

N. CLASS. M 620.1  
CUTTER L732e  
ANO/EDIÇÃO 2015

**CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS UNIS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CRISTIAN SARTO LIMA**

**ESTRUTURAS METÁLICAS: Estudo de viabilidade comparando um galpão em treliça  
com galpão em alma cheia.**

**Varginha**  
**2015**

**Grupo Educacional UNIS**

**CRISTIAN SARTO LIMA**

**ESTRUTURAS METALICAS: Estudo de viabilidade comparando um galpão em treliça  
com galpão em alma cheia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro  
Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica  
sob a orientação do Prof. Me. Erik Vitor da Silva.

**Varginha**

**2015**

**CRISTIAN SARTO LIMA**

**ESTRUTURAS METALICAS: Estudo de viabilidade comparando um galpão em treliça  
com galpão em alma cheia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro  
Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica  
sob a avaliação da banca:

Aprovado em    /    /

---

Prof. Me.

---

Prof. Me.

---

Prof. Me.

**Obs.:**

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a comparação dos custos de um galpão com pórtico em treliça a um galpão com pórtico em vigas de alma cheia, ambos os com perfis laminados e dobrados. Após a primeira análise conclui-se que um galpão em treliça tem o custo menor devido ao peso do material utilizado, ao fazer a análise da mão de obra para execução do projeto foi constatado que o custo do galpão em alma cheia é menor que o do galpão em treliça, devido ao tempo de fabricação e a complexidade do galpão, mostrando que é mais viável a utilização do galpão com pórtico em alma cheia.

Palavra-chave: Estrutura metálica. Galpão Alma cheia. Viabilidade

## **ABSTRAC**

*This study aims to compare the costs of a shed with porch trellis to a shed with porch in solid-section beams, both with rolled and folded profiles. After the first analysis concludes that a shed lattice has the lowest cost due to the weight of the material used in making the analysis of manpower for project execution was found that the cost of the shed full and less soul than the shed lattice due to manufacturing time and complexity of shed, showing that it is more feasible to use the shed with porch full soul.*

*Keyword: Metal structure. Alma shed full. Viability*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Ponte sobre o rio Serven.....	09
Figura 02: Perfis Dobrados.....	13
Figura 03: Perfis laminados.....	13
Figura 04: Perfis Compostos.....	14
Figura 05: Pórtico simples em Alma Cheia.....	18
Figura 06: Pórtico em Treliça.....	19
Figura 07: Cobertura em Arco.....	20
Figura 08: Galpão com Tirante.....	20
Figura 09: Galpão duas águas Treliça.....	21
Figura 10: Galpão duas águas em Viga L.....	21
Figura 11: Galpão tipo Sheed.....	22
Figura 12: Layout Cype Metálicas 3D.....	23
Figura 13: Gráfico Isopletas Brasil.....	26
Figura 14: Coeficientes fator topográfico.....	27
Figura 15: Tabela 1 da norma ABNT 6123 (parâmetros meteorológicos) .....	29
Figura 16: Tabela 2 da norma ABNT 6123 (Fator de rugosidade) .....	30
Figura 17: Tabela 3 da norma ABNT 6123 (valores mínimos do fator estatístico) .....	31
Figura 18: Esboço tesoura em treliça.....	32
Figura 19: Estrutura em treliça com os perfis determinados.....	32
Figura 20: Flecha galpão em treliça.....	33
Figura 21: Diagrama esforço norma Galpão em Treliça.....	33
Figura 22: Esboço galpão em alma cheia.....	37
Figura 23: Estrutura do galpão em alma cheia.....	38
Figura 24: Flecha do galpão em alma cheia.....	39
Figura 25: Diagrama de esforço normal galpão em alma cheia.....	39



## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Aços estruturais ABNT.....	11
Tabela 02: Aço estrutural ABNT.....	12
Tabela 03: Características mecânicas dos aços utilizados.....	34
Tabela 04: Características Mecânicas do dos perfis galpão em treliça.....	35
Tabela 05: Resumo da quantidade em kg de perfis necessários para o galpão em treliça..	35
Tabela 06: Quantidade de superfícies a pintar.....	36
Tabela 07: Características mecânicas dos perfis utilizados.....	40
Tabela 08: Resumo do peso de material utilizado galpão alma cheia.....	41
Figura 09: Quantidade de material a pintar galpão em alma cheia.....	41
Tabela 10: Valores dos perfis para o galpão em treliça.....	42
Tabela 11: Valores dos perfis para o galpão em alma cheia.....	42
Tabela 12: Custos de mão de obra para os galpões em treliça e alma cheia.....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>08</b>
<b>2 AÇO.....</b>	<b>09</b>
<b>2.1 O Aço no Brasil.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Aço Estrutural.....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Perfis mais utilizados nas construções em aço.....	12
<b>3 CAMPOS DE APLICAÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Vantagens de sua utilização.....</b>	<b>14</b>
<b>4 CONSTRUÇÕES EM AÇO.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Principais fases da construção.....</b>	<b>15</b>
4.1.1 Arquitetura.....	15
4.1.2 Projeto estrutural.....	16
4.1.3 Detalhamento.....	16
4.1.4 Fornecimento e fabricação.....	16
4.1.5 Limpeza e proteção.....	16
4.1.6 Transporte.....	16
4.1.7 Montagem.....	16
4.1.8 Proteção contra o Fogo.....	17
<b>5 FATORES QUE INFLUENCIAM OS CUSTOS.....</b>	<b>17</b>
<b>6 TIPOS DE PORTICOS.....</b>	<b>18</b>
<b>6.1 Pórtico simples em alma cheia.....</b>	<b>18</b>
<b>6.2 Pórticos em treliça.....</b>	<b>19</b>
<b>6.3 Tipos de Galpões.....</b>	<b>19</b>
6.3.1 Galpão com cobertura em arco .....	19
6.3.2 Galpão com tirantes.....	20
6.3.3 Galpão duas águas em treliça.....	20
6.3.4 Galpões duas águas em viga I.....	21
6.3.5 Galpão tipo Sheed.....	21



<b>7 METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
<b>7.1 Projeto Estrutural.....</b>	<b>22</b>
<b>7.2 Normas ABNT consideradas nesse projeto.....</b>	<b>23</b>
7.2.1 ABNT NBR 6123 Forças devido ao vento em edificações.....	23
7.2.2 ABNT NBR 14762: 2010.....	24
7.2.3 ABNT NBR 8800: 2008.....	24
<b>8 COMPARAÇÃO DOS PROJETOS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>24</b>
<b>8.1 Etapa inicial de projeto.....</b>	<b>25</b>
8.1.1 Velocidade básica do vento.....	25
8.1.2 Fator topográfico S1.....	26
8.1.3 Fator de rugosidade do terreno S2.....	27
8.1.4 Fator estatístico S3.....	30
8.1.5 Edição das cintas na cobertura.....	31
<b>8.2 Projeto galpão em treliça.....</b>	<b>31</b>
8.2.1 Perfis utilizados galpão em treliça.....	34
<b>8.3 Projeto galpão alma cheia.....</b>	<b>36</b>
8.3.1 Perfis Utilizados galpão em alma cheia.....	39
<b>9 CUSTOS DE PERFIL E MÃO DE OBRA.....</b>	<b>41</b>
9.1 Custos dos perfis.....	42
9.2 Custos de mão de Obra.....	42
9.3 Comparação dos custos .....	43
<b>10 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>11 REFERENCIAS.....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a globalização, a busca por métodos mais eficientes vem sendo constante, procurar por maneiras de se ter determinado produto e/ou serviço com boa qualidade e custo mais baixo vem se tornando essencial para o desenvolvimento, por conta disso a competitividade de mercado também está crescendo, três aspectos influenciam na eficiência de mercadorias e projetos e são cruciais para competitividade que são: a segurança, economia e durabilidade. Galpões em estrutura de aço vem ganhando mercado em vários setores como ginásios poliesportivos, indústrias, postos de gasolina, armazéns, etc. se destaca por ser uma construção mais leve, execução mais rápida, suportar largas escalas de construção e ter um menor custo.

É muito importante trabalhar dentro das especificações das normas da ABNT relacionadas a esse tipo de construção e obter bons resultados afim de garantir eficiência e segurança e ser competitivo. Será apresentado alguns tipos de galpões, dentre os galpões apresentados será analisado dois através de um Software de análise e dimensionamento estrutural afim de apresentar qual tem o menor custo atendendo os requisitos da norma e especificação do cliente.

O tema aborda um estudo de caso em que é apresentado um galpão em treliça, que é comparado com um galpão em alma cheia de mesmas dimensões, trabalhando cada etapa, chegando no melhor resultado através dos custos finais dos projetos.



## 2 AÇO

Segundo Callister (2002), os aços são ligas de ferro-carbono com consideráveis concentrações de outros elementos, e suas propriedades mecânicas são ligadas ao teor de carbono. Normalmente esse teor de carbono fica entre 0,008 a 2,14% e são classificados de acordo com sua concentração de carbono em baixo teor de carbono, médio teor de carbono e elevado teor de carbono. Temos também o ferro fundido que consiste em ferro-carbono basicamente, com teores a partir de 2,14% até 6,67%, e necessita de outras ligas para que suas propriedades sejam melhoradas.

