo eles de 12, 16, 20, 24, 28 e 32 metros. Existem  
18 diversas variáveis para se analisar nesse tipo de estudo, justamente por isso foram definidos alguns  
19 parâmetros invariáveis; são eles: o espaçamento entre pórticos, a altura da coluna, que será de alma  
20 cheia para ambas as situações, uma inclinação constante, tipo de vinculação entre as colunas e a sua  
21 base e uma força do vento padrão. A realização da análise dos modelos esboçados no AutoCAD foram  
22 realizadas por meio dos software: VisualVentos para verificação dos esforços do vento na estrutura,  
23 SAP2000 para a análise estrutural e o DESMET para o dimensionamento dos perfis a serem  
24 utilizados. Após a realização da análise estrutural, verificou-se as condições de deslocamento da  
25 estrutura referente aos esforços solicitantes, como prescrito pela ABNT NBR 8800:2008. Por fim, foi  
26 concluído a eficiência dos sistemas estruturais, no qual os pórticos com as vigas de cobertura em  
27 banzo paralelo são mais leves e econômicos, quando comparados às vigas de cobertura em alma cheia,  
28 que são competitivos apenas para os menores vãos, 12 e 16 metros. Foi utilizado como parâmetro  
29 para essa análise final, a taxa de consumo de aço em cada tipologia de pórtico plano estudado.

30 **PALAVRAS-CHAVE:** Alma cheia, Banzo paralelo, Consumo de aço, Pórtico plano, Vão livre.

## COMPARATIVE STUDY BETWEEN FULL BODIED PORTICO AND PARALLEL FLANGE FABRICATED WITH STEEL STRUCTURE

**ABSTRACT:** Structures produced in steel have been increasingly used and accepted in Brazil, since they are efficiently resistant to the efforts in which they are submitted, besides having a great economic advantage compared to other kinds of structure, mainly regarding sheds, which have several free spans. The purpose of this study is comparing two types of flat porticos for steel structure sheds, where their columns are of full bodied I profiles, and their roof beams vary, in which they are of parallel flange or full bodied. For both cases an analysis was performed, where the free span was varied, being 12, 16, 20, 24, 28 and 32 meters. There are several variables to be analyzed in this kind of study, so some invariant parameters were defined; the spacing between porticos, column height, which will be of full bodied for both situations, a constant slope, sort of connection between the columns and their base and a standard wind force. The analysis of the models outlined in AutoCAD was carried out through the following software: VisualVentos for verifying the wind loads in the structure, SAP2000 for structural analysis and DESMET for the sizing of the profiles to be used. After the structural analysis, the conditions of the structure displacement referring to the required efforts, as prescribed by ABNT NBR 8800: 2008 was verified. Finally, the structural systems efficiency was concluded, in which the frames with the parallel flange roof beams are lighter and more economical, when compared to the full bodied roof beams, which are competitive only for the smaller spans, 12 and 16 meters. It was used as a parameter for this final analysis, the rate of steel consumption in each kind of studied flat portico.

**KEYWORDS:** Full bodied, Parallel flange, Consumption of steel, Flat portico, Free span.

### 1. INTRODUÇÃO

Os projetos em estruturas metálicas, assim como qualquer outro tipo de estrutura, visa atender a um parâmetro essencial para a construção civil e para todos aqueles que estejam envolvidos em toda a construção, que é o custo da obra. É de extrema relevância que esses projetos atendam a alguns requisitos fundamentais, como: economia, segurança e durabilidade. A união destes requisitos, que depende da capacidade do projetista e do calculista, garante a competitividade da empresa no mercado cada vez mais globalizado.

A utilização da estrutura metálica é algo que pode-se dizer bem antigo, sendo que no Brasil os primeiros registros de seu emprego teve início no século XIX. Desde então houve um crescente uso desse tipo de estrutura tanto no Brasil como em todo o mundo, onde esse crescimento está diretamente ligado ao surgimento e melhorias das tecnologias empregadas em todo o processo, desde a fabricação até a execução. Além das obras totalmente em aço, onde elas respondem a todos os tipos

67 de solicitações de esforços que são exigidas, teve-se a descoberta da eficiência do seu uso juntamente  
68 com o concreto, tornando assim a construção civil como um importante setor de consumo de aço em  
69 todo o mundo.

70 Se tratando da construção civil brasileira, observa-se que o uso da estrutura metálica é  
71 responsável por uma grande parte dos empreendimentos de galpões de uso geral, podendo ter uma  
72 grande variação de vãos. Dentro deste tipo de obra, as estruturas mais utilizadas são as que possuem  
73 apenas um pavimento, onde é necessário além de atender os requisitos fundamentais (economia,  
74 segurança e durabilidade), atender a variabilidade quanto ao vão livre que se deseja e depende da sua  
75 aplicação, tais como: depósitos, lojas, fabricas, ginásios, hangares, etc.

76 Para satisfazer a demanda do mercado é extremamente importante um conhecimento prévio,  
77 juntamente com o que se é exigido em termos de vão livre e características desejadas para o galpão,  
78 de qual sistema estrutural tem um melhor custo benefício. Existem várias tipologias de pórticos planos  
79 principais para esse perfil de obra, onde dois deles serão analisados e estudados nessa pesquisa, o  
80 pórtico de coluna e viga de cobertura de alma cheia (AC) e o pórtico de coluna de alma cheia e viga  
81 de cobertura de banzo paralelo (BP), ambos avaliados para diversos vãos livres.

82 O principal objetivo desse estudo é determinar, dentre os dois tipos de estruturas de pórticos  
83 planos metálicos analisados, qual tipo é mais indicado para o uso, levando em consideração a  
84 principal variável que é o vão livre. Após ser encontrado os perfis mais adequados para cada uma das  
85 tipologias, alguns critérios referenciados pela ANBT NBR 8800:2008 serão verificados, como o  
86 deslocamento horizontal e vertical. Utilizando como parâmetro de comparação a taxa de consumo de  
87 aço da estrutura em cada caso, a eficiência de cada tipologia é analisada.

## 88 **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

89 O projeto de dimensionamento de um galpão realizado em estrutura metálica tem a  
90 necessidade da definição de um sistema estrutural, obtido através da avaliação das ações que nele irão  
91 atuar, para enfim poder ser dimensionado de maneira satisfatória quanto a sua capacidade de suporte  
92 e sua viabilidade econômica.

93 A seguir são apresentadas as formas e propriedades escolhidas dos pórticos para a realização  
94 desse estudo sobre galpões metálicos.

### 95 **2.1. Galpões de uso geral**

96 Os galpões, de acordo com o Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas  
97 (MIC/STI, 1986), são construções de um pavimento, que tem o objetivo de fechar e cobrir grandes  
98 áreas, assim dando proteção as instalações e os produtos a serem armazenados.

99 Já de acordo com Fisher (1993), a maioria dos edifícios industriais tem um objetivo mais  
100 específico de abrigar ou encobrir uma área para a estocagem ou produção de determinado produto.

101 A construção utilizando estrutura metálica, assim como na que utiliza-se concreto, tem-se que  
102 ela pode ser tanto fabricada e montada *in loco*, quanto fabricadas em empresas especializadas para tal  
103 serviço e posteriormente levadas e montadas no local da obra.

## 104 **2.2. Sistemas Estruturais de Galpões de Uso Geral**

105 “Dentre os diversos sistemas estruturais aplicáveis aos galpões de uso geral, o sistema  
106 formado por pórticos planos transversais, formando a estrutura principal, estabilizados  
107 longitudinalmente por estruturas secundárias, é um dos mais comuns e difundidos.” (NOGUEIRA,  
108 2009, p. 10).

109 Os pórticos planos transversais possuem diversos aspectos que são de extrema importância  
110 para a determinação do modelo mais viável. A seguir serão mostrados os mais relevantes para esse  
111 tipo de pórtico e das suas estruturas estabilizadas longitudinalmente.

### 112 **2.2.1. Pórticos Planos**

113 Esse tipo de pórtico é composto por duas colunas e uma viga de cobertura, onde pode-se variar  
114 o tipo de cada uma delas, fazendo com que a estrutura principal mude juntamente com os esforços  
115 que cada uma é solicitada, assim alterando suas características e conseqüentemente o seu  
116 dimensionamento.

117 Outra concepção importante que se deve ter nos pórticos planos transversais é do tipo de  
118 vinculação entre a coluna e a fundação. Esse tipo de vínculo influencia diretamente no que se diz  
119 respeito aos esforços transmitidos de toda a estrutura para a sua fundação, assim como no seu  
120 deslocamento horizontal.

#### 121 **2.2.1.1. Pórticos de bases rotuladas**

122 Se tratando de pórticos com esse tipo de vinculação na base, tem-se um resultado de fundações  
123 mais econômicas se comparadas aos pórticos engastados na base, sendo favorecida a sua implantação  
124 em terrenos cuja capacidade de suporte do solo é baixa (BELLEI, 2006). Entretanto, os esforços em  
125 que a estrutura está sujeita é bem maior quando comparadas com os pórticos de base engastadas.

#### 126 **2.2.1.2. Pórticos de bases engastadas**

127 Considerando as bases das colunas dos pórticos engastadas consegue-se obter uma melhor  
128 redistribuição dos esforços solicitantes e conseqüentemente uma estrutura mais econômica e mais  
129 fácil de ser montada (BELLEI, 2006). Esse tipo de vinculação é conveniente quando a capacidade de  
130 suporte do terreno de fundação é alta, já que nele os esforços de momento fletor da estrutura é  
131 transmitido diretamente para a fundação.

#### 132 **2.2.1.3. Pórtico de Alma Cheia**

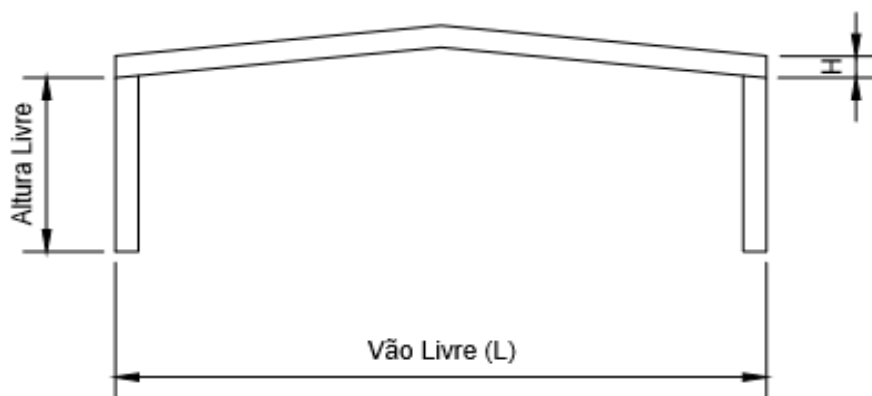
133 Nesse tipo de pórtico as colunas e as vigas de cobertura são formadas por perfis de alma cheia,  
 134 como mostrado na Figura 1. Segundo Nogueira (2009) as principais vantagens desse tipo de pórtico  
 135 são: baixo custo de limpeza e pintura, facilidade de fabricação e transporte, maior rigidez no processo  
 136 de montagem quando comparado com as estruturas treliçadas, sendo esse tipo mais viável  
 137 economicamente para vãos livres por volta de 20 metros.

138 De acordo com Bellei (2006), a altura da seção da viga de cobertura (H) do pórtico varia de  
 139 acordo com uma relação que envolve o seu vão livre (L), assim como mostrado na Tabela 1.

140 Tabela 1. Relação entre altura da seção e o vão livre.

	Vão para galpão com ponte rolante	Vão para galpão sem ponte rolante
H/L	1/40 a 1/60	1/50 a 1/70

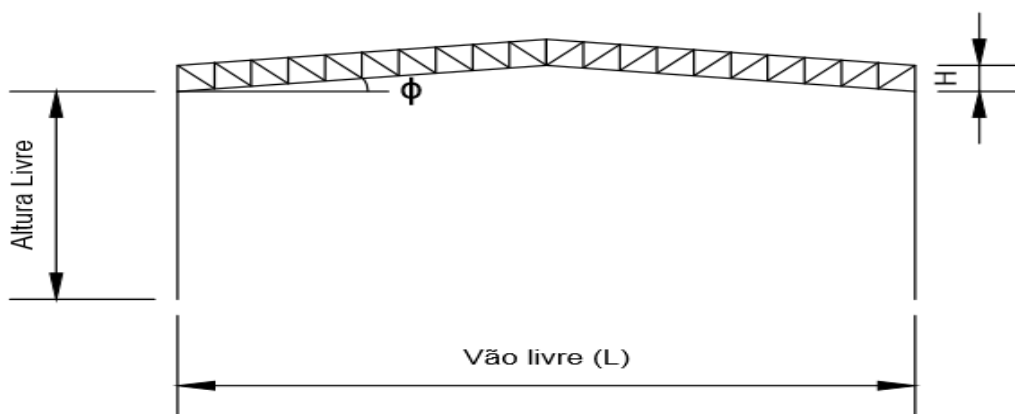
141 Fonte: BELLEI, 2006.



142 Figura 1. Pórtico de Alma Cheia. Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 143 2.2.1.4. Pórtico com viga de cobertura Banzo Paralelo

144 Segundo Bellei (2006) esse tipo de pórtico tem a sua viabilidade econômica para vãos acima  
 145 de 25 metros – 30 metros, onde a sua principal característica consiste no trabalho das barras da  
 146 estrutura ser normalmente por tração ou compressão. A viga de cobertura formada por um banzo  
 147 paralelo treliçado, é recomendado para inclinações ( $\phi$ ) de 0% a 10%, conforme a Figura 2.