E evidenciado que a primeira obtenção do ferro se deu por volta de 6 mil anos a.C. em algumas civilizações como Babilônia, Egito e Índia, considerados material nobre pois era raro e utilizado somente como adorno nas construções e fins militares (BELLEI, 2004).

De acordo com Bellei (2004), a primeira obra construída em ferro de grande importância foi a Ponte sobre o Rio Serven em Coalbrookdale na Inglaterra, em 1779, e iniciou-se a era das grandes construções metálicas em 1851 com o palácio de Cristal em Londres.

Figura 01: Ponte sobre o rio Serven



Fonte: coisasdaarquitectura.wordpress.com/tag/rio-severn/

## 2.1 O Aço no Brasil

Também segundo Bellei (2004), o início da indústria siderúrgica no Brasil foi na década de 20 com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, com a criação dessa companhia a produção de gusa alcançava cerca de 35 mil toneladas de aço, considerando a produção de outras fundições de pequeno porte. No final da década de 20 já se alcançava 96 mil toneladas.

Na década de 40 foi criada a comissão executiva do plano siderúrgico nacional e fundada a Companhia Siderúrgica Nacional e mais adiante na década de 60 entraram em operação a Usiminas e Cosipa e mais recentemente a Gerdau Açominas, que estão em atividade até hoje. Na década de 70 o Brasil passou a exportar aço devido ao baixo consumo interno e hoje já produz mais de 30 milhões de toneladas de aço.

## 2.2 Aço Estrutural

Segundo Bellei (1998), os tipos de aço mais comuns para construção em estruturas metálicas são os aços-carbono com teor máximo de 45%, que garante uma boa soldabilidade, dos aços-carbono mais utilizados em estruturas posso citar: ASTM A36 e A570, e os ABNT NBR 7007, 6648, 6649, 6650 e DIN St37.

Os aços baixa liga tem sua resistência aumentada devido ao acréscimo em pequena quantidade de elementos de liga, mantendo seu teor de carbono de até 0,20%, garantindo ainda, uma boa soldabilidade. (BELLEI, 1998).

Também segundo Bellei (1998), os aços mais comuns utilizados no Brasil são os da série ABNT e ASTM.



Tabela 01: Aços estruturais ABNT

Tabela 2.1 - Aços estruturais ABNT (perfis, chapas e tubos)

$$1 \text{ tf/cm}^2 = 10 \text{ KN/cm}^2 = 100 \text{ MPa}$$

NBR 6648		
Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural		
Classe/ grau	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
CG-24	2,35	3,80
CG-26	2,55	4,10

NBR 6649		
Chapas finas a frio para uso estrutural		
Classe/grau	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
CF-24	2,35	3,80
CF-26	2,55	4,10

NBR 6650		
Chapas finas a quente para uso estrutural		
Classe/ grau	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
CF-24	2,35	3,80
CF-26	2,55	4,10
CF-28	2,80	4,40
CF-30	3,00	4,90

NBR 7007		
Aços para perfis laminados para uso estrutural		
Classe/ grau	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
MR-250	2,50	4,00
AR-290	2,90	4,15
AR-345	3,45	4,50
AR-COR		
345-A ou B	3,45	4,85

NBR 5920/NBR 5921		
Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais (a frio/a quente)		
Classe/grau	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
Laminadas a frio/bobinas a quente	3,10	4,50
laminadas a quente (não fornecidas em bobinas)	3,40	4,80

NBR 5000		
Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica		
Classe/ grau	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
G-30	3,00	4,15
G-35	3,45	4,50

NBR 5004		
Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica		
Classe/ grau	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
F-32/Q-32	3,10	4,10
F-35/Q-35	3,40	4,50

NBR 8261				
Perfil tubular de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular, para usos estruturais				
Classe/ grau	Seção circular		Seção quadrada ou retangular	
	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
B	2,90	4,00	3,17	4,00
C	3,17	4,27	3,45	4,27

NBR 5008			
Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica para usos estruturais			
Classe/ grau	Faixa de espessura	Fy tf/cm <sup>2</sup>	Fu tf/cm <sup>2</sup>
1, 2 e	$t \leq 19$	3,45	4,80
2A	$19 < t \leq 40$	3,15	4,60
	$40 < t \leq 100$	2,90	4,35

Fonte: Bellei (1998)



Tabela 02: Aço estrutural ABNT

Classif.	Denominação	Aços ASTM				
		Produto	Grupo/grau	Fy t/cm <sup>2</sup>	Fu t/cm <sup>2</sup>	
Aços-carbono	A36 - É o mais usado em estruturas metálicas, podendo ser usado em edifícios, pontes e estruturas em geral e ser empregado com ligações reboladas, parafusadas e soldadas	Perfis	Todos os grupos	2,50	4,00	
		Chapas	1 ≤ t ≤ 200		a	
		Barra	1 ≤ 100		5,50	
	A570 - É apresentado em vários graus, para ser empregado na confecção de perfis de chapa dobrada, devido a sua ductibilidade	Chapas	Todos os grupos	Grau 33	2,30	3,60
				Grau 40	2,80	3,80
A500 - É usado na fabricação de tubos com e sem costura, para tipos redondos, quadrados ou retangulares. É empregado em dois graus. Para tubos sem costura são empregados até a espessura de 12,5 mm e diâmetro de 258 mm a partir costura até 10 mm e diâmetro de 258 mm	Tubos	Redondo	Grau A	2,32	3,20	
			Grau B	2,96	4,08	
A501 - É usado tanto na fabricação de tubos com e sem costura, para tipos redondos, quadrados e retangulares. Tem a mesma resistência do A 36. É empregado até 25 mm de espessura, com diâmetro variando de 12 a 600 mm.	Tubos	Quadrado ou Retangular	Grau A	2,74	3,20	
			Grau B	3,23	4,08	
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A441 - É usado onde se requer um grau de resistência maior e é apresentado em vários graus, podendo ser empregado em qualquer tipo de estrutura com ligações soldadas, parafusadas ou reboladas	Perfis	Grupos 1 e 2	3,45	4,85	
			Grupo 3	3,15	4,60	
			1 ≤ t ≤ 19	3,45	4,85	
	A572 - É usado onde se requer um grau de resistência maior e é apresentado em vários graus, podendo ser empregado em qualquer tipo de estrutura com ligações soldadas, parafusadas ou reboladas	Chapas e barras	Todos os grupos	19 < t ≤ 38	3,15	4,80
				38 < t ≤ 100	2,90	4,35
				100 < t ≤ 200	2,75	4,15
A572 - É usado onde se requer um grau de resistência maior e é apresentado em vários graus, podendo ser empregado em qualquer tipo de estrutura com ligações soldadas, parafusadas ou reboladas	Perfis	Todos os grupos	Grau 42	2,90	4,15	
			Grau 50	3,45	4,50	
A572 - É usado onde se requer um grau de resistência maior e é apresentado em vários graus, podendo ser empregado em qualquer tipo de estrutura com ligações soldadas, parafusadas ou reboladas	Chapas e barras	Todos os grupos	Grau 42 (t ≤ 150)	2,90	4,15	
			Grau 50 (t ≤ 50)	3,45	4,50	
Aços de baixa liga, alta resistência mecânica e a corrosão atmosférica	A242 - É caracterizado por ter uma resistência à corrosão duas vezes a do aço-carbono, podendo ser empregado com ligações parafusadas, reboladas e soldadas e em estruturas em geral	Perfis	Grupos 1 e 2	3,45	4,80	
			Grupo 3	3,15	4,60	
			1 ≤ t ≤ 19	3,45	4,80	
	A588 - É empregado onde se requer uma redução de peso aliado a uma resistência maior à corrosão atmosférica, que é 4 vezes a do aço-carbono. É empregado principalmente em pontes, viadutos e estruturas especiais, pois, devido a sua resistência à corrosão, pode dispensar a pintura, exceto em ambientes agressivos. Pode ser empregado em estruturas soldadas, parafusadas ou reboladas	Chapas e barras	Todos os grupos	19 < t ≤ 38	3,15	4,60
				38 < t ≤ 100	2,90	4,35
				1 ≤ t ≤ 100	3,45	4,85
A588 - É empregado onde se requer uma redução de peso aliado a uma resistência maior à corrosão atmosférica, que é 4 vezes a do aço-carbono. É empregado principalmente em pontes, viadutos e estruturas especiais, pois, devido a sua resistência à corrosão, pode dispensar a pintura, exceto em ambientes agressivos. Pode ser empregado em estruturas soldadas, parafusadas ou reboladas	Chapas e barras	Todos os grupos	100 < t ≤ 127	3,15	4,60	
			127 < t ≤ 200	2,90	4,35	