148 Figura 2. Pórtico com viga de cobertura Banzo Paralelo com inclinação de 10%. Fonte: Elaborado pelo autor

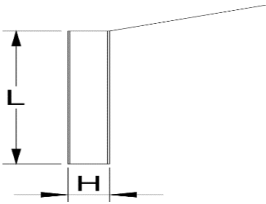
149 A altura entre os banzos (H) varia de acordo com o vão livre (L) e a inclinação do telhado ( $\phi$ ),  
150 conforme a Equação 1:

$$151 \quad H = \frac{L}{2} \cdot i \quad \text{Equação 1}$$

### 152 2.2.2. Tipologia da coluna e pré-dimensionamento

153 A pesquisa realizada com os dois tipos de viga de cobertura apresentados acima possui alguns  
154 parâmetros pré-definidos, dentre eles a coluna para ambos os modelos de pórticos é obtida por perfis  
155 tipo I com altura constante, onde a altura da seção transversal das colunas (H) varia de acordo com a  
156 altura da sua coluna (L), obedecendo as relações da Tabela 2, de acordo com os parâmetros mostrados  
157 na sua imagem (BELLEI, 2006).

158 Tabela 2. Relação mínima da altura da seção transversal da coluna.

	L (m)	Relação mínima H/L
	10 – 15	1/15 a 1/18
	15 – 20	1/17 a 1/20
	> 20	1/19 a 1/22

159

### 160 2.3. Ações nas estruturas

161 De acordo com Fakury (2009), define-se a ação como alguma influência, ou conjunto destas,  
162 que tem a capacidade de proporcionar a estrutura tensões internas, tanto quanto deformações ou  
163 deslocamentos de corpo rígido.

#### 164 2.3.1. Ações Permanentes

165 Quando se trata de qualquer tipo de obra na construção civil, é de extrema importância ter o  
166 conceito do seu tempo de vida útil, sendo essa geralmente de 50 anos. As ações permanentes são  
167 aquelas que sofrem pequenas variações ao longo da sua vida útil. Nesse tipo de ação existem dois  
168 tipos, as diretas e indiretas. As diretas podem ser o peso próprio da estrutura e de todo que a compõe,  
169 como a alvenaria, pisos, revestimento, acabamento, etc. As indiretas são mais raras, onde se  
170 enquadram a protensão, a dilatação de elementos da estrutura e os recalques de apoios e a retração  
171 (QUEIROZ, 1986).

#### 172 2.3.2. Ações variáveis

173 Esse tipo de ação já sofre uma variação maior ao longo da vida útil da estrutura. As ações  
174 variáveis são aquelas originadas de equipamentos moveis, ventos usuais, variação de temperatura,  
175 sobrecarga de cobertura e do piso, etc. (FAKURY, 2009).

176 **2.3.3. Ações excepcionais**

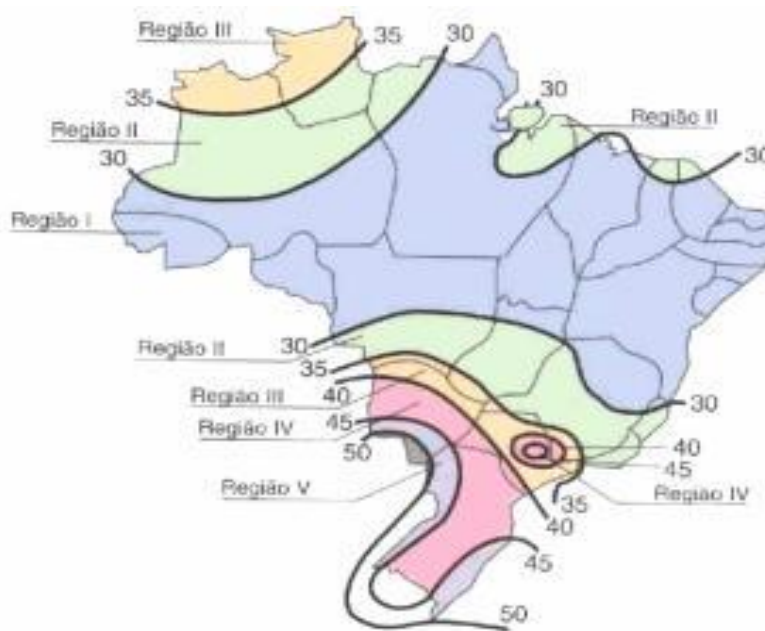
177 As ações excepcionais também variam ao longo da vida útil da estrutura, sendo que essas  
178 variações ocorrem em períodos muito pequenos, mas com valores significativos. São ações que tem  
179 uma probabilidade de ocorrência mínima, e se originam de choques de veículos, explosões, furacões,  
180 incêndios, atividade sísmica, etc. (FAKURY, 2009).

181 **2.3.4. Ações do vento**

182 Segundo Bellei (2006), os valores de velocidade básicas do vento são determinados por  
183 modelos estatísticos, onde utilizam como parâmetro os valores de velocidades máximas anuais  
184 medidos em várias cidades brasileiras durante as décadas de 50, 60 e 70 do século XX. É considerado  
185 também um período de recorrência de 50 anos, para que assim seja representado o tempo de vida útil  
186 da estrutura.

187 Essa velocidade básica do vento pode ser definida como: “a velocidade de uma rajada de 3  
188 segundos, excedida em média uma vez a cada 50 anos, tomada a 10 metros acima do terreno, em  
189 campo aberto e plano” (ABNT NBR 6123:1988, p.5).

190 A Figura 3 apresenta um mapa com velocidades básicas do vento, prescrita pela ABNT NBR  
191 6123:1988, de acordo com os modelos estáticos realizados para todo o território brasileiro, sendo esse  
192 mapa utilizado como fonte para a pesquisa realizada.



193  
194 Figura 3. Isopletas da velocidade básica do vento. Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

195 **3. METODOLOGIA**

196 Para o resultado final obtido, que é a relação da taxa de consumo de aço para os vãos livres  
197 estabelecidos, foram estipulados alguns parâmetros fixos e outros variáveis, para poder analisar e  
198 comparar os dois tipos de vigas de coberturas diferentes, banzo paralelo e alma cheia. Todos tipos de

199 análises e condições estipuladas no decorrer da pesquisa teve como base às normas ABNT NBR  
200 8800:2008 e NBR 6123:1988.

### 201 3.1. Definição dos parâmetros

202 Como há uma grande possibilidade de qualquer parâmetro influenciar na taxa de aço final, de  
203 acordo com cada vão livre analisado, foram definidos alguns deles que permanecerão constantes ao  
204 longo da pesquisa.

#### 205 3.1.1. Parâmetros definidos

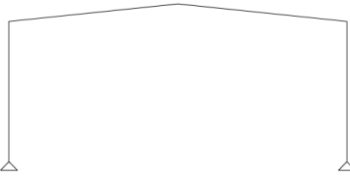
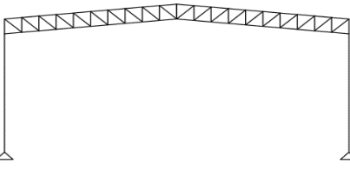
206 Para realização deste trabalho foram definidos os seguintes parâmetros:

- 207 • Espaçamento entre pórticos: 6 metros, sendo um total de 11 pórticos, 60 metros de comprimento;
- 208 • Coluna: 8 metros, sendo para todos os casos de alma cheia;
- 209 • Velocidade básica do vento constante:  $V_0 = 35 \text{ m/s}$ ;
- 210 • Inclinação das vigas de coberturas: 10 % ou 10:1;
- 211 • Aço ASTM A572 Grade 50 utilizado para todos os tipos de perfis adotados;
- 212 • Tipo de apoio dos pórticos: rotulada.

213 Para descrever as tipologias de pórticos analisadas, com o seu respectivo vão livre, será adotada  
214 a simbologia apresentada na Tabela 3.

215

Tabela 3. Simbologia adotada

Tipologia	Vão livre (m)	Simbologia
 (Alma cheia) - AC	12	AC-12
	16	AC-16
	20	AC-20
	24	AC-24
	28	AC-28
	32	AC-32
 (Banzo paralelo) - BP	12	BP-12
	16	BP-16
	20	BP-20
	24	BP-24
	28	BP-28
	32	BP-32



216 Foi definido também a altura em que a junção entre as vigas de cobertura (parte mais alta do  
217 pórtico) se localiza, sendo ela igual para o banzo paralelo e alma cheia. Essa altura ( $h$ ) obedece a  
218 relação da inclinação do telhado. Já a altura entre o banzo inferior e o banzo superior ( $h_0$ ), para as  
219 vigas de cobertura de banzo paralelo, foi definido como sendo  $h_0 = h$ .

### 220 3.1.3. Escolha do perfil da coluna de alma cheia

221 Para a definição da altura da seção transversal da peça (coluna), foi analisado a relação da  
222 Tabela 2. Assim definiu-se que o perfil a ser utilizado nas colunas para ambos pórticos estudados,  
223 será o W 410x46,1, de acordo com o catálogo de perfis laminados da GERDAU AÇOMINAS.

### 224 3.1.4. Escolha do perfil da viga de cobertura de alma cheia

225 Para a realização do pré-dimensionamento do perfil a ser adotado, foi definido que para esse  
226 tipo de viga (alma cheia) o perfil mais adequado é o perfil I, além disso, foi obedecido a relação de  
227 acordo com a Tabela 1, assim, tem-se a altura necessária para o perfil a ser adotado de acordo com  
228 o catálogo de perfis laminados de abas paralelas da GERDAU AÇOMINAS (Tabela 4).

229 Tabela 4. Perfil adotado para vigas de alma cheia.

Vão livre (m)	H (mm)	Perfil adotado
12	171	W 200 x 15,0
16	228	W 250 x 17,9
20	285	W 310 x 21,0
24	342	W 360 x 32,9
28	400	W 410 x 38,8
32	457	W 460 x 52,0

230

### 231 3.1.5. Escolha do perfil da viga de cobertura de banzos paralelos

232 Para a definição dos perfis a serem escolhidos para esse tipo de viga de cobertura, deve-se  
233 analisar separadamente os banzos (inferior e superior) e as montantes e diagonais da treliça, sendo  
234 que ambas serão formadas por dupla cantoneira, que é representada pela simbologia 2L, sendo o  
235 número a seguir o comprimento da sua aba e o último número representa a sua espessura, todos eles  
236 em milímetros. Essa escolha de separar os banzos das montantes e diagonais se deve ao fato do peso  
237 linear necessário para cada uma delas, sendo que para os banzos esse peso deve ser um pouco maior.

238 Assim, foram adotados perfis de dupla cantoneira diferentes de acordo com cada parte que  
239 compõe a treliça (Tabela 5), sendo que esses perfis não irão variar com o vão livre.

240 Tabela 5. Perfil adotado para vigas de banzo paralelo.

Elemento da treliça	Perfil adotado (dupla cantoneira)
Banzos (inferior e superior)	2L 76,2 x 6,35
Montantes e diagonais	2L 76,2 x 4,76

241 **3.2. Montagem e análise dos modelos**

242 Após toda definição dos perfis a serem utilizados nos dois tipos de vigas de coberturas, além  
243 das dimensões de todas as alturas definidas, foram feitas as modelagens de todos os pórticos, para  
244 todos os vãos no software AutoCAD. Em seguida foram exportados os desenhos para o software  
245 SAP2000 onde foram realizadas as análises dos esforços atuantes nos pórticos.

246 **3.2.1. Esforço de peso próprio**

247 No software SAP2000 é especificado o perfil da seção transversal que estipulou-se para cada  
248 tipo de viga de cobertura e coluna, de acordo com a variância do vão livre, sendo assim, o software  
249 faz a análise do peso próprio do pórtico como um todo. Entretanto, foi necessário acrescentar 30%  
250 ao valor inicial do peso próprio do pórtico, sendo esse valor estimado para representar o peso do  
251 elementos adicionais do telhado, como terças e contraventamentos.

252 **3.2.2. Sobrecarga de cobertura**

253 A ABNT NBR 8800:2008, em seu ANEXO B, especifica um valor de sobrecarga de cobertura  
254 mínima de  $0,25 \text{ kN/m}^2$ , assim foi utilizado essa recomendação da norma para consideração desta  
255 ação.

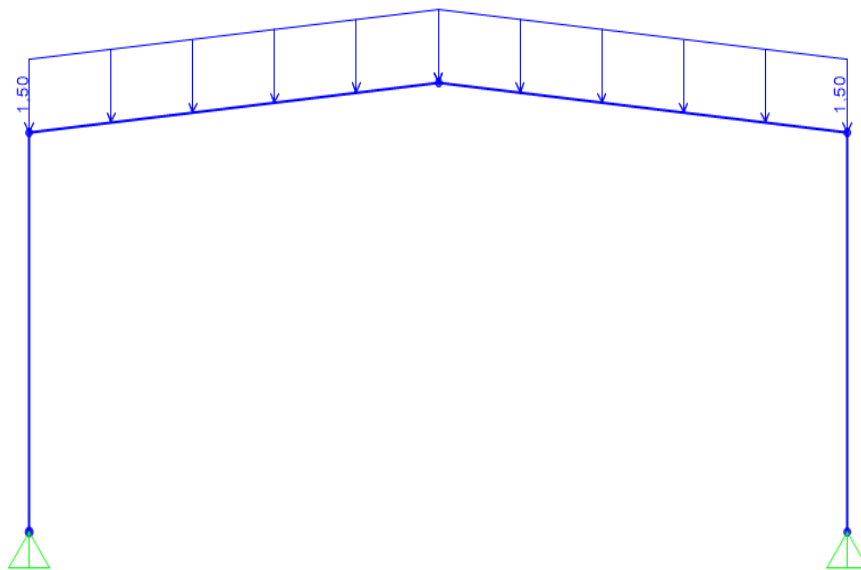
256 **3.2.2.1. Sobrecarga de cobertura nas vigas de alma cheia**

257 Neste tipo de viga de cobertura o carregamento de sobrecarga é considerado distribuído ao  
258 longo de toda sua extensão, portanto foram utilizados os valores da Tabela 6. A Figura 4 mostra  
259 como fica esse carregamento distribuído  $Q$  (kN/m).

260 Tabela 6. Valores de sobrecarga de cobertura para alma cheia

Vão livre (m)	$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_k$ (kN/m)
Todos	0,25	1,5

261



263

Figura 4. Carregamento distribuído da sobrecarga para AC-12. Fonte: Elaborado pelo autor.

264 **3.2.2.2. Sobrecarga de cobertura nas vigas de banzo paralelo**

265 A treliça de banzo paralelo como viga de cobertura tem a característica de receber o valor  
266 dessa sobrecarga nos nós onde estão localizadas as terças, ou seja, o valor característico recomendado  
267 pela NBR8800:2008 necessita ser transformado para uma carga pontual aplicada nessa localidade.  
268 Medindo-se a distância entre as terças pelo AutoCAD, sendo que elas se encontram no nó da coluna  
269 com a viga, e prosseguindo de dois em dois nós, obtém-se que essa distância inclinada é de 2,01  
270 metros.

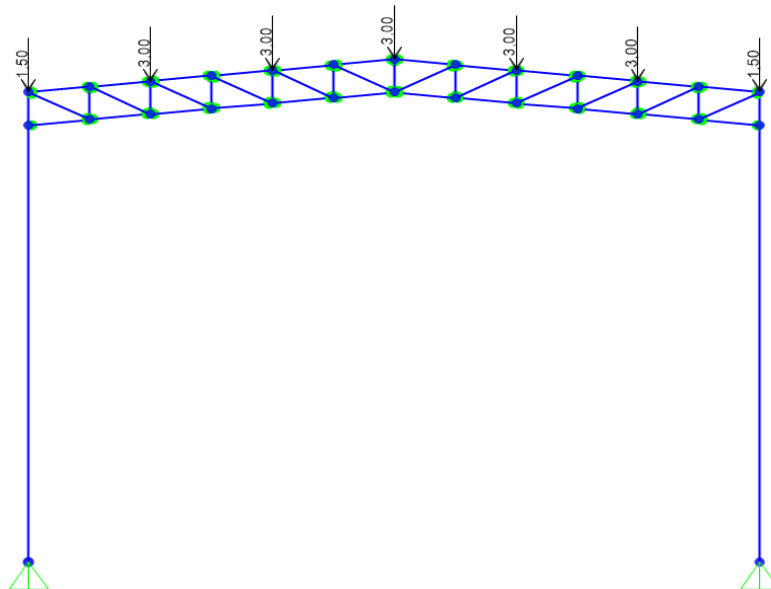
271 O espaçamento entre pórticos (L) também é um fator que deve ser levado em consideração na  
272 hora dos cálculos, entretanto, nesse trabalho ele foi adotado como um dado fixo e de valor L= 6  
273 metros. O vão livre não influencia no valor dessa sobrecarga, assim, para todos os vãos, a carga  
274 pontual aplicada nos nós das terças serão iguais. Diverge-se apenas o valor das cargas pontuais de  
275 sobrecarga nos nós entre a coluna e a viga, sendo esses a metade do valor, já que a sua área de  
276 influência é a metade (Tabela 7).

277 A Figura 5 representa como fica esse carregamento pontual (kN) para a viga de cobertura de  
278 banzo paralelo com vão livre de 12 metros.

279 Tabela 7. Valores de sobrecarga de cobertura para banzo paralelo

Vão livre	q (kN/m <sup>2</sup> )	L (m)	Espaçamento entre terças (m)	Q <sub>k</sub> (kN)
Todos	0,25	6	2,01	3

280



281

282 Figura 5. Cargas pontuais nos nós devido a sobrecarga no BP 12. Fonte: Elaborado pelo autor.

283 **3.2.3. Esforço do vento**

284 Para o cálculo desse tipo de esforço foi utilizado o programa VisualVentos, nele são  
285 considerados alguns parâmetros importantes que dependem das dimensões dos galpões e outros que

286 dependem da localização, do terreno e do tipo de edificação. O VisualVentos segue as prescrições  
287 da NBR6123:1988 (ABNT, 1988).

288 No programa, primeiramente são fornecidos os dados individuais geométricos dos galpões,  
289 onde variamos os vãos livres que foram estipulados, e mantemos constantes o comprimento do  
290 galpão, 60 metros (11 pórticos), a altura da coluna, a distância entre pórticos igual a 6 metros e a  
291 inclinação do telhado em graus, sendo  $10\% = 5,71^\circ$ .

292 Após os parâmetros geométricos definidos, é necessário especificar a velocidade básica do  
293 vento de acordo com a região onde será construído o galpão. Considerando que todos eles serão  
294 obrados na cidade de Rio Paranaíba/MG, e de acordo o mapa de velocidades básicas da ABNT NBR  
295 6123:1988, foi utilizado uma velocidade básica igual a 35 m/s.

296 Posteriormente, é necessário calcular 3 parâmetros, S1, S2 e S3, onde o S1, que é o fator  
297 topográfico e depende se o terreno é plano ou fracamente acidentado, ou com taludes e morros, ou  
298 ainda de vales profundos, protegidos de vento de qualquer direção, e para o cálculo desse parâmetro  
299 foi definido que o terreno é plano ou fracamente acidentado, sendo esse o que mais se aproxima da  
300 região retratada, assim  $S1 = 1$ . O fator S2, que é um fator de rugosidade em que depende da descrição  
301 do ambiente, foi considerado o grupo III, onde é recomendado para terrenos planos ou ondulados,  
302 com poucos quebra-ventos de árvores, o que se enquadra com a região de Rio Paranaíba, já que a  
303 cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3 metros.

304 O programa ainda especifica uma classe de edificação para o cálculo desse fator que está  
305 relacionada com a maior dimensão do galpão, e como essa maior dimensão é o seu comprimento  
306 igual a 60 metros, a classe é a C, assim  $S2 = 0,87$ . Para a determinação do último fator S3, que é o  
307 fator estatístico, ou seja, um fator que considera o grau de segurança desejado e a vida útil da  
308 edificação, definimos o grupo 2, que é para edificações para indústria com alto fator de ocupação,  
309 sendo então o  $S3 = 1$ .

310 É necessário ainda especificar os coeficientes de pressão interna ( $C_{pi}$ ), para isso considera-se  
311 que a estrutura possui quatro faces igualmente permeáveis sendo então o  $C_{pi} = -0,3$  ou  $C_{pi} = 0,0$ .

312 Após toda essa análise e determinação de parâmetros, o software gera as combinações por  
313 efeito dos coeficientes de pressões, sendo essas relativas aos ventos a  $0^\circ$  e  $90^\circ$ . E enfim são fornecidos  
314 os esforços resultantes correspondentes aos ventos de  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , onde para cada direção do vento, têm-  
315 se dois diagramas, um para o  $C_{pi} = -0,3$  e o outro para o  $C_{pi} = 0,0$ . Para efeito de segurança, faz-se  
316 um diagrama resultante para cada tipo de vento, colocando em cada barra (colunas e vigas) aquele  
317 que tem o maior esforço, podendo ele ser com o  $C_{pi}$  diferente.

318 Assim como na sobrecarga de cobertura, para as vigas de alma cheia, o efeito nas vigas é  
319 distribuído, já para as vigas de banzo paralelo, os efeitos nelas serão pontuais nos nós das terças.  
320 Entretanto, para as colunas de ambos os modelos, o carregamento segue como distribuído.

### 321 **3.3. Combinações utilizadas**

322 Para o dimensionamentos dos elementos estruturais que serão utilizados nos pórticos,  
323 respeitando os estados limites últimos, é necessário a obtenção dos esforços solicitantes de cálculo,  
324 dadas através das seguintes combinações:

- 325 • Combinação 1:  $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k + F_n = 1,4 \cdot G_k + 1,5 Q_k + F_n$
- 326 • Combinação 2:  $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot W_{0^\circ} = 1,0 \cdot G_k + 1,4 \cdot W_{0^\circ}$
- 327 • Combinação 3:  $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot W_{90^\circ} = 1,0 \cdot G_k + 1,4 \cdot W_{90^\circ}$

328 Entretanto, para a verificação dos deslocamentos horizontais e verticais dos pórticos  
329 dimensionado, deve-se respeitar os estados limites de serviço, utilizando assim a combinação 4:

- 330 • Combinação 4:  $G_k + \Psi_2 \cdot Q_k = 1,0 \cdot G_k + 0,4 \cdot Q_k$ .

331 Onde:  $F_n$  - Força Nocial aplicada horizontalmente no topo da coluna;

332  $G_k$  - Peso próprio;

333  $Q_k$  - Sobrecarga;

334  $W_{0^\circ}$  - Vento longitudinal;

335  $W_{90^\circ}$  - Vento transversal.

## 336 **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

337 As análises estruturais realizadas pelo programa SAP2000 são apresentadas a seguir, sendo  
338 que serão utilizados o pórticos AC-12 e BP-12, respectivamente, para exemplificação dos resultados  
339 obtidos. Os demais modelos de pórticos analisados tem os seus resultados apresentados no Apêndice  
340 A (ELU) e Apêndice B (ELS).

### 341 **4.1. Verificação do Estado Limite Último (ELU)**

342 Para esse tipo de estado, foram utilizados três combinações (1, 2 e 3) consideradas no projeto,  
343 onde a partir delas gerou-se os diagramas de esforços normais referentes a cada tipologia de pórtico,  
344 realizada pelo programa SAP2000. Na Figura 6 está representado a combinação 1, que abrange o  
345 peso próprio e a sobrecarga de cobertura, para o AC-12 e BP-12. Já na Figura 7 e 8, são apresentados  
346 os diagramas referentes às combinações 2 e 3, respectivamente, que envolvem o peso próprio e o  
347 vento a  $0^\circ$  e  $90^\circ$ .

348 O programa SAP2000 utiliza nos seus diagramas as cores em vermelho, para representar  
349 compressão, e em azul para representar tração.

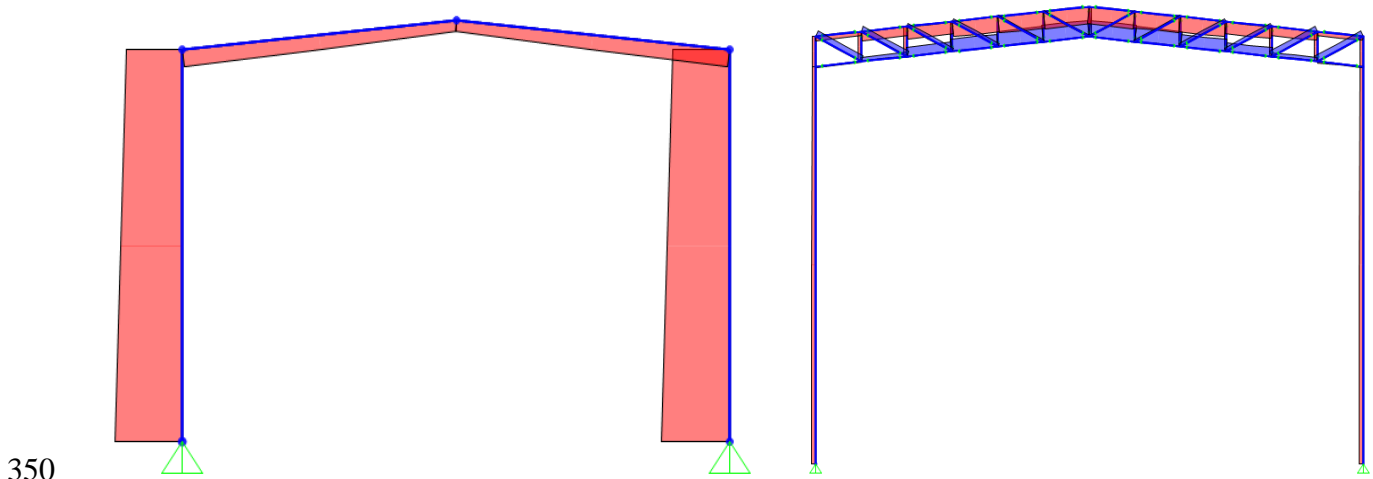


Figura 6. Diagrama de esforços normais devido à Combinação 1 ( $1,4G + 1,5Q + F_n$ ). Fonte: Elaborado pelo autor.

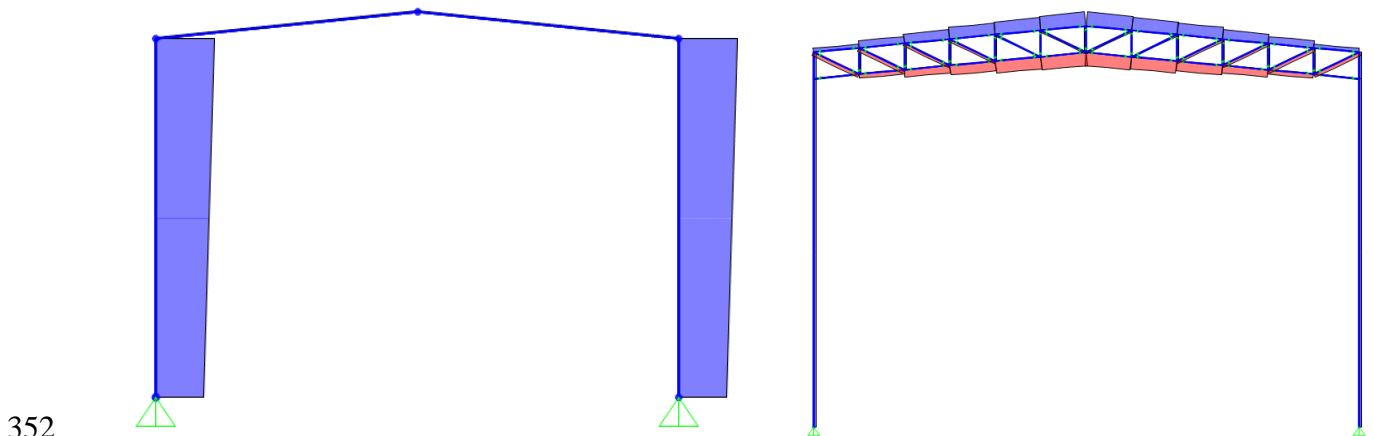


Figura 7. Diagrama de esforços normais devido à Combinação 2 ( $1,0G + 1,4W_0$ ). Fonte: Elaborado pelo autor.