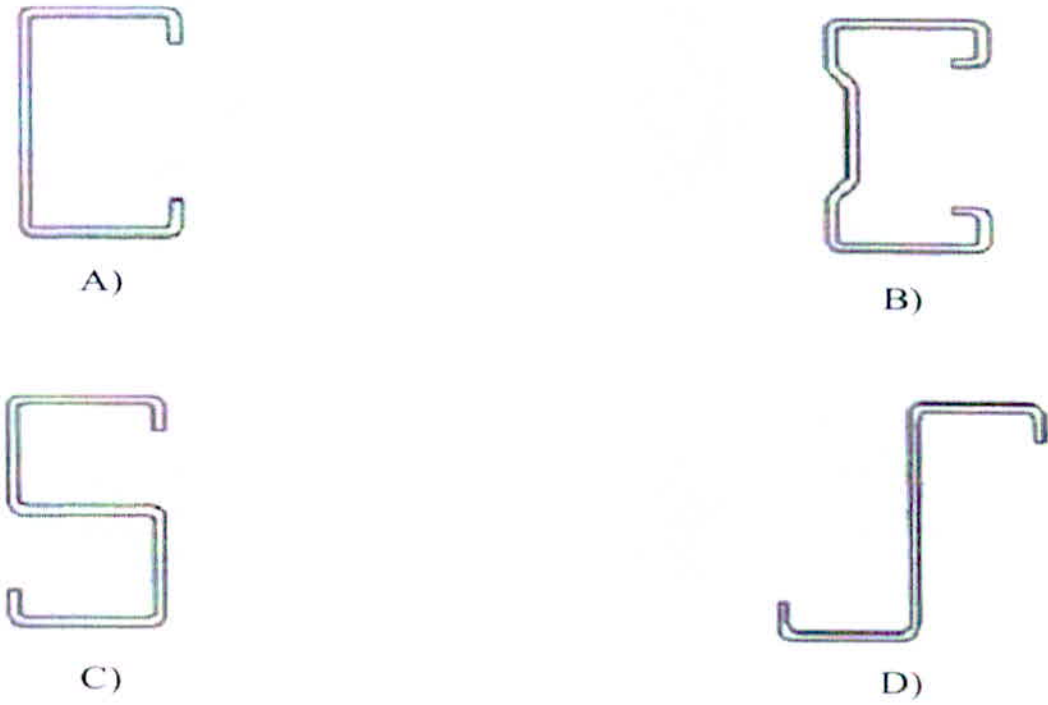
Fonte: Bellei (1998)

### 2.2.1 Perfis mais utilizados nas construções em aço

Os perfis mais utilizados em construção de estruturas de aços são dos tipos dobrados, laminados e composto, conforme ilustrado abaixo:

Perfis Dobrados: A) Perfil em U; B) Perfil Complexo; C) Perfil S; D) Perfil Z

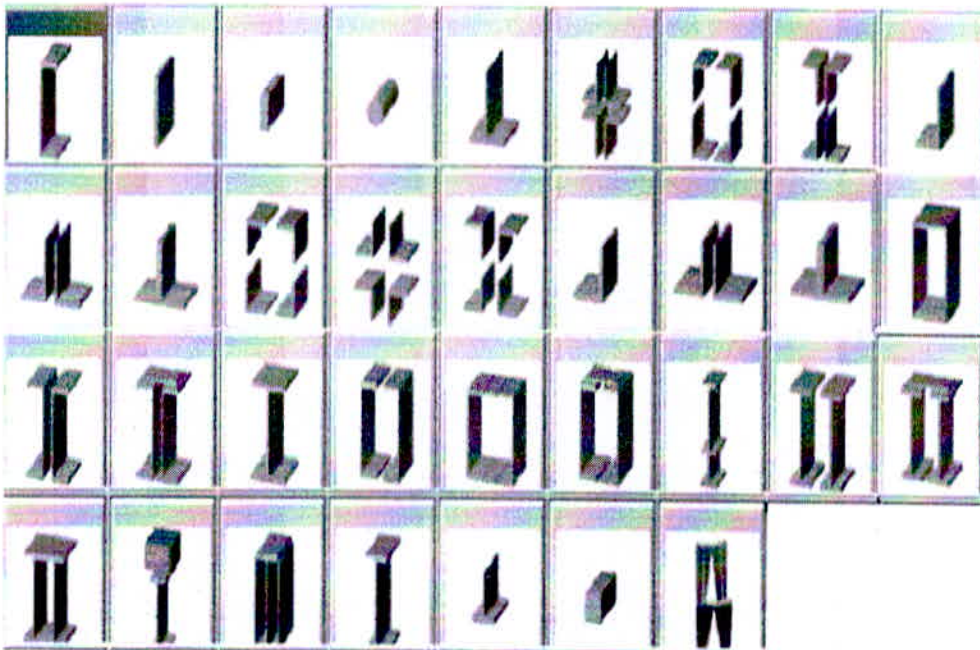
Figura 02: Perfis Dobrados



Fonte: Apostila Novo metal 3D, memorial de cálculo (2010).

### Perfis Laminados

Imagem 03: Perfis Laminados



Fonte: Apostila Novo Metal 3D, memorial de cálculo (2010)



## Perfis Compostos

Figura 04: Perfis Compostos



Fonte: Apostila Novo Metal 3D, memorial de cálculo (2010).

### 3 CAMPOS DE APLICAÇÃO

De acordo com Bellei (2004), a utilização de estruturas metálicas se encaixa em quase todos os tipos de construções civis, geralmente mais utilizadas em galpões para diversos fins, edifícios, ginásio poliesportivos, etc. Apresentando neste o uso em galpões.

#### 3.1 Vantagens de sua utilização

Segundo Bellei (2004), as vantagens principais da utilização de construções em estruturas em aço são a alta resistência do aço comparado com outros materiais de construção, o aço é um material homogêneo de produção controlada, as estruturas são fabricadas por processos industrializados seriados, cujo o efeito de escala favorece menores prazos e custos; os elementos que compõe as estruturas podem ser desmontados e substituídos com facilidade e

permitem reforço quando necessário, possibilidade de reaproveitamento de material que não é utilizado e o menor prazo de execução.

Analisando essas vantagens, utilizar estrutura em aço no lugar de elementos de concreto armado, traz um novo conceito do processo de construção, como mostro nos fatores abaixo. (BELLEI, 2004)

- Menor custo administrativo: Redução de mão de obra, menor prazo, menores custos, custo reduzido com limpeza e organização;
- Economia em fundações: Devido ao peso de uma estrutura ser dez vezes menor que o concreto;
- Menor consumo de revestimento: A fabricação das estruturas é mais precisa, são construídas em milímetros, reduzindo as espessuras dos revestimentos;
- Rapidez de execução: Superposição de atividades na obra, e número maior de frentes de trabalho;
- Maior lucratividade: Maior área útil sem obstáculos internos com elementos de menores dimensões.

## **4 CONSTRUÇÕES EM AÇO**

Também de acordo com Belle (2004), uma obra em estrutura metálica começa pelo projeto arquitetônico, projeto básico, passa pelo projeto estrutural definitivo, pelo detalhamento, fabricação, limpeza e pintura, seguido pelo transporte, montagem e proteção contra o fogo.

### **4.1 Principais fases da construção**

#### **4.1.1 Arquitetura**

Segundo Bellei (2004), fase que se desenvolve todo estudo da obra como dimensões, o acabamento, ventilação, iluminação, formato, etc.



#### 4.1.2 Projeto estrutural

Incorporação do projeto arquitetônico, nesta fase é calculado todos os elementos da estrutura, ligações, o material a ser utilizado, etc. (Bellei, 2004)

#### 4.1.3 Detalhamento

Fase que detalha peça por peça da estrutura, se as ligações serão parafusadas ou soldadas, etc. (BELLEI, 2004)

#### 4.1.4 Fornecimento e fabricação

De acordo com Bellei (2004), nesta fase se providencia os materiais necessários para a fabricação dos elementos que compõe a estrutura, de acordo com o projeto vigente.

#### 4.1.5 Limpeza e proteção

Preparação para receber proteção contra corrosão, limpeza e pintura dos elementos da estrutura. (BELLEI, 2004).

#### 4.1.6 Transporte

Fase do fornecimento do meio de transporte até o local de construção, e feito a conferencia dos materiais e componentes da estrutura, documentações fiscais, seguros e licenças também são providenciadas nessa fase. É importante que se defina na fase de projeto e detalhamento o tamanho das peças de modo que não seja necessário a utilização de transportes especiais. (BELLEI, 2004).

#### 4.1.7 Montagem

Faze de união das peças que compõe a estrutura, também a conferencia e desembarque do material e elementos da estrutura no canteiro de obras. Fase bastante importante, pois é nela que sabemos se o projeto está bom. (BELLEI, 2004).



#### 4.1.8 Proteção contra o Fogo

Também de acordo com Bellei (2004), se necessário aplicasse uma proteção passiva na estrutura contra a ação do fogo em caso de incêndio, de acordo com a utilização, ocupação, altura e as normas vigentes.

### 5 FATORES QUE INFLUENCIAM OS CUSTOS

Segundo Bellei (2004), os fatores que influenciam nos custos de uma estrutura são:

- a) Seleção do sistema estrutural: Se a estrutura será engastada ou livres, se utilizará contraventamento, etc.;
- b) Projeto dos elementos estruturais: Se será em treliça, em alma cheia ou mista.
- c) Projeto e detalhe das ligações: Se as ligações serão com chapas, cantoneiras parafusadas, etc.;
- d) Processo a ser usado na fabricação: Se o processo será soldado, automatizado, parafusado, etc.;
- e) Especificações para fabricação e montagem: Se se encontra dentro dos padrões de uso ou não;
- f) Sistema de proteção a corrosão: Variando de acordo com a qualidade da tinta e tipo de limpeza utilizado;
- g) Sistema a ser usado na montagem: Se será necessário utilizar guindastes ou outro meio de içamento;
- h) Sistema e tempo de proteção passiva contra o fogo: Qual o tipo de material utilizara para proteção e quanto tempo esse material deve ter de resistência contra o fogo.

Além de otimizar os custos deve se selecionar o sistema mais eficiente e compatível com o processo de fabricação. Para garantir a economia deve se elaborar bem as ligações durante a fase de detalhamento dentro das especificações do projeto. (Bellei, 2004).

Segundo Bellei (2004), os custos de uma estrutura podem ser divididos da seguinte maneira:

Projeto estrutural	1% a 3%
--------------------	---------

Detalhamento	2% a 5%
Material e Insumos	20% a 50%
Fabricação	20% a 40%
Limpeza e pintura	10% a 30%
Transporte	1% a 3%
Montagem	20% a 35%
Proteção passiva ao fogo	8% a 15%

## 6 TIPOS DE PORTICOS

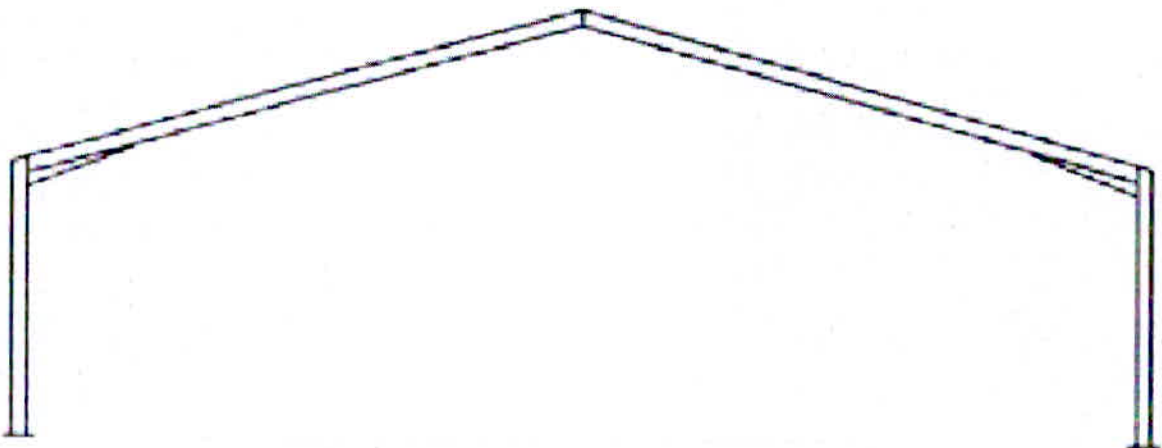
Os pórticos em treliça e os pórticos com perfil em alma cheia são os tipos básicos de galpões em pórticos, classificados quanto ao tipo de estrutura transversal portante. Os pórticos em alma cheia utilizam perfis laminados maiores, e os pórticos em treliça usam perfis menores formando reticulados em treliça, ambos como elemento principal da estrutura. (PINHO, 2000).

Alguns tipos de pórticos:

### 6.1 Pórtico simples em alma cheia

Com estrutura simples e cobertura inclinada, vão livre que pode ir de 15m a 45m, inclinação do telhado de 5° a 20°, altura de 5m a 12m e espaçamento entre os pórticos de 6m a 12m. (PINHO, 2000).

Figura 05: Pórtico Simples em Alma cheia

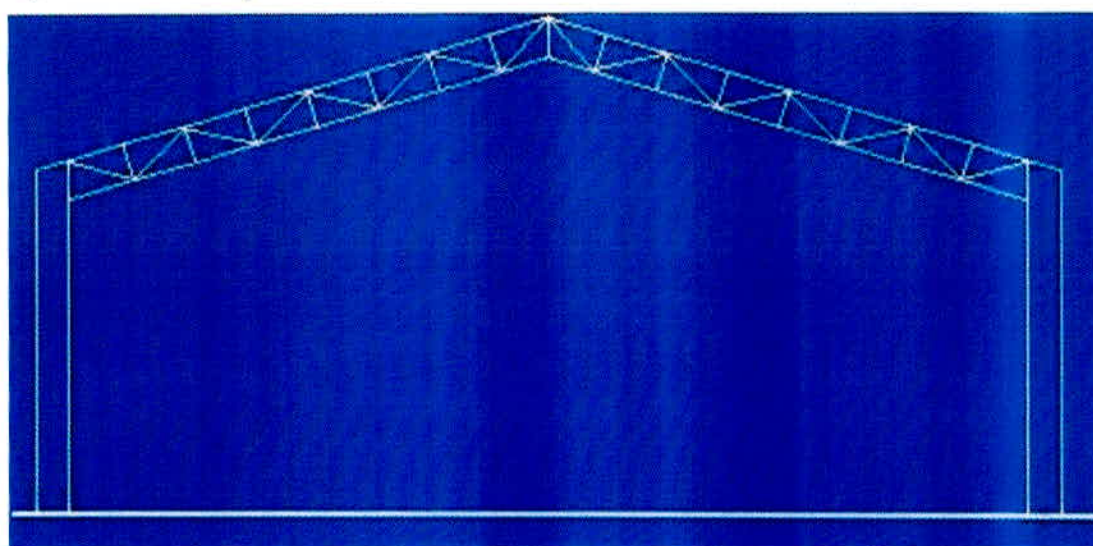


Fonte: Galpões em pórticos de Aço Gerdau

## 6.2 Pórticos em treliça

São pórticos que utilizam perfis menores formando reticulados e tem capacidade de suportar maior vão livre e cargas maiores devido a sua geometria, seu custo e mais elevado pois utiliza vários tipos de aço e gera maior desperdício e maior tempo de execução devido a montagem da tesoura em treliça. (PINHO, 2000).

Figura 06: Pórtico simples em treliça



Fonte: Galpões em pórticos de aço Gerdau

## 6.3 Tipos de Galpões

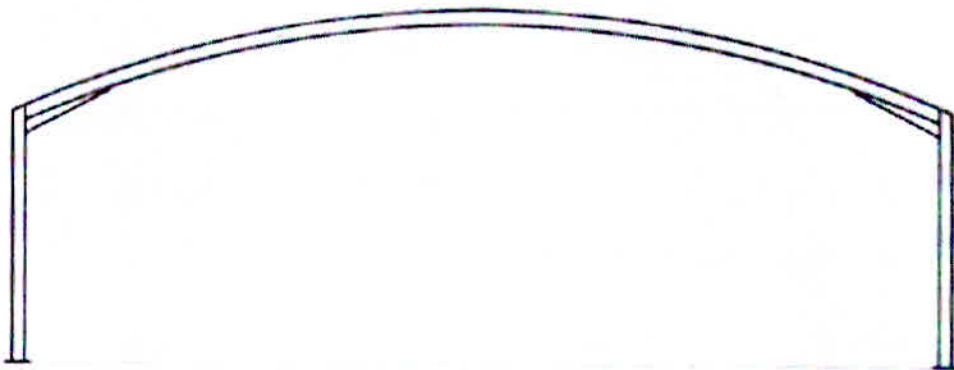
Os galpões são construções com objetivo de cobrir uma grande área com menor número de obstáculos internos possíveis, adotando critérios importantes em seu planejamento, como a localização, tipo de terreno, a vizinhança, a utilização, etc. Vejamos alguns tipos de galpões:

### 6.3.1 Galpão com cobertura em arco

Com vigas laminadas e arqueadas a frio por calandra, os pórticos em arco são usuais principalmente em necessidade arquitetônica, necessária a utilização de ligações nas vigas em caso de grandes vãos, que devem ser detalhadas cuidadosamente. (PINHO, 2000)



Figura 07: Galpão em Arco

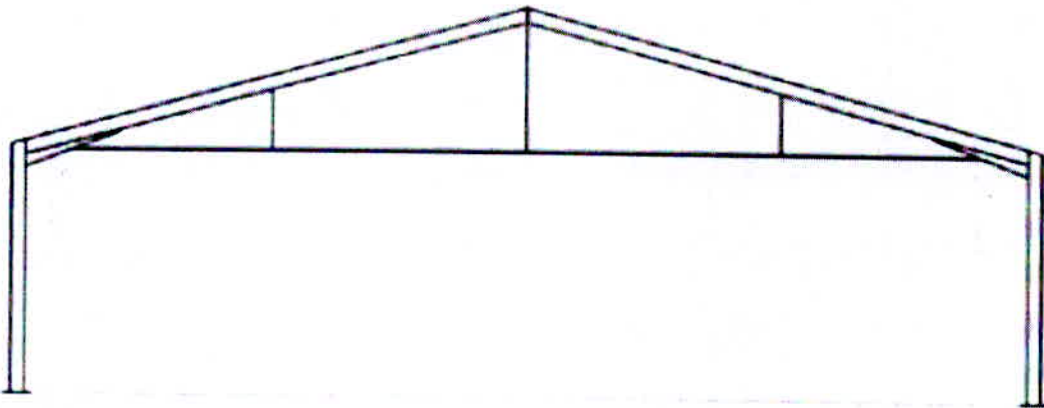


Fonte: Galpões em pórticos de Aço Gerdau

### 6.3.2 Galpão com tirantes

Indicado para telhados com inclinação superior a  $15^\circ$ , a instalação dos tirantes reduz os deslocamentos horizontais e momentos das vigas, considerando que os tirantes são obstáculos indesejáveis para algumas situações. (PINHO, 2000)