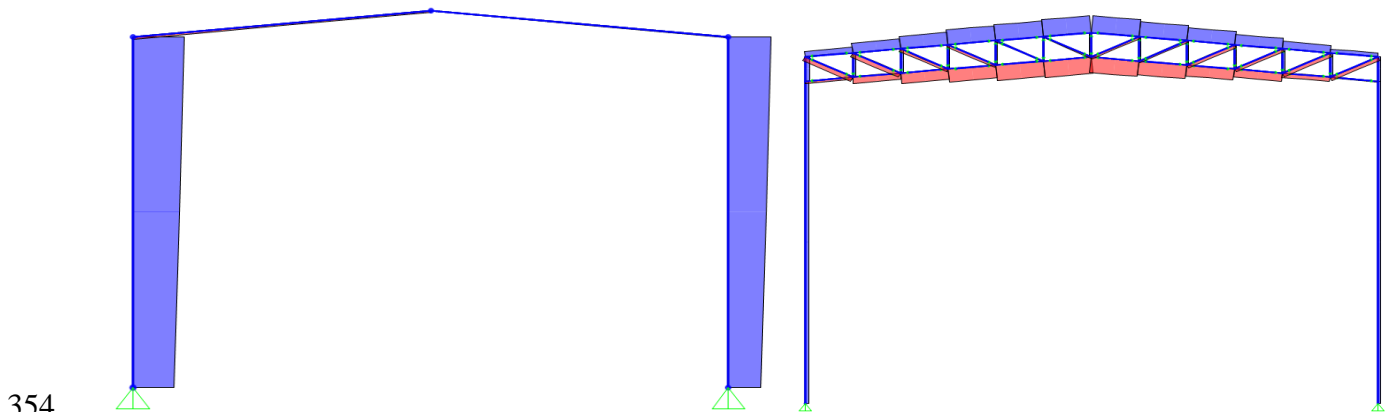


Figura 8. Diagrama de esforços normais devido à Combinação 3 ( $1,0G + 1,4W_{90}$ ). Fonte: Elaborado pelo autor.

356 Em seguida, utilizando o software Desmet, foram verificados os perfis mais leves que atendem  
357 as solicitações de esforços, modificando assim, se necessário, as seções transversais escolhidas no  
358 pré-dimensionamento. Para a escolha de tais perfis, foi utilizado o catálogo da GERDAU, e os  
359 resultados obtidos para todas as tipologias de ambos os pórticos e vãos, são apresentados na Tabela  
360 8 para os perfis de alma cheia e na Tabela 9 para os perfis de banzo paralelo.

361

Tabela 8. Resumo dos perfis mais leves necessários para AC.

	Viga	Coluna
AC-12	W 200x35,9 (H)	W 200x41,7 (H)
AC-16	W 200x59,0 (H)	HP 250x62,0 (H)
AC-20	W 360x91,0 (H)	W 250x89,0 (H)
AC-24	W 610x155,0	W 310x117,0 (H)
AC-28	VS 1000x161,0	W 610x155,0
AC-32	VS 1200x200	W 610x155,0

362

Tabela 9. Resumo dos perfis mais leves necessários para BP.

	Banzo Sup. e Inf.	Diagonal e Montante	Coluna
BP-12	2L 44,45x4,76	2L 32,1x3,17	W 150x29,8 (H)
BP-16	2L 44,45x6,35	2L 44,45x3,17	W 360x72,0
BP-20	2L 50,8x4,76	2L 44,45x3,17	W 200x71,0 (H)
BP-24	2L 63,5x4,76	2L 44,45x3,17	W 250x73,0 (H)
BP-28	2L 50,8x6,35	2L 50,8x3,17	W 250x73,0 (H)
BP-32	2L 50,8x7,94	2L 50,8x4,76	HP 310x79,0 (H)

363

364

365

366

367

368

369

370

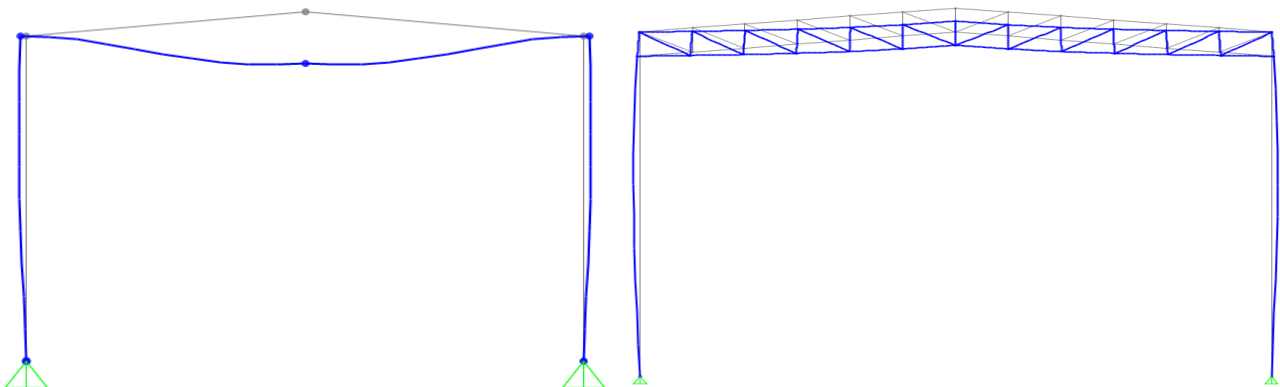
371

372

Analisando os resultados, percebe-se que para o modelo de alma cheia, com vãos de 28 e 32 metros, o perfil necessário para a viga de cobertura do pórtico não foi satisfeito para nenhum perfil do catálogo da GERDAU, sendo necessário utilizar uma viga soldada, cuja altura e peso linear são bem elevados, tornando essa tipologia inviável para esses vãos. Já para o modelo de banzo paralelo não foi necessário essa alteração para nenhum caso, em nenhum vão, o que já é um indício do seu melhor comportamento para vãos maiores.

#### 4.2 Verificação do Estado Limite de Serviço (ELS)

Sendo essa verificação realizada com a deformada horizontal e vertical da estrutura, devido à sua combinação (4), a Figura 9 apresenta os resultados para as tipologias analisadas.



373

Figura 9. Estado deformado dos pórticos AC-12 e BP-12 devido à Combinação 4 do ELS. Fonte: Elaborado pelo autor.

374

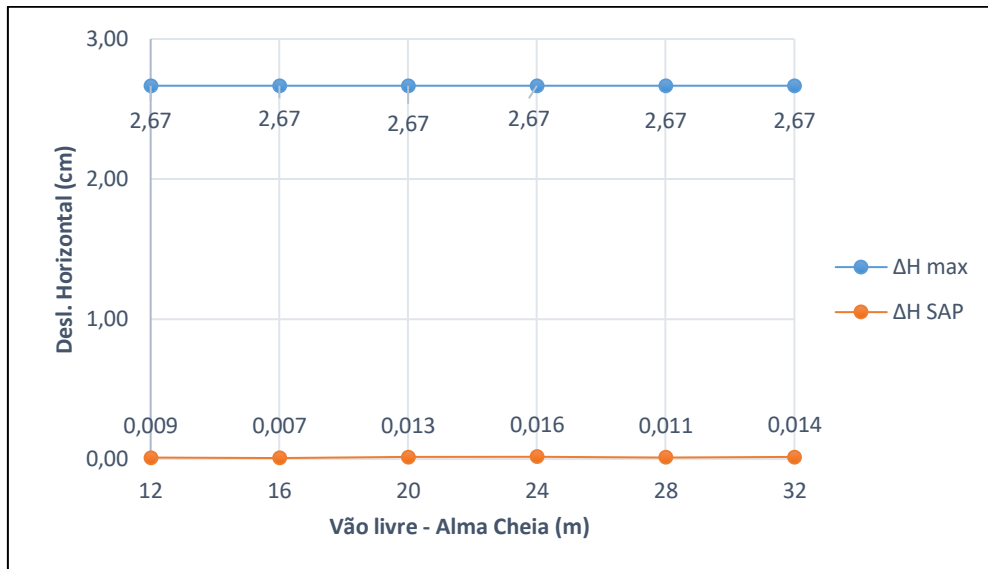
375

376

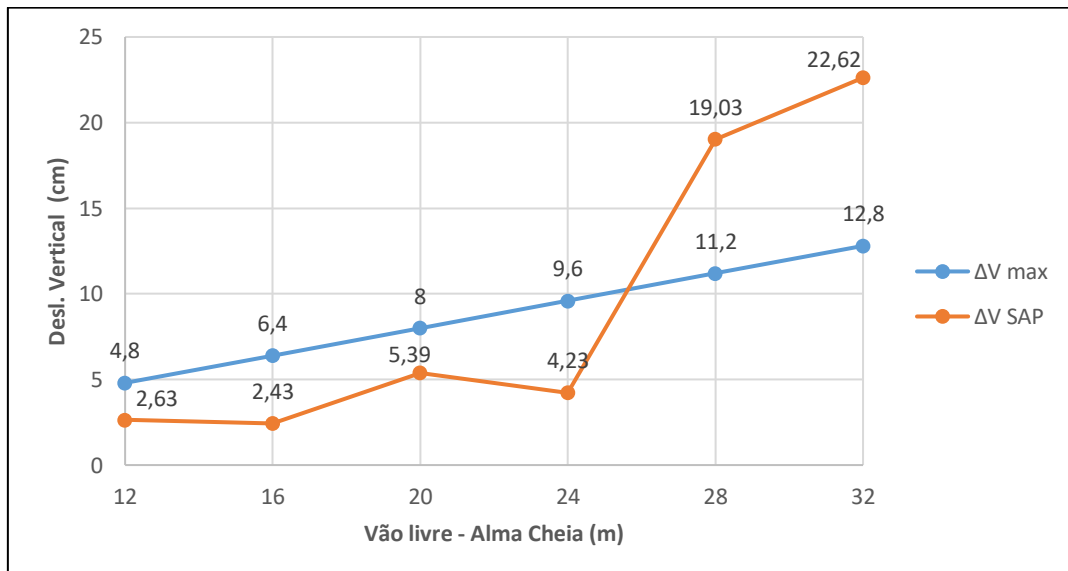
A NBR 8800:2008 estipula um critério para os deslocamentos horizontais máximos, onde esse valor é igual a  $H/300$ , sendo  $H$  a altura total da coluna. A norma também descreve o critério para os deslocamentos verticais máximos, valor que não pode ultrapassar  $L/250$ , onde  $L$  é o vão livre entre

377 os apoios. As Figuras 10 e 11 mostram, respectivamente, os gráficos referentes as verificações dos  
378 deslocamentos horizontais e verticais para a viga em alma cheia (AC), e as Figuras 12 e 13 para a viga  
379 em banzo paralelo.

380 Pode-se observar que se para as duas tipologias, os deslocamentos horizontais são satisfatórios  
381 para todos os vão analisados, já os deslocamentos verticais para a viga em alma cheia não é aceita  
382 para os maiores vãos, 28 e 32 metros, enquanto para a viga em banzo paralelo, os critérios da norma  
383 são satisfeitos.

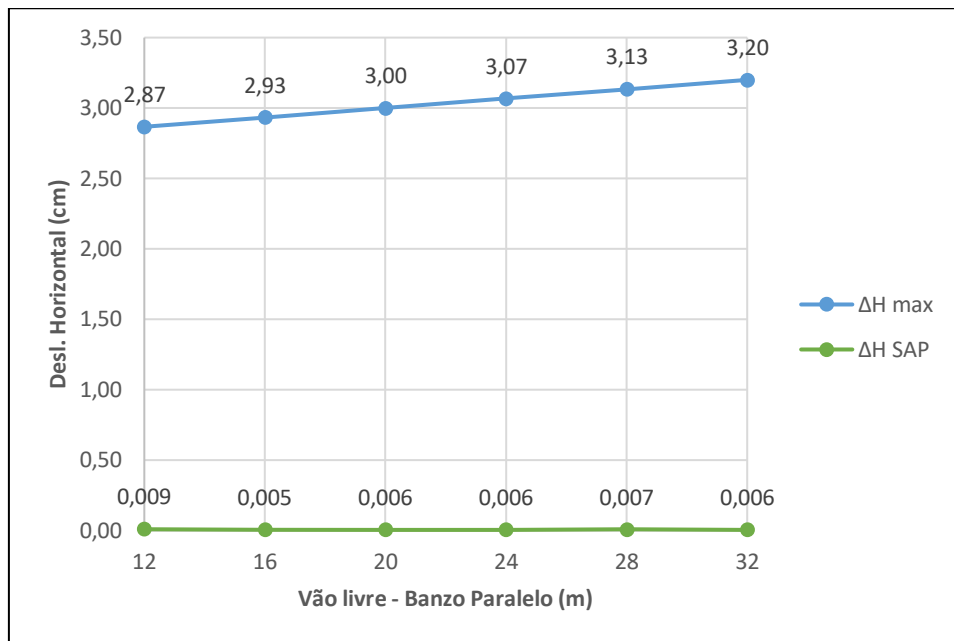


384  
385 Figura 10. Gráfico comparativo entre o deslocamento horizontal permitido por norma e o calculado (AC). Fonte:  
386 Elaborado pelo autor.



387  
388 Figura 11. Gráfico comparativo entre o deslocamento vertical permitido por norma e o calculado (AC). Fonte:  
389 Elaborado pelo autor.