Figura 09: Galpão com tirantes

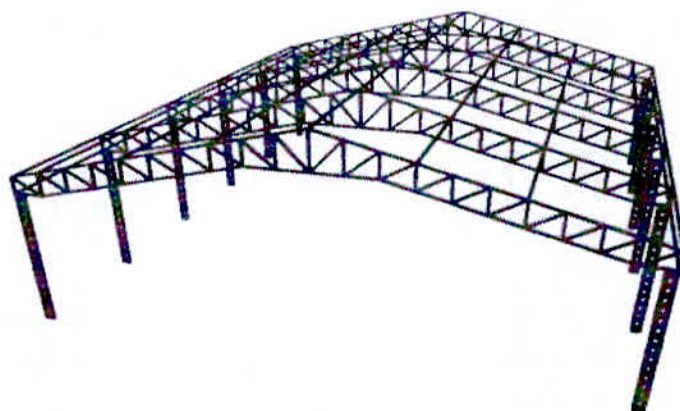


Fonte: Galpões em pórticos de Aço Gerdau

### 6.3.3 Galpão duas águas em treliça

Um dos galpões mais utilizados, possivelmente devido ao seu baixo custo por metro quadrado, iluminação e ventilação são instalados normalmente na parte superior através de lanternins, telhas translúcidas, etc. (PINHO,2000)

Figura 09: Galpão em duas águas com tesoura em treliça

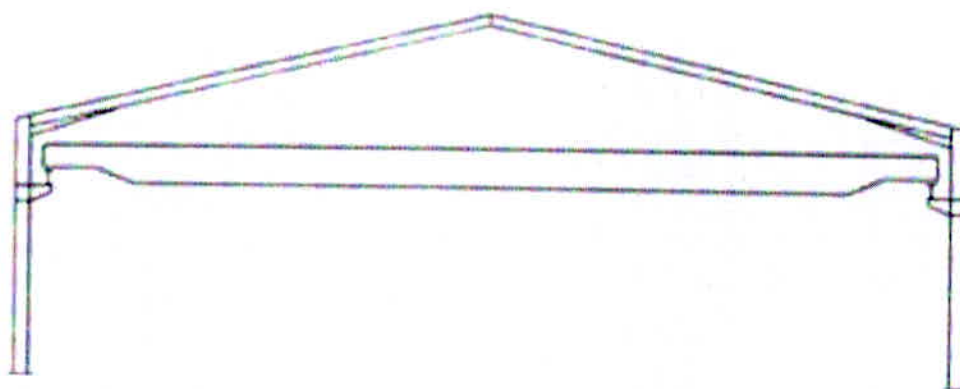


Fonte: O Autor

#### 6.3.4 Galpões duas águas em viga I

Usados mais em galpões com utilização de pontes rolantes, ou com indicação devido a utilização e produto. (PINHO, 2000)

Figura 10: Galpão em duas águas em viga I



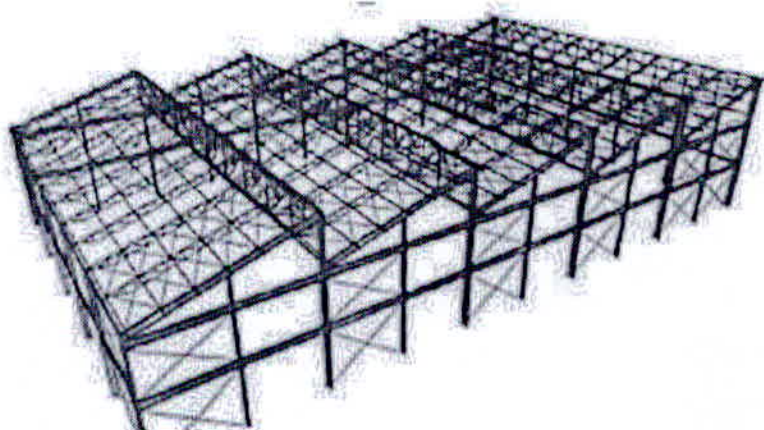
Fonte: Galpões em pórticos de aço Gerdau.

#### 6.3.5 Galpão tipo Sheed

Usado normalmente em indústrias devido a capacidade de boa iluminação e ventilação. (PINHO, 2000)



Figura 11: Galpão em Sheed



Fonte: Galpões de uso Gerais (2010)

## 7 METODOLOGIA

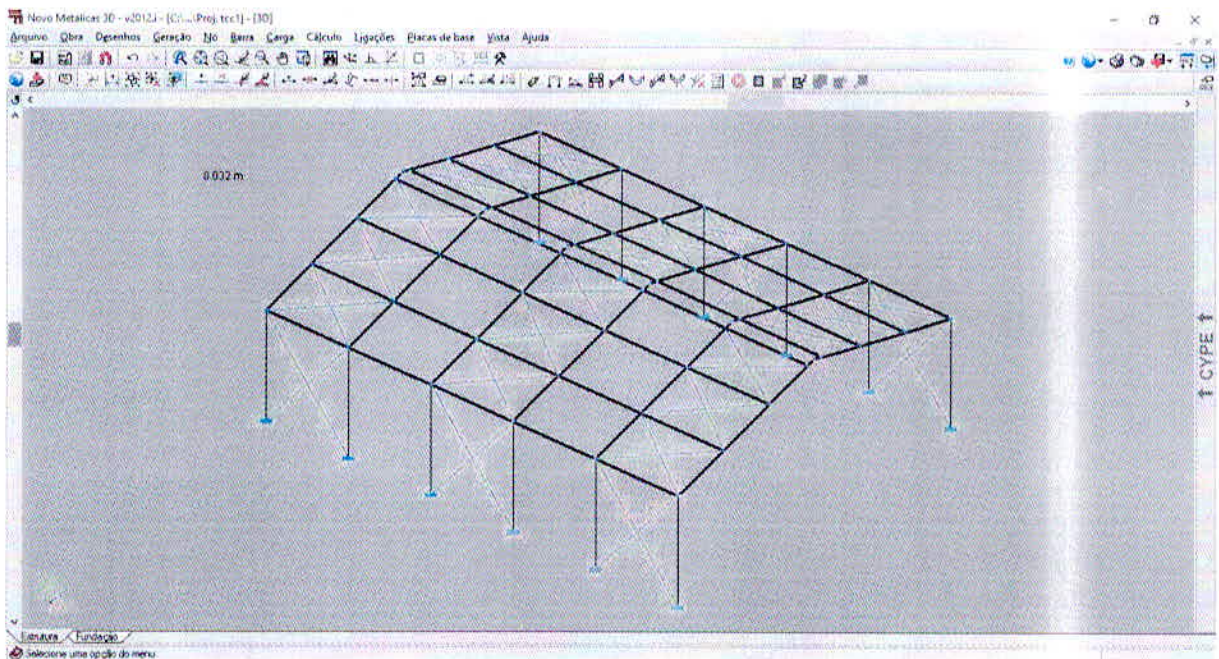
Será feito um estudo comparativo entre um galpão em treliça e um galpão em alma cheia com as mesmas dimensões, será utilizado o projeto de um galpão montado no parque industrial da cidade de São Paulo, utilizado para serviços de usinagem. Será feito um projeto preliminar baseado no projeto original destacando alguns pontos importantes a se considerar em um projeto estrutural, citando os requisitos das normas vigentes para esse tipo de construção. Uma comparação de quantidade de material será feita afim de comparar a viabilidade do tipo de galpão utilizado.

### 7.1 Projeto Estrutural

O passo inicial foi realizar dois projetos de acordo com as especificações arquitetônicas requisitadas pelos clientes, um dos projetos feito em treliça e outro feito em alma cheia.

Os projetos foram feitos utilizando o Software de dimensionamento estrutural Cype Novo Metlicas 3D e Gerador de pórticos, com algumas funções limitadas pois se trata de um Software para fins de estudo, onde foram analisadas as reações de cargas de vento e peso da estrutura de acordo com a normas vigentes.

Figura 12: Layout Cype Metálicas 3D



Fonte: O Autor.

## 7.2 Normas ABNT consideradas nesse projeto

Para validação de um projeto estrutural deve se considerar algumas normas regulamentadoras, que citam requisitos relacionados à segurança, tipo de aço utilizado e cargas devido ao vento, as normas utilizadas foram:

- a) ABNT NBR 6123 Forças devido ao vento em edificações
- b) ABNT NBR 14762: 2010 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio (Aços Dobrados)
- c) ABNT NBR 8800: 2008 Projetos de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edificios (perfis laminados e soldados).