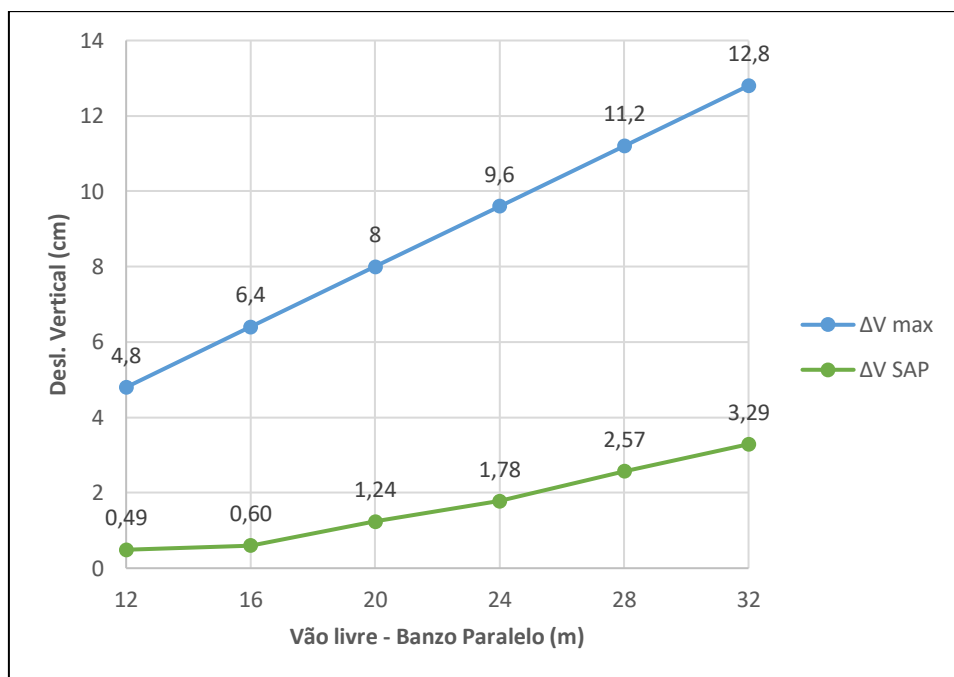
390

391

Figura 12. Gráfico comparativo entre o deslocamento horizontal permitido por norma e o calculado (BP). Fonte:

392

Elaborado pelo autor.



393

394

Figura 13. Gráfico comparativo entre o deslocamento vertical permitido por norma e o calculado (BP). Fonte:

395

Elaborado pelo autor.

396

### 4.3 Consumo de aço

397

398

399

400

Sendo a taxa de aço o parâmetro mais indicado e utilizado para analisar a performance econômica de um sistema estrutural, utilizou-se dos perfis mais leves dimensionados para tal avaliação. A Figura 14 mostra o comparativo entre os vãos analisados, de acordo com cada tipologia, relacionados com a sua taxa de aço por metro quadrado.

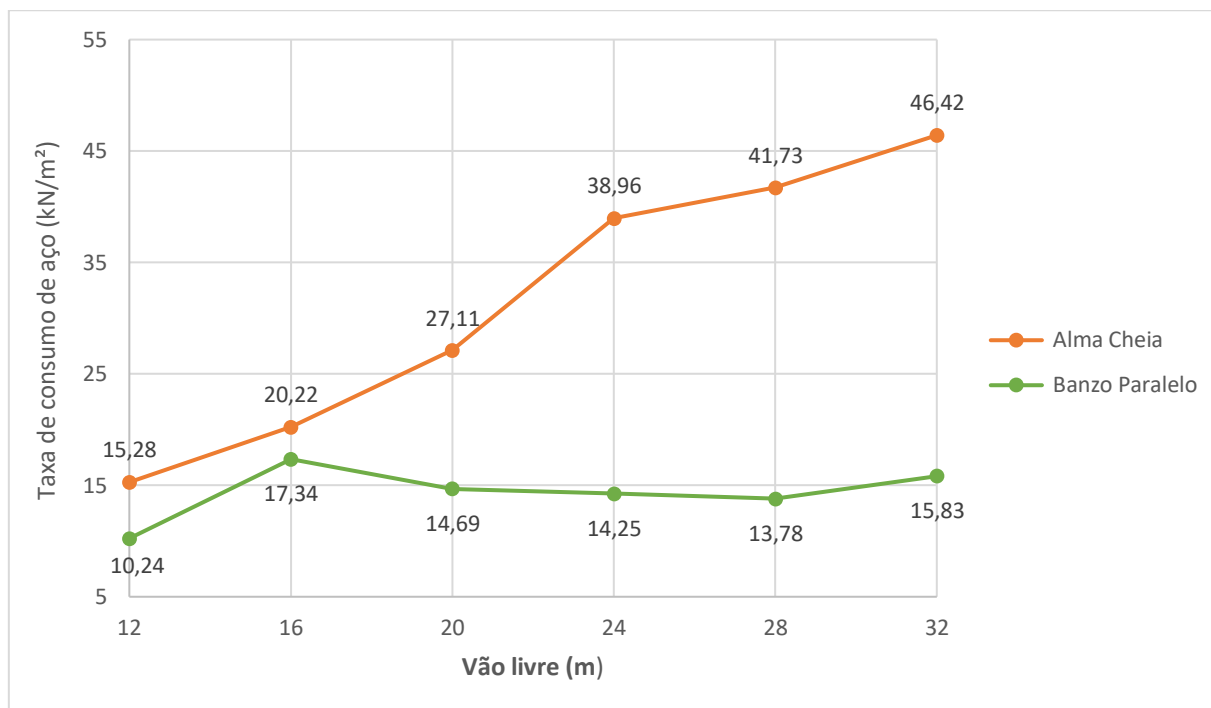


Figura 14. Taxa de consumo de aço em kg/m<sup>2</sup> para cada vão, em AC e BP. Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a figura acima, pode-se notar que a diferença da taxa de consumo de aço entre as vigas em alma cheia e banzo paralelo, para os vãos livres de 12 e 16 metros, são pequenas. Devido a essa curta variação, explica-se a recomendação da viga de cobertura em alma cheia para pequenos vãos, já que essa possui a vantagem de ter uma mão de obra mais simples, além de uma montagem mais rápida.

## 5. CONCLUSÃO

Conforme as verificações realizadas no estado limite último, foi possível concluir que os perfis adotados após as análises dos resultados, são mais leves do que os pré-dimensionados inicialmente para as colunas, banzos e montantes do pórtico em banzo paralelo. Já para o pórtico em alma cheia, nota-se que os perfis dimensionados são, em sua maioria, de grandes dimensões e elevado peso linear, assim, não sendo viável economicamente e estruturalmente para os vãos acima de 20 metros.

Na verificação do estado limite de serviço, onde utilizou-se a NBR 8800:2008 para as limitações, observou-se que os deslocamentos horizontais para ambas tipologias foram satisfeitas, porém, para os verticais, apenas o pórtico em banzo paralelo foi satisfatório para todos os vãos, enquanto o pórtico em alma cheia não passou nessa verificação dos vãos de 28 e 32 metros.

Enfim, utilizando o parâmetro de taxa de consumo de aço, conclui-se que o pórtico em alma cheia é recomendado apenas para vãos pequenos, nesse caso, até 16 metros, pois ele se equipara com o pórtico em banzo paralelo apenas até esse vão, acima de 16 metros, a diferença da taxa de consumo de aço cresce de maneira que inviabiliza o pórtico em AC.

## 422 6. AGRADECIMENTOS

423 Agradeço primeiramente a Deus, por tudo de maravilhoso que ele me proporciona.

424 À minha família que sempre me apoiou em todos os momentos, desde a minha decisão de ir  
425 morar tão longe para conquistar esse sonho que é a Engenharia Civil.

426 E um agradecimento especial ao meu professor e orientador Leonardo, pelos seus  
427 ensinamentos durante toda a graduação. Além da sua confiança e paciência no decorrer desse  
428 trabalho, se mostrando sempre disponível para ajudar e compartilhar os seus conhecimentos de forma  
429 tão simples.

## 430 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

431 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123:1988 - Forças**  
432 **Devidas ao Vento em Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

433 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de**  
434 **Estruturas de Aço e de Estrutura Mistas de Aço e Concreto de Edifícios -Procedimento**. Rio  
435 de Janeiro: ABNT, 2008.

436 BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço - Projeto e Cálculo**. 5.ed. São Paulo: PINI, 2006.

437 FAKURY, Ricardo Hallal. **Dimensionamento básico de elementos de estrutura de aço**. Versão  
438 3, Belo Horizonte: UFMG, 2009.

439 FISHER, J.M. **IndustrialBuildings, Roofs to Column Anchorage**. Steel Design Guide Series, 7.  
440 Chicago: AISC. 1993.

441 MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. SECRETARIA DE TECNOLOGIA  
442 INDUSTRIAL (MIC/STI). **Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas**. v.1.  
443 Brasília: MIC/STI, 1986.

444 NOGUEIRA, Gilcimar Saraiva (Dissertação). **Avaliação de soluções estruturais para galpões**  
445 **compostos por perfis de aço formados a frio**. UFOP. Ouro Preto, 2009. 179p.

446 PRÁVIA, Zacarias M. Chamberlain. **VisualVentos – Programa para cálculo de esforço devido**  
447 **ao vento de edificações com planta regular e telhado a duas águas**. FEAR – Universidade de  
448 Passo Fundo, 2008. (Software)

449 QUEIROZ, Gílson. **Elementos de Estruturas de Aço**. Belo Horizonte, 1986. 455p.

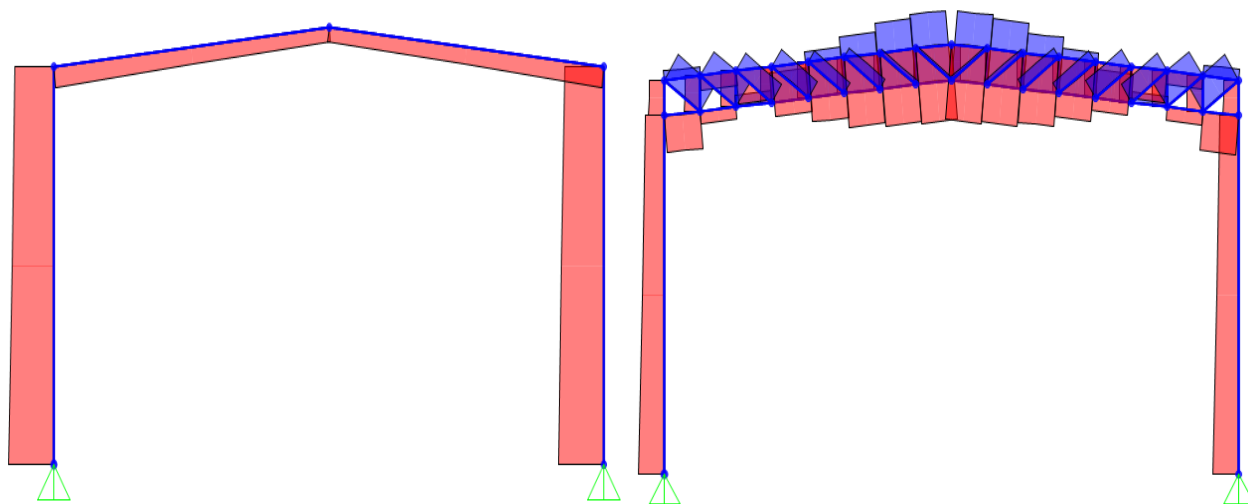
450 VERÍSSIMO, G. S.; PAES, J.L.R.; RIBEIRO, J.C.L. **DESMET Versão 2.08 - Dimensionamento**  
451 **de Elementos Estruturais Metálicos**. Viçosa: UFV, 1998. Versão 2.08.(Software)

452

## APÊNDICE A – Combinações 1, 2, 3 e suas deformações (ELU).

453

### 1. Alma Cheia e Banzo Paralelo

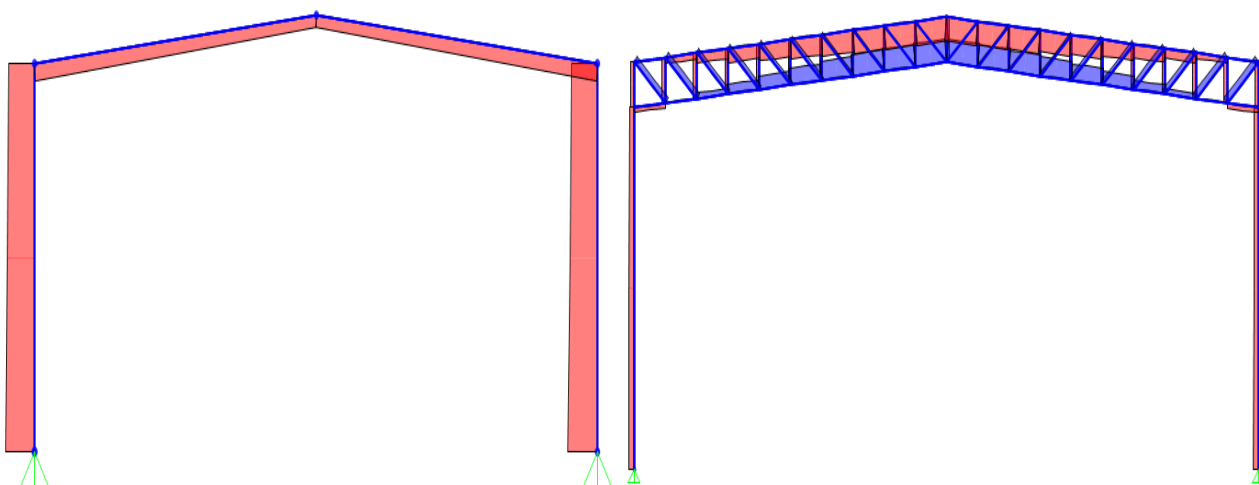


454

455

456

Figura 1. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 1:  $(1,4G + 1,5Q + F_n)$  – Vão 16 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

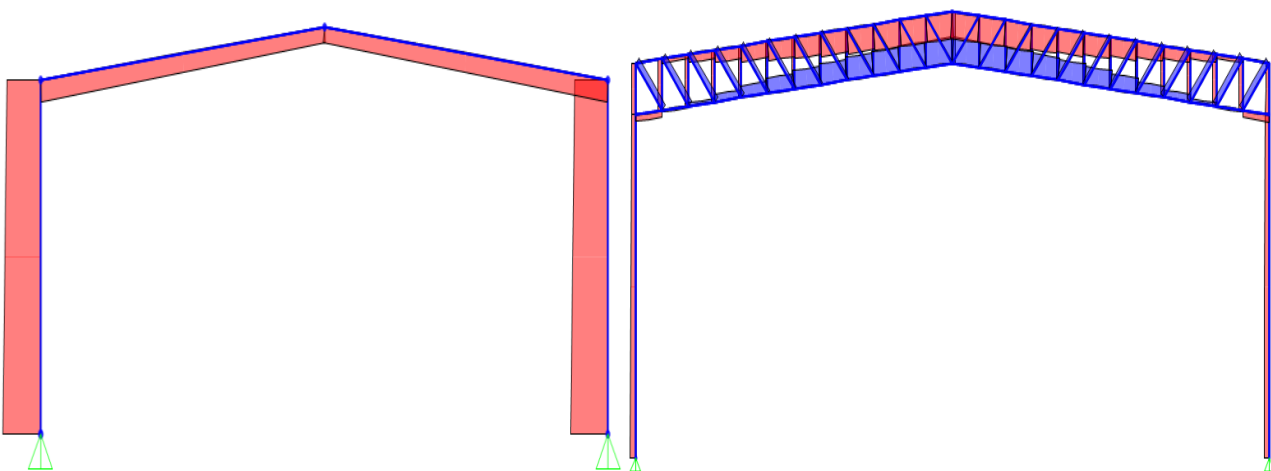


457

458

459

Figura 2. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 1:  $(1,4G + 1,5Q + F_n)$  – Vão 20 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

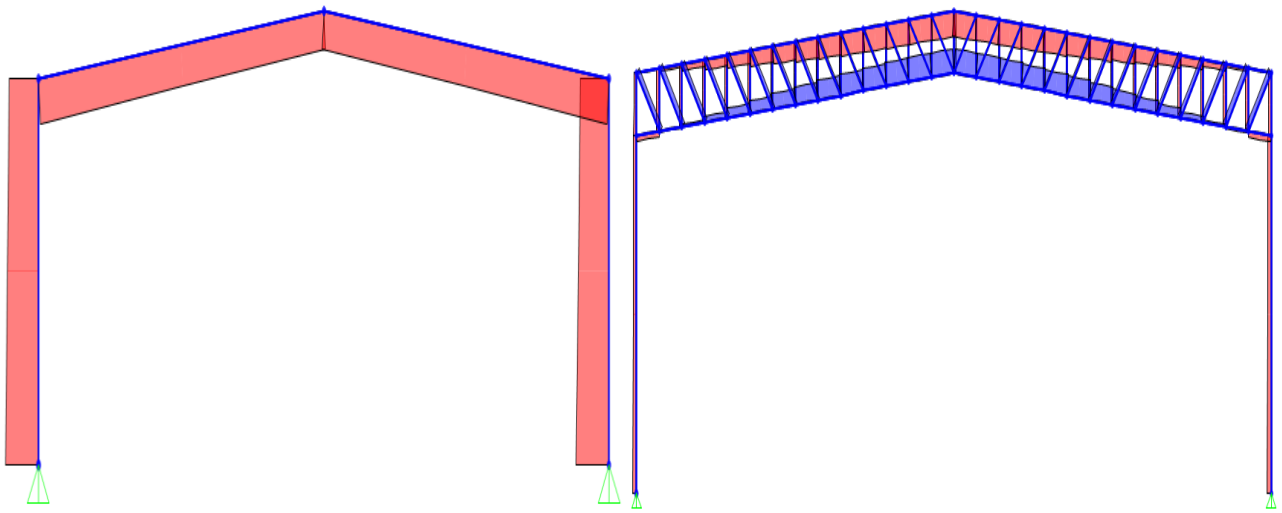


460

461

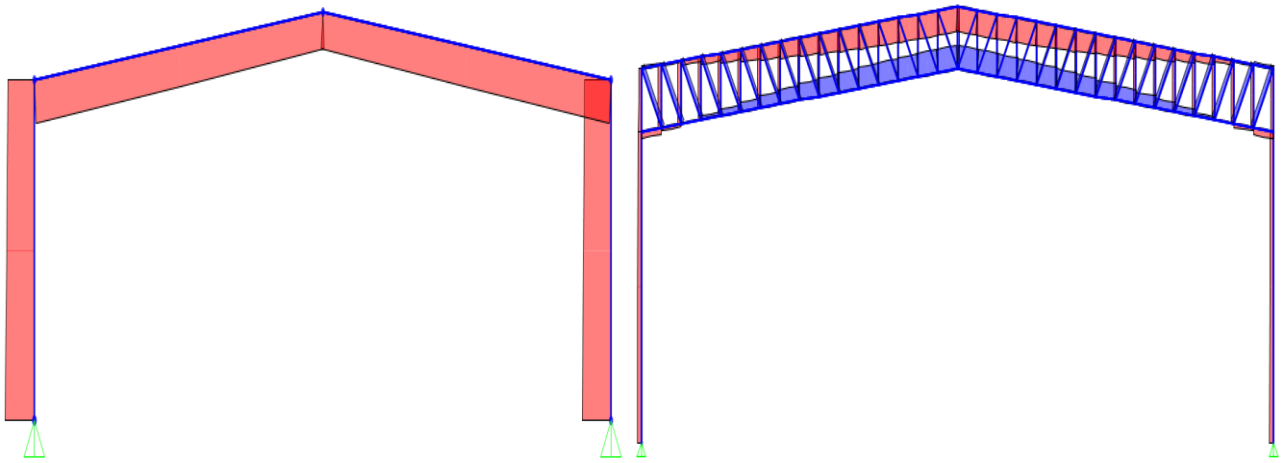
462

Figura 3. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 1:  $(1,4G + 1,5Q + F_n)$  – Vão 24 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.



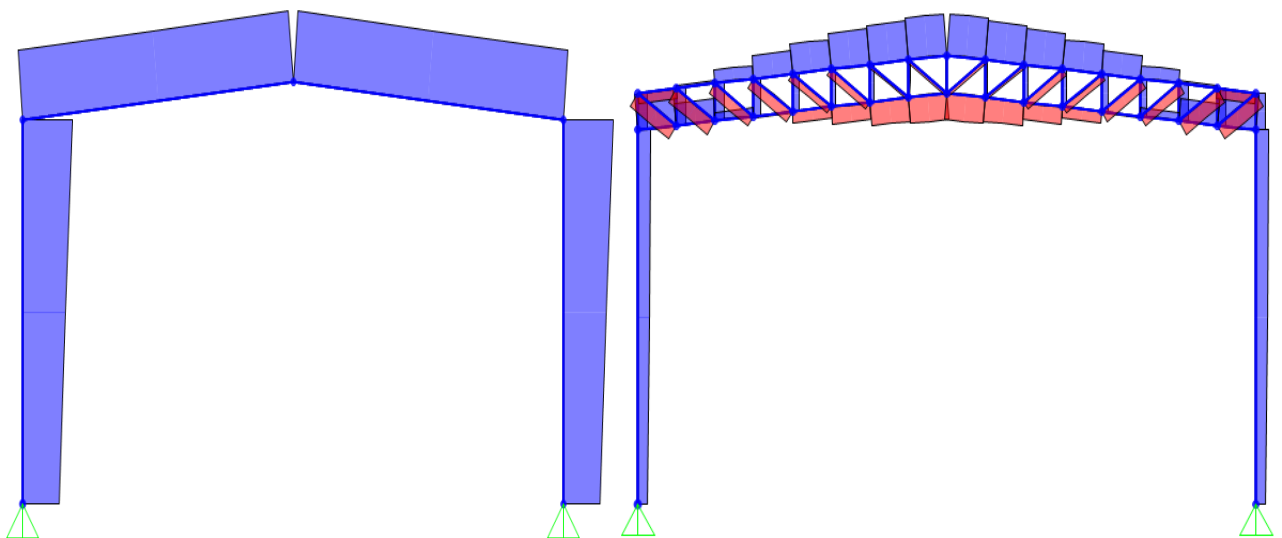
463

464 Figura 4. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 1:  $(1,4G + 1,5Q + F_n)$  – Vão 28 metros. Fonte: Elaborado pelo  
 465 autor.



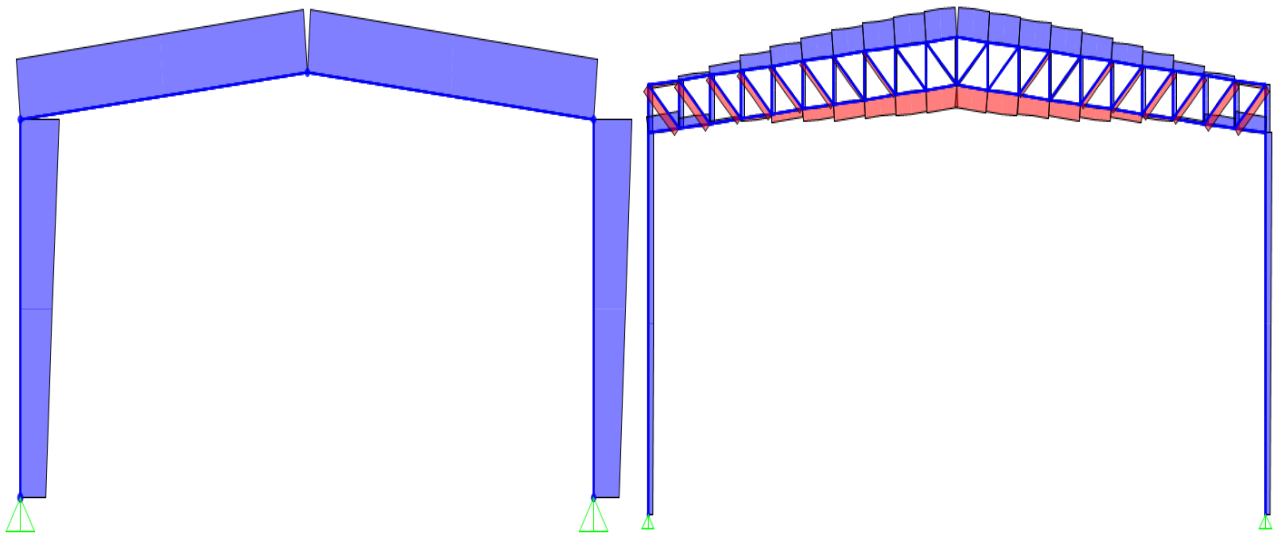
466

467 Figura 5. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 1:  $(1,4G + 1,5Q + F_n)$  – Vão 32 metros. Fonte: Elaborado pelo  
 468 autor.



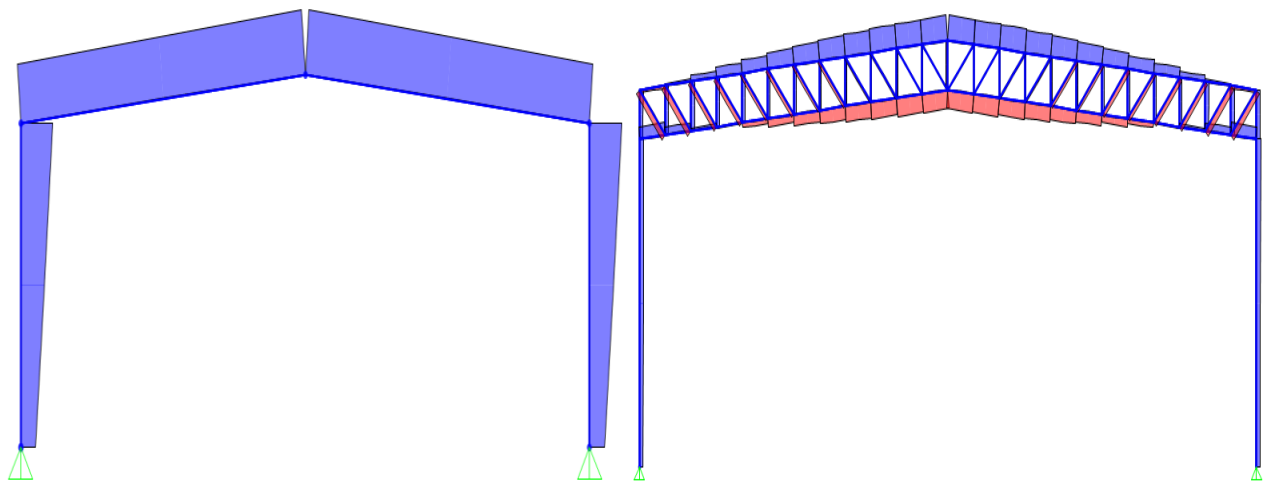
469

470 Figura 6. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 2:  $(1,0G + 1,4W_0)$  – Vão 16 metros. Fonte: Elaborado pelo  
 471 autor.