### 7.2.1 ABNT NBR 6123 Forças devido ao vento em edificações

Esta norma determina as condições que são exigidas para o cálculo de edificações relacionadas as condições estatísticas e dinâmicas do vento. Não se aplica a edificações de dimensões e formas foras do comum, para casos desse tipo devem ser feitos estudos especiais



para determinar a atuação do vento na edificação, podem ser utilizados resultados obtidos através de testes em túnel de vento com simulação das principais características do vento natural. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

7.2.2 ABNT NBR 14762: 2010 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

Esta norma estabelece requisitos básicos, baseados nos métodos do estado limite para o dimensionamento de perfis estruturais de aço-carbono ou aço baixa liga formados a frio em temperatura ambiente conectados por parafusos ou soldas. Se emprega os requisitos dessa norma também, em outros tipos de estruturas, além de edifícios, desde que seja considerado as particularidades da estrutura.

Para manter o nível de segurança previsto por esta norma em construções não cobertas por ela, o projetista deve usar um procedimento acompanhado de estudos, e para as construções cobertas de maneira simplificada, pode se usar um procedimento mais preciso com os requisitos da norma. (ABNT NBR 14762: 2010 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE AÇO CONSTITUIDAS POR PERFIS FORMADOS A FRIO).

7.2.3 ABNT NBR 8800: 2008 Projetos de estruturas de aço e de estruturas mista de aço e concreto de edifícios

Também baseado no método dos estados limites, estabelece os requisitos básicos para o dimensionamento em temperatura ambiente, de estruturas em aço e mistas de aço e concreto de edificações em que os perfis de aço sejam laminados ou soldados, de seção tubular com ou sem costura e que as ligações sejam feitas com soldas ou parafusadas.

O projetista deve encontrar todos os estados limites aplicáveis, mesmo que não estejam citados na norma, projetando a estrutura de modo a não violar esses estados limites.

(ABNT NBR 8800: 2008 PROJETOS DE ESTRUTURAS DE AÇO E DE ESTRUTURAS MISTA DE AÇO E CONCRETO DE EDIFÍCIOS).

## **8 COMPARAÇÃO DOS PROJETOS ESTRUTURAIS**

Ambos os projetos foram feitos de acordo com os requisitos do cliente, com as dimensões e requisitos exigidos pelas normas anteriormente citadas. Abaixo está listado os critérios e dimensões do projeto:

- a) Galpão com dimensões de 20x25x6m
- b) Inclinação do telhado de 15°
- c) Localização parque industrial de São Paulo
- d) Utilizados para serviços de usinagem

## **8.1 Etapa inicial de projeto**

Nesta primeira etapa de projeto foi determinada as condições de força devido ao vento e a sobrecarga do fechamento na cobertura. De acordo com a norma NBR 6123, relacionada a cargas dos ventos. Também foram determinados os parâmetros e o tipo de perfil que melhor atende as condições de carga. Foram consideradas as seguintes situações:

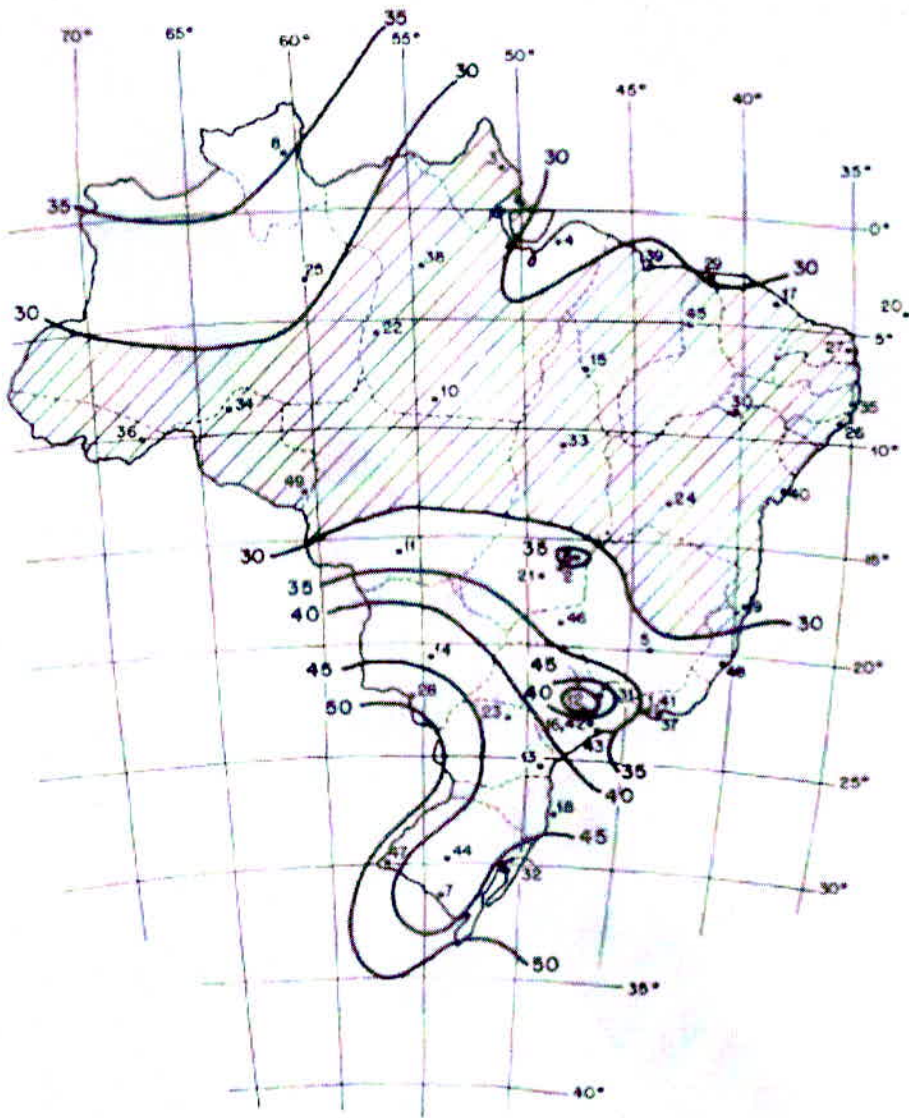
### **8.1.1 Velocidade básica do vento**

A velocidade básica do vento e medida através de uma rajada de vento de 3segundos, que acontece uma vez a cada 50 anos em uma altura de 10 metros acima do solo em terreno plano aberto. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

A figura 13 apresenta o gráfico de isopletras da velocidade básica do vento no Brasil, que e utilizada para mostrar a velocidade incidente do vento em determinadas áreas do Brasil, onde estão situadas as cidades em que será construída a edificação.



Imagem 13: Gráfico de Isopletas Brasil



Fonte: NBR 6123:2008

De acordo com o gráfico de isopletas, para cidade de São Paulo foi determinado uma velocidade básica do vento de 40m/s.

#### 8.1.2 Fator topográfico S1

O fator topográfico está relacionado com o relevo do terreno, dividido em terrenos planos ou fracamente acidentados, taludes e morros, com seus respectivos valores como mostra na figura abaixo tirada da norma relacionada a ação dos ventos nas edificações. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

Figura 14: Coeficientes fator topográfico

**5.2 Fator topográfico,  $S_t$** 

O fator topográfico  $S_t$  leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

a) terreno plano ou fracamente acidentado:  $S_t = 1,0$ ;

b) taludes e morros:

- taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na Figura 2;

- no ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes):  $S_t = 1,0$ ;

- no ponto B: [ $S_t$  é uma função  $S_t(z)$ ]:

$$\theta \leq 3^\circ : S_t(z) = 1,0$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ : S_t(z) = 1,0 +$$

$$\cdot \left( 2,5 - \frac{z}{d} \right) \operatorname{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1$$

$$\theta \geq 45^\circ : S_t(z) = 1,0 +$$

$$\cdot \left( 2,5 - \frac{z}{d} \right) 0,31 > 1$$

[interpoliar linearmente para  $3^\circ < \theta < 6^\circ < 17^\circ < \theta < 45^\circ$ ]

Onde:

$z$  = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado

$d$  = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro

$\theta$  = inclinação média do talude ou encosta do morro

Nota: Entre A e B e entre B e C, o fator  $S_t$  é obtido por interpolação linear.

c) vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção:  $S_t = 0,9$ .

Os valores indicados em 5.2-b) e 5.2-c) constituem uma primeira aproximação e devem ser usados com precaução.

Se for necessário um conhecimento mais preciso da influência do relevo, ou se a aplicação destas indicações tornar-se difícil pela complexidade do relevo, é recomendado o recurso a ensaios de modelos topográficos em túnel de vento ou a medidas anemométricas no próprio terreno.

Fonte: ABNT NBR 6123

### 8.1.3 Fator de rugosidade do terreno $S_2$

O fator de rugosidade está relacionado com a combinação da rugosidade do terreno, a velocidade do vento, a altura da edificação acima do solo e das dimensões ou parte das dimensões da edificação. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

A rugosidade do terreno é dividido em cinco categorias, que são elas:

- Categoria I: Superfícies lisas com grandes dimensões, com mais de 5km de extensão medidas na direção e sentido do incidente. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).
- Categoria II: Terrenos abertos em nível ou próximo do nível, com pouco obstáculos isolados. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).