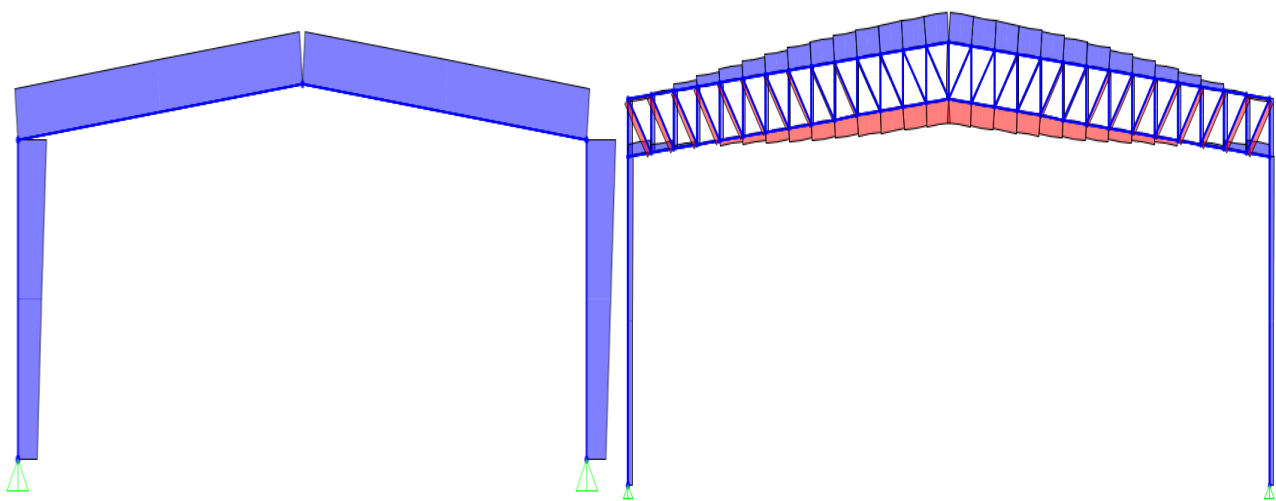
472  
473  
474

Figura 7. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 2:  $(1,0G + 1,4W_0)$  – Vão 20 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.



475  
476  
477

Figura 8. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 2:  $(1,0G + 1,4W_0)$  – Vão 24 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.



478  
479  
480

Figura 9. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 2:  $(1,0G + 1,4W_0)$  – Vão 28 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

481  
482  
483

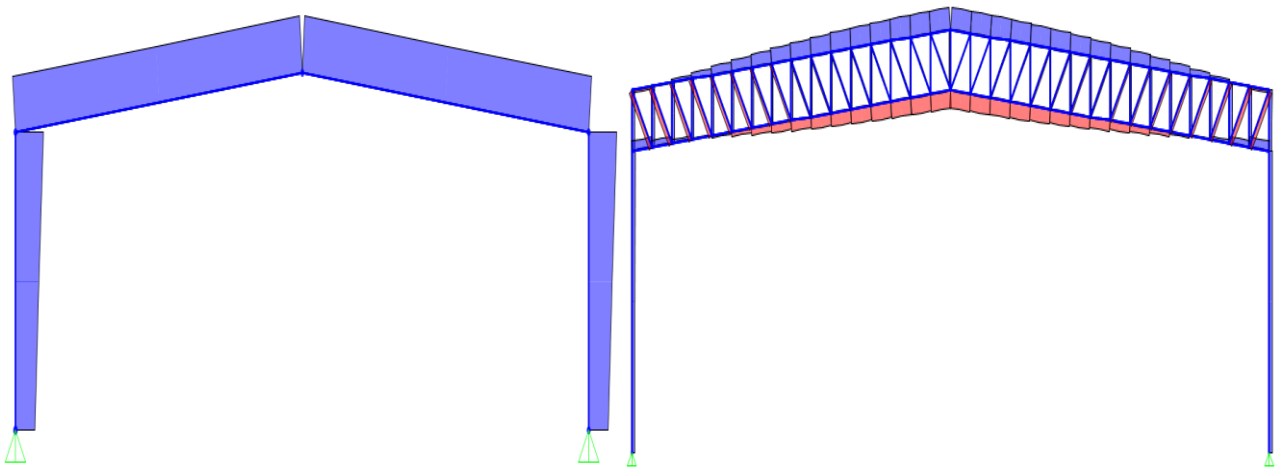


Figura 10. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 2:  $(1,0G + 1,4W_0)$  – Vão 32 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

484  
485  
486

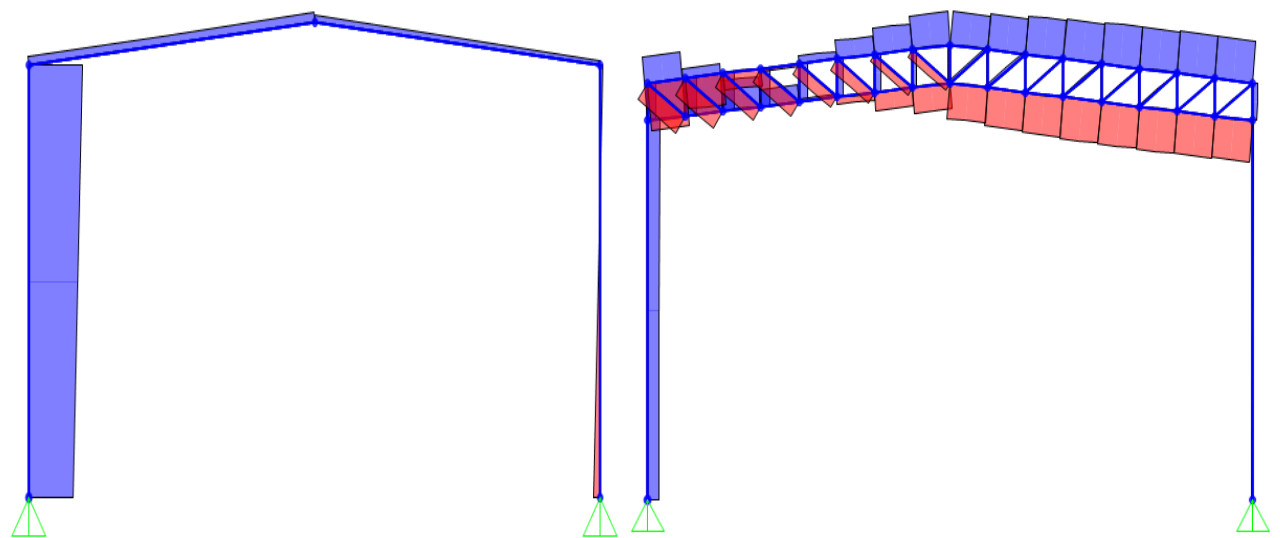


Figura 11. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 3:  $(1,0G + 1,4W_{90})$  – Vão 16 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

487  
488  
489

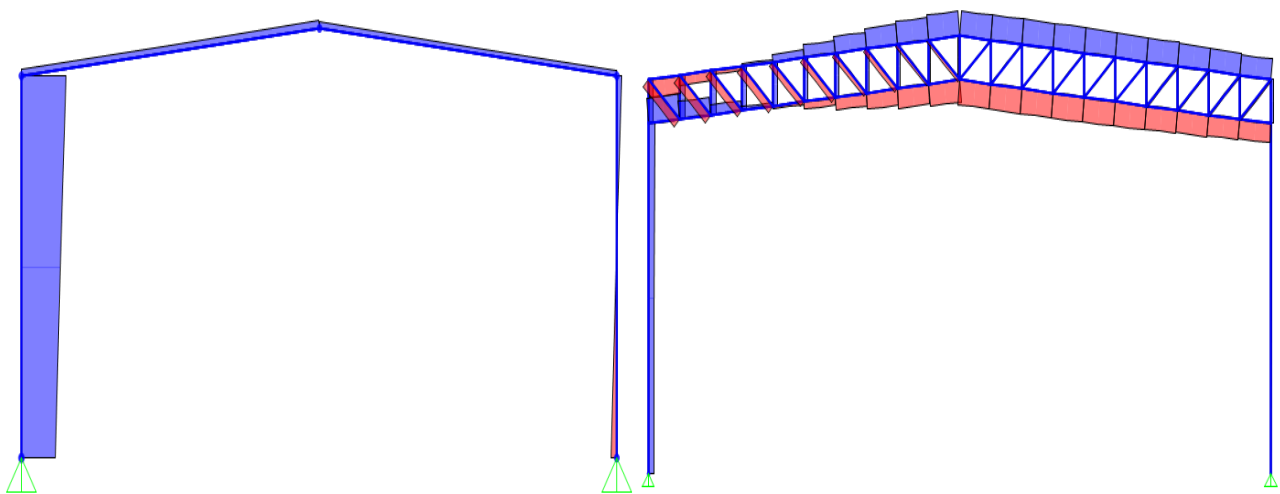


Figura 12. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 3:  $(1,0G + 1,4W_{90})$  – Vão 20 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

490  
491  
492

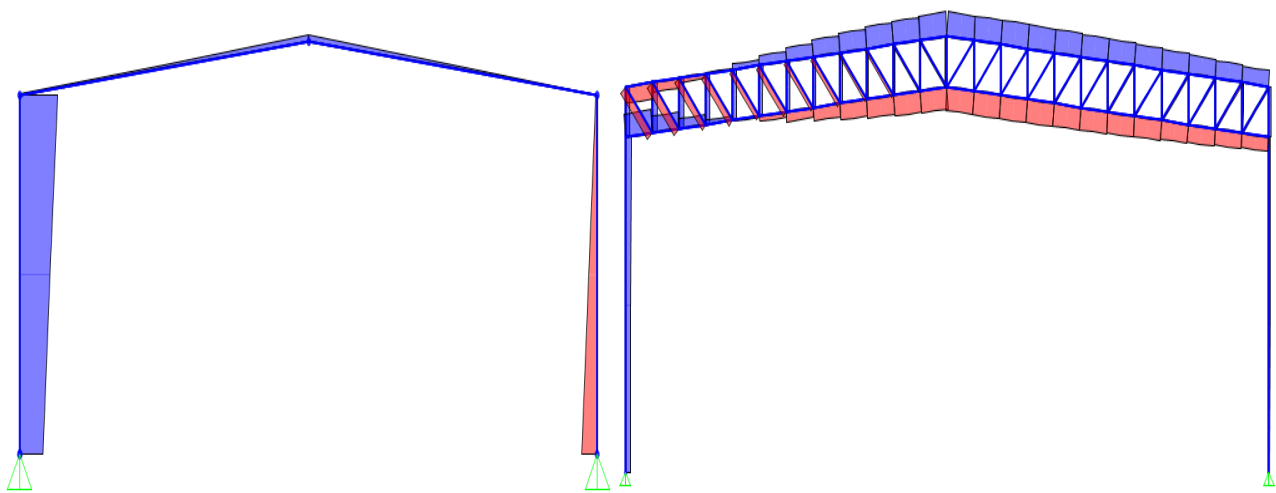


Figura 13. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 3:  $(1,0G + 1,4W_{90})$  – Vão 24 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

493  
494  
495

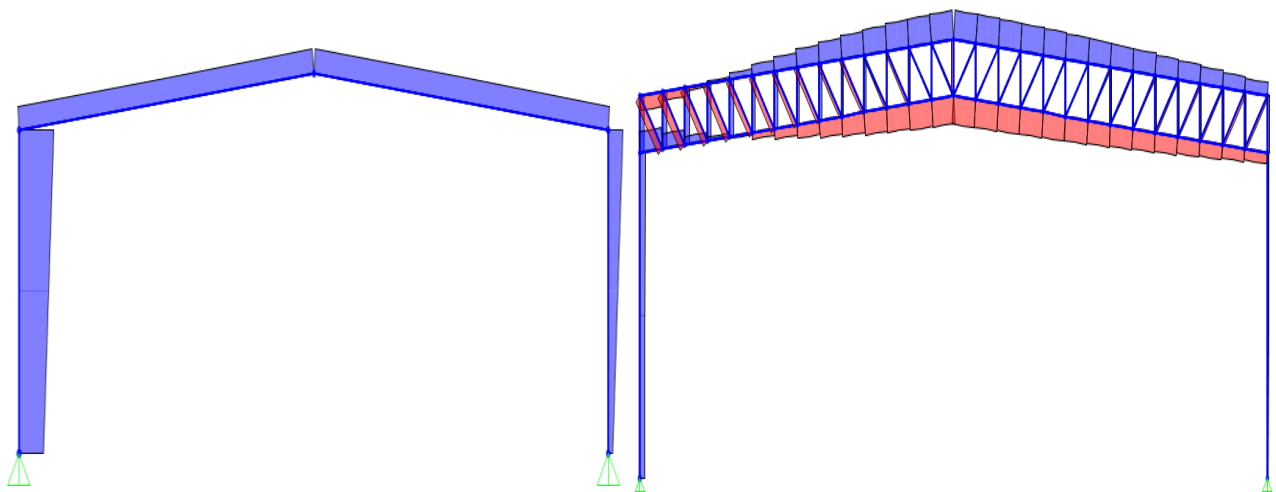


Figura 14. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 3:  $(1,0G + 1,4W_{90})$  – Vão 28 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

496  
497  
498

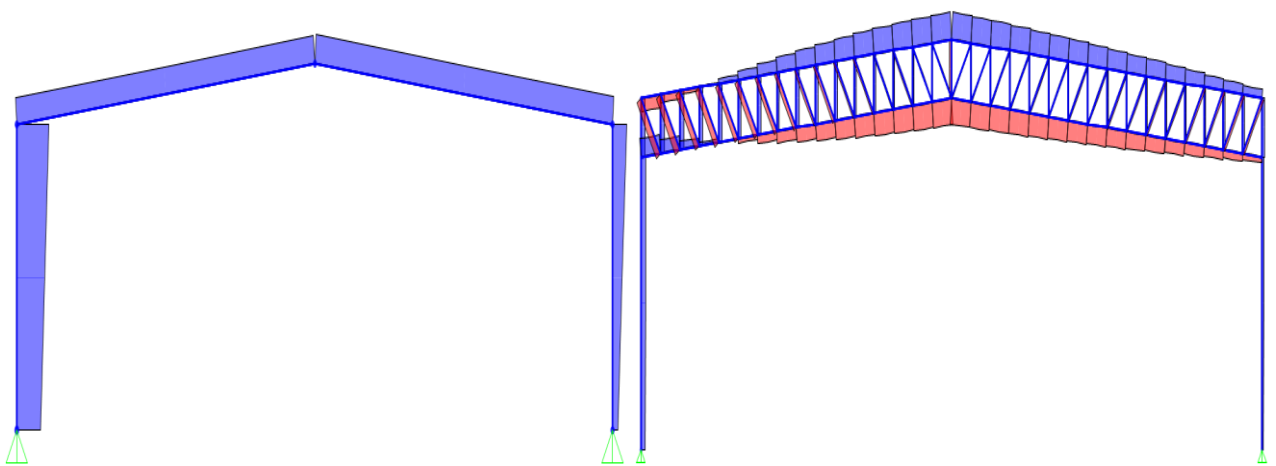


Figura 15. Diagrama de esforços normais devido à Comb. 3:  $(1,0G + 1,4W_{90})$  – Vão 32 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.



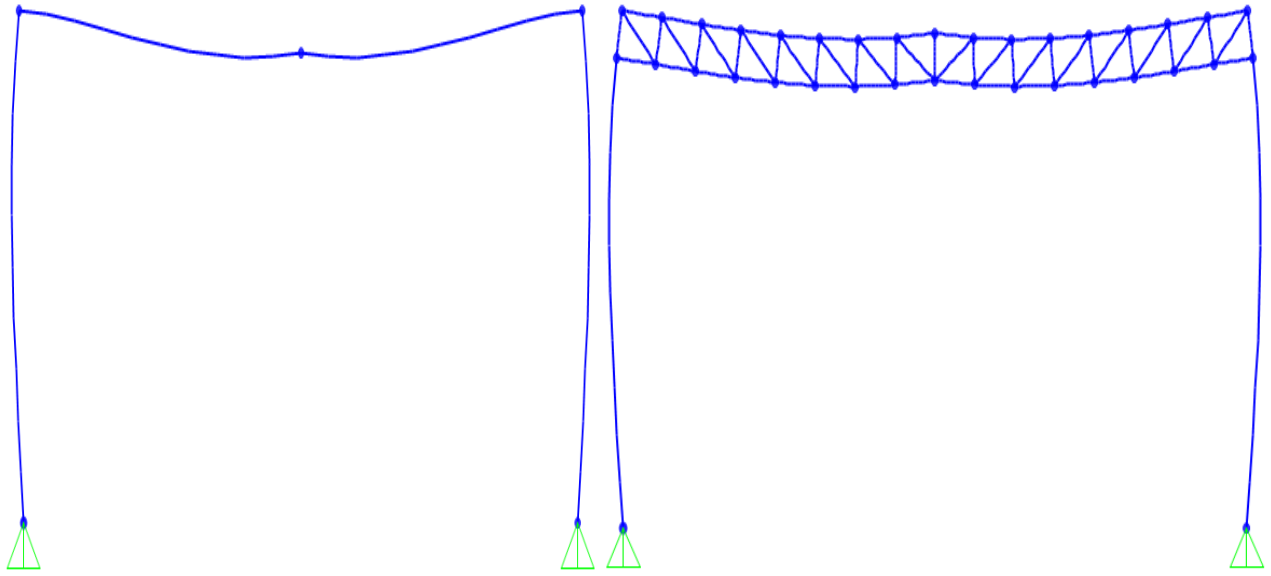
499

## APÊNDICE B – Verificação do estado limite de serviço (ELS).

500

### 1. Alma Cheia e Banzo Paralelo

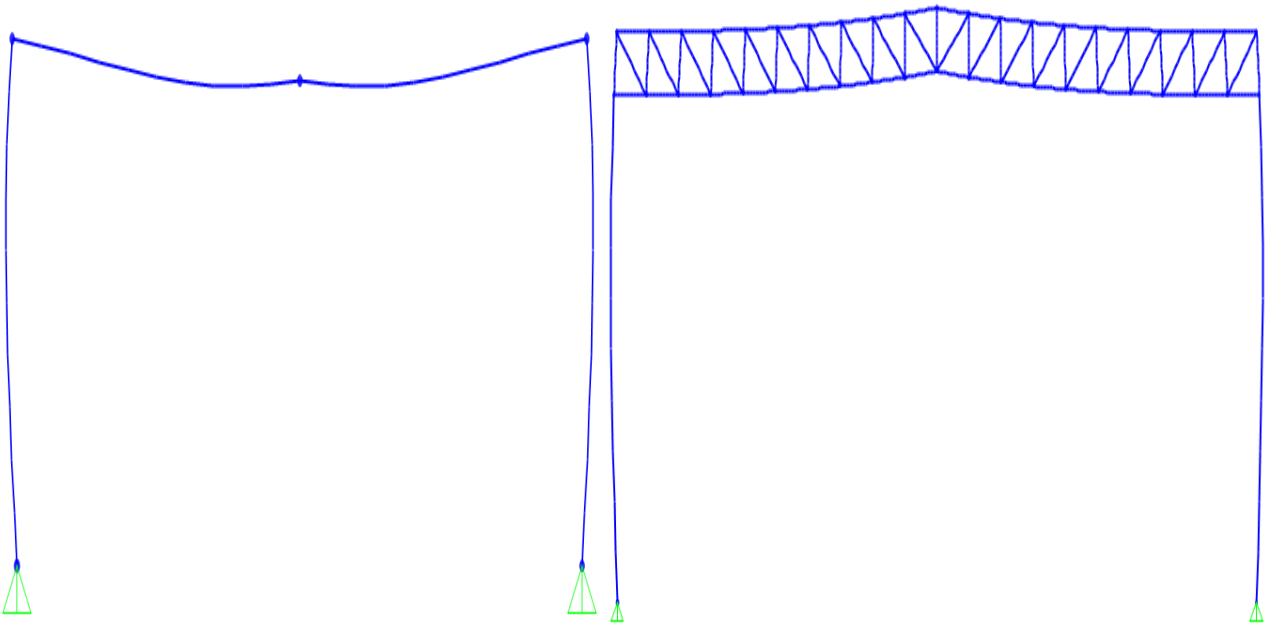
501



502

Figura 1. Estado deformado do pórtico devido à Comb. 4:  $(1,0G + 0,4Q)$  – Vão 16 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

503



504

Figura 2. Estado deformado do pórtico devido à Comb. 4:  $(1,0G + 0,4Q)$  – Vão 20 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

505  
506

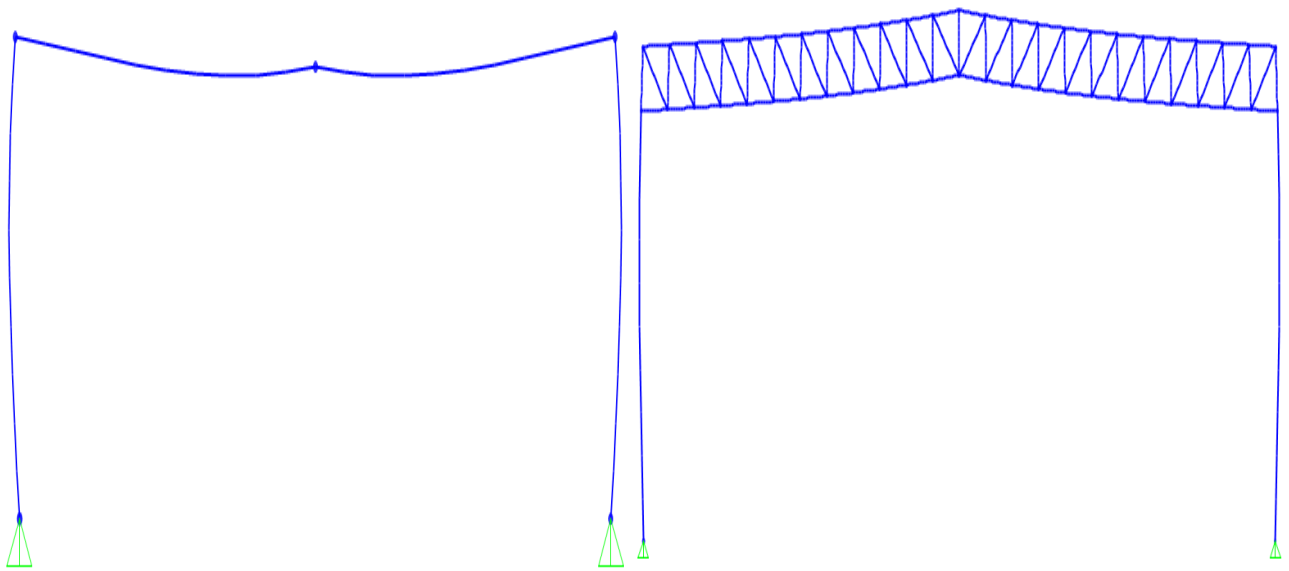


Figura 3. Estado deformado do pórtico devido à Comb. 4:  $(1,0G + 0,4Q)$  – Vão 24 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

507  
508

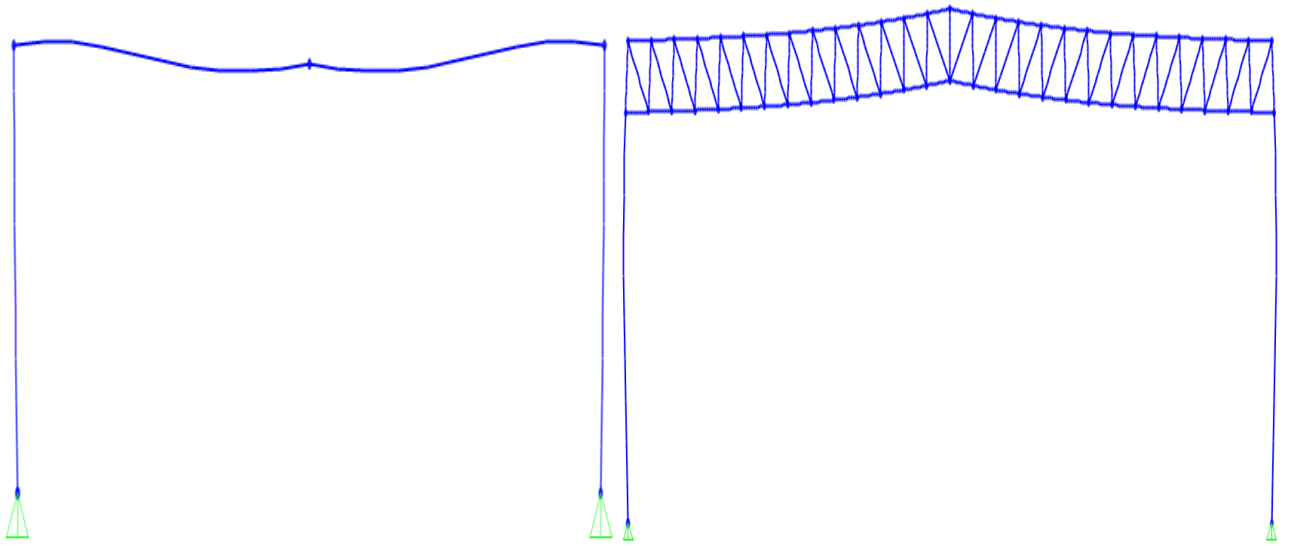


Figura 4. Estado deformado do pórtico devido à Comb. 4:  $(1,0G + 0,4Q)$  – Vão 28 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.

509  
510

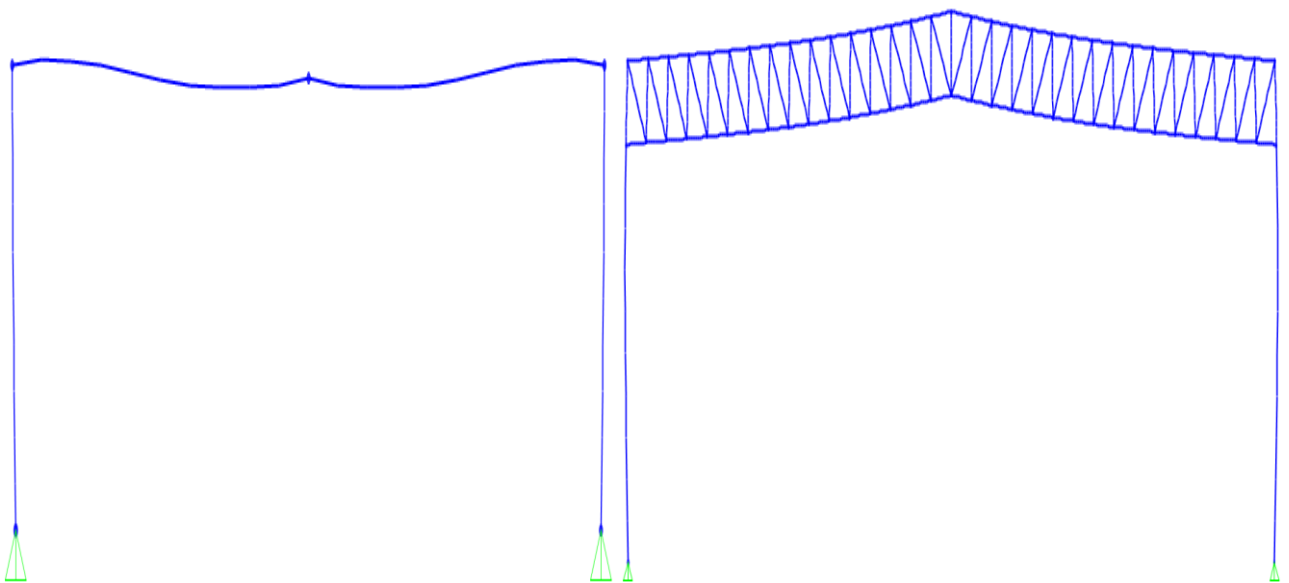


Figura 5. Estado deformado do pórtico devido à Comb. 4:  $(1,0G + 0,4Q)$  – Vão 32 metros. Fonte: Elaborado pelo autor.