- c) Categoria III: Terrenos planos ou ondulado com obstáculos, tais como, muros, sebes, edificações baixas, pouco quebra-vento de arvores. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).
- d) Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, como florestas, centros urbanos ou industriais. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).
- e) Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos números, mais altos com pouco espaço, como floresta de arvores com copas isolada, grandes centros urbanos, etc. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

Relacionado as dimensões da edificação, foram escolhidas três classes de edificações, listadas abaixo:

- a) Classe A: Todas as unidades de vedação, elementos de fixação e peças individuais da estrutura sem vedação, toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 metros. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).
- b) Classe B: Todas as edificações ou parte delas, que sua dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).
- c) Classe C: Todas as edificações ou parte delas, que a dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal seja maior que 50 metros. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

Para a utilização do fator rugosidade ( $S_2$ ) no cálculo de velocidade do vento em uma determinada altura ( $z$ ) acima do nível do terreno utilizasse a formula:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

E os valores de  $b$ ,  $Fr$  e  $p$  são obtidos com relação as categorias de rugosidade do terreno e as classes relacionadas com as dimensões das edificações, através da tabela de parâmetros meteorológicos. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).



Figura 15: Tabela 1 da norma ABNT 6123 (parâmetros meteorológicos)

**Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos**

Categoria	$z_v$ (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F <sub>v</sub>	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: ABNT NBR 6123

Na figura 16 mostra uma tabela de valores definidos do fator de rugosidade  $S_2$ , variando de acordo com a altura, categoria e classe. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

Figura 16: Tabela 2 da norma ABNT 6123 (Fator de rugosidade)

**Tabela 2 - Fator  $S_z$**

z (m)	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
< 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: ABNT NBR 6123

#### 8.1.4 Fator estatístico $S_3$

O Fator estatístico está relacionado a segurança da edificação e as consequências em caso de ruína da edificação, e baseado em conceitos estatísticos considerando a segurança e a vida útil da edificação. (ABNT NBR 6123: FORÇAS DEVIDO AO VENTO EM EDIFICAÇÕES).

Na figura 17, está mostrando uma tabela com os respectivos valores para variadas situações que possam acontecer nas edificações.

Figura 17: Tabela 3 da norma ABNT 6123 (valores mínimos do fator estatístico)

**Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico  $S_s$**

Grupo	Descrição	$S_s$
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: ABNT NBR 6123

### 8.1.5 Edição das cintas na cobertura

Nesta etapa e feita a edição das terças utilizadas nas coberturas. Como dados de cálculo foi determinado o limite de flecha máxima para as terças conforme o vão que vencem, depois foi determinado o tipo de fixação das telhas, e qual distancia ótima entre uma terça e outra. Após determinado todos esses parâmetros foi dimensionado o perfil que melhor atende as solicitações de carga, com uma porcentagem de aproveitamento de tensão de 54,49% e flecha de 25,07%, deixando uma margem de segurança bastante considerável.

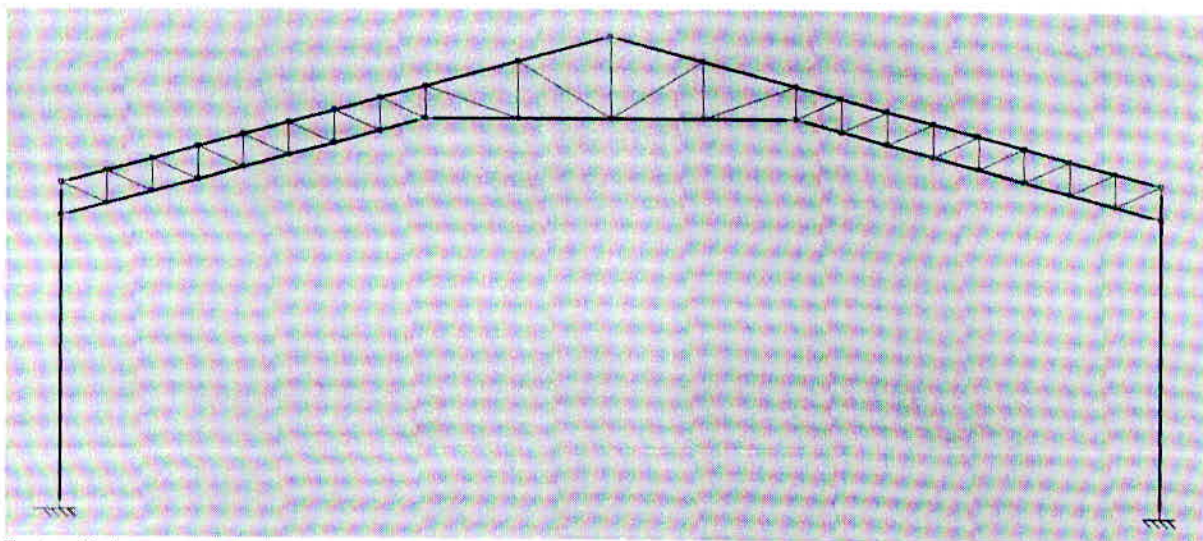
## 8.2 Projeto galpão em treliça

Nesta etapa, o desenho da tesoura em treliça começa a tomar forma, seguindo as especificações determinadas na edição das cintas, as dimensões e critérios determinado no projeto arquitetônico.

Na figura 18, vemos o esboço da tesoura do galpão em treliça:



Figura 18: Esboço tesoura em treliça

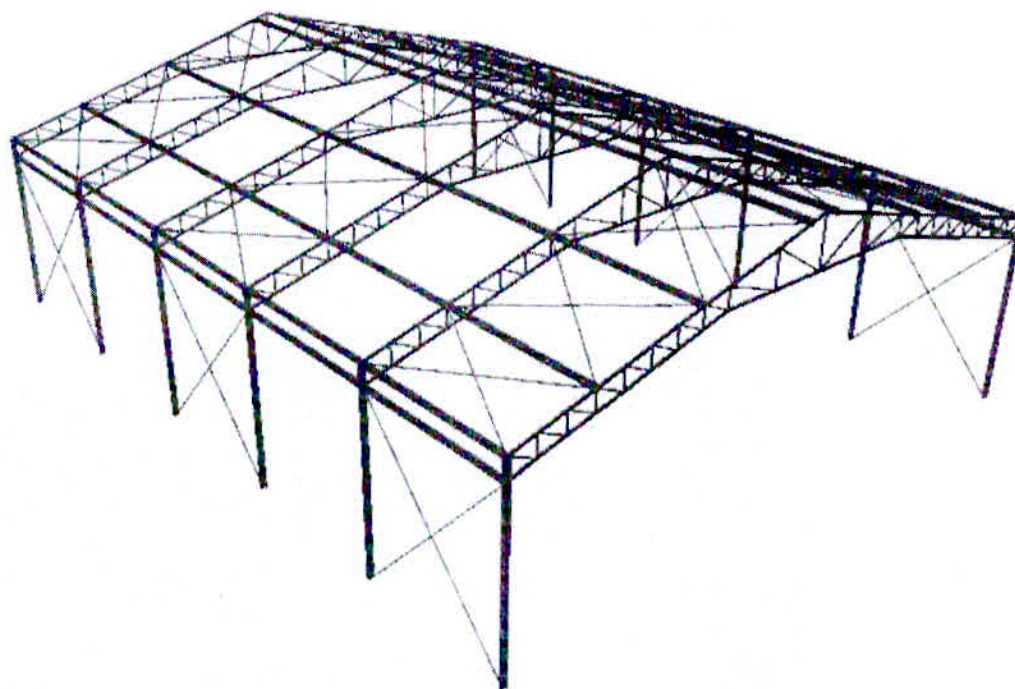


Fonte: O Autor

Na sequência foi determinado os tipos de perfis que possivelmente atenderia as solicitações de carga nos pilares, nos banzos superiores e inferiores, nos tirantes e nos elementos que compõem a treliça.

A figura 19 a seguir, mostra o galpão em treliça já com os perfis pré-dimensionados.

Figura 19: Estrutura em treliça com os perfis determinados



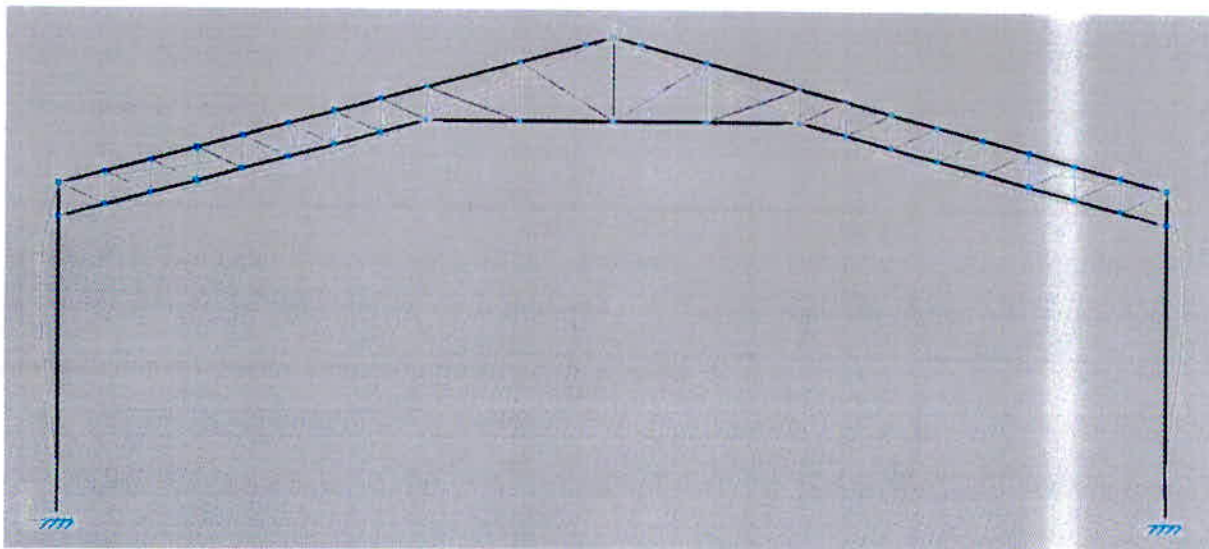
Fonte: O Autor

Após o pré dimensionar os perfis, se faz o cálculo para ver se os perfis selecionados atende as solicitações de carga, no caso do galpão em treliça somente os perfis dos pilares, das terças e dos tirantes atenderam as solicitações, foi necessário alterar os perfis dos banzos superiores e inferiores, e dos componentes da tesoura.

Assim que dimensionado os perfis, fez se um ensaio onde se pode ver o comportamento dos perfis na estrutura de acordo com os diagramas de esforço normal e flecha máxima da estrutura.

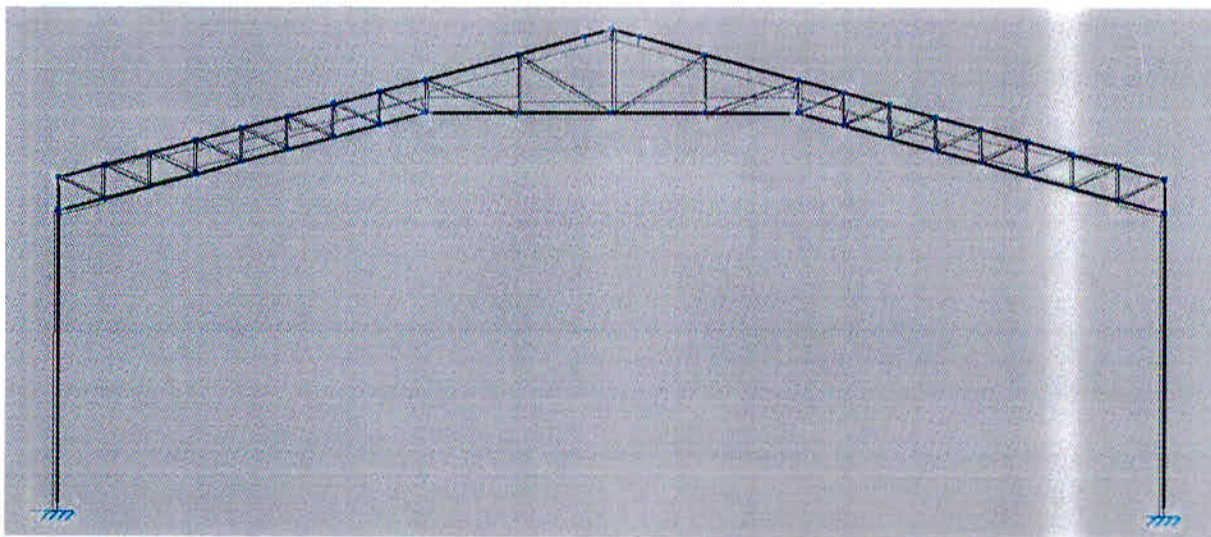
As próximas imagens mostram esses diagramas.

Figura 20: Flecha galpão em treliça



Fonte: O Autor

Figura 21: Diagrama esforço norma Galpão em Treliça



Fonte: O Autor



### 8.2.1 Perfis utilizados galpão em treliça

De acordo com o dimensionamento foi determinado os tipos de perfis que melhor atende as solicitações de carga, garantindo segurança, pois o software realiza os cálculos considerando a pior das hipóteses de carga, a maior solicitação das cargas variáveis.

Foram determinados os seguintes materiais para os componentes do galpão:

- Para os pilares: Perfil "H" modelo W150 X 22.5
- Para os banzos superiores e inferiores: Perfil C enrijecido modelo C200 X 75X 25 X3.04
- Para as terças: Perfil C enrijecido modelo C200 X 75X 25 X3.04
- Para os componentes das tesouras: Perfil cantoneira modelo L2 X 1/4" (abas iguais)
- Para os tirantes: Barra redonda de aproximadamente 1/4" de diâmetro

Os perfis foram determinados de forma a atender com margem de segurança as solicitações de carga, no caso dos perfis dos banzos inferiores e superiores foi determinado o mesmo perfil da terça para facilitar a execução da obra.

Para os perfis laminados foi considerado o tipo de aço A-36 e para perfis dobrados foi o CF-26, que é semelhante ao A-36. A tabela abaixo mostra as características mecânicas dos materiais utilizados no projeto.

Tabela 03: Características mecânicas dos aços utilizados

Materiais utilizados							
Material		E (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\nu$	G (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\alpha_s$ (m/m°C)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )
Tipo	Designação						
Aço laminado	A-36 250Mpa	2038736.0	0.300	784913.4	2548.4	0.000012	7.850
Aço dobrado	CF-26	2038736.0	0.300	784129.2	2650.4	0.000012	7.850

Notação:  
*E*: Módulo de elasticidade  
 *$\nu$* : Módulo de poisson  
*G*: Módulo de corte  
 *$f_s$* : Limite elástico  
 *$\alpha_s$* : Coeficiente de dilatação  
 *$\gamma$* : Peso específico

Fonte: Relatório Cype Metálicas 3D



Tabela 04: Características Mecânicas do dos perfis galpão em treliça

Características mecânicas									
Material		Ref.	Descrição	A (cm <sup>2</sup> )	Avy (cm <sup>2</sup> )	Avz (cm <sup>2</sup> )	Iyy (cm <sup>4</sup> )	Izz (cm <sup>4</sup> )	It (cm <sup>4</sup> )
Tipo	Designação								
Aço laminado	A-36 250Mpa	1	W150X22.5, (W)	28.96	15.05	7.25	1231.97	385.64	3.82
		2	L 2 x 1/4, (Cantoneira)	6.05	2.82	2.82	14.47	14.47	0.81
		3	VERG 7, (VERG)	0.38	0.35	0.35	0.01	0.01	0.02
Aço dobrado	CF-26	4	C200X75X25X3.04, (C)	11.55	3.65	6.18	701.93	88.27	0.36

*Notação:*  
 Ref.: Referência  
 A: Área da seção transversal  
 Avy: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Y'  
 Avz: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Z'  
 Iyy: Inércia da seção em torno do eixo local 'Y'  
 Izz: Inércia da seção em torno do eixo local 'Z'  
 It: Inércia à torção  
 As características mecânicas das peças correspondem à seção no ponto médio das mesmas.

Fonte: Relatório de projeto Cype Metálicas 3D

Para atender os critérios do projeto, foi determinado a quantidade do material que será utilizado e a quantidade de material que deve ser pintado.

As figuras a seguir mostram um resumo da quantidade de material necessária para que possa ser construído o galpão e a quantidade em metros quadrados de peças a ser pintadas.

Tabela 05: Resumo da quantidade em kg de perfis necessários para o galpão em treliça.

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m <sup>3</sup> )	Série (m <sup>3</sup> )	Material (m <sup>3</sup> )	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço laminado	A-36 250Mpa	W	W150X22.5	72.000			0.209			1636.82		
			L 2 x 1/4	211.963	72.000		0.128	0.209		1006.39	1636.82	
		Cantoneira	VERG 7	304.129	211.963		0.012	0.128		91.88	1006.39	
			VERG		304.129		0.012	0.012			91.88	
							0.348				2735.09	
Aço dobrado	CF-26	C	C200X75X25X3.04	496.990	496.990		0.574	0.574		4504.82	4504.82	4504.82

Fonte: Relatório de projeto Cype Metálicas 3D.

A tabela 5 mostra a quantidade exata para construção do galpão, de forma detalhada, para se ter uma noção será necessário para este galpão um total de 7.239,91 kg de aço, contando os aços dobrados e laminados.

Tabela 06: Quantidade de superfícies a pintar

<b>Perfis de aço: Quantitativos das superfícies a pintar</b>					
Tipo	Série	Perfil	Superfície unitária (m <sup>2</sup> /m)	Comprimento (m)	Formas (m <sup>2</sup> )
Aço laminado	W	W150X22.5	0.900	72.000	64.829
	Cantoneira	L 2 x 1/4	0.203	211.963	43.071
	VERG	VERG 7	0.022	304.129	6.688
	Subtotal				
Aço dobrado	C	C200X75X25X3.04	0.766	496.990	380.570
	Subtotal				
<b>Total</b>					<b>495.158</b>

Autor: Relatório de projeto Cype Metlicas 3D.

Como mostra a figura (), para o galpão em treliça temos um total de 495.158 metros quadrados para pintar.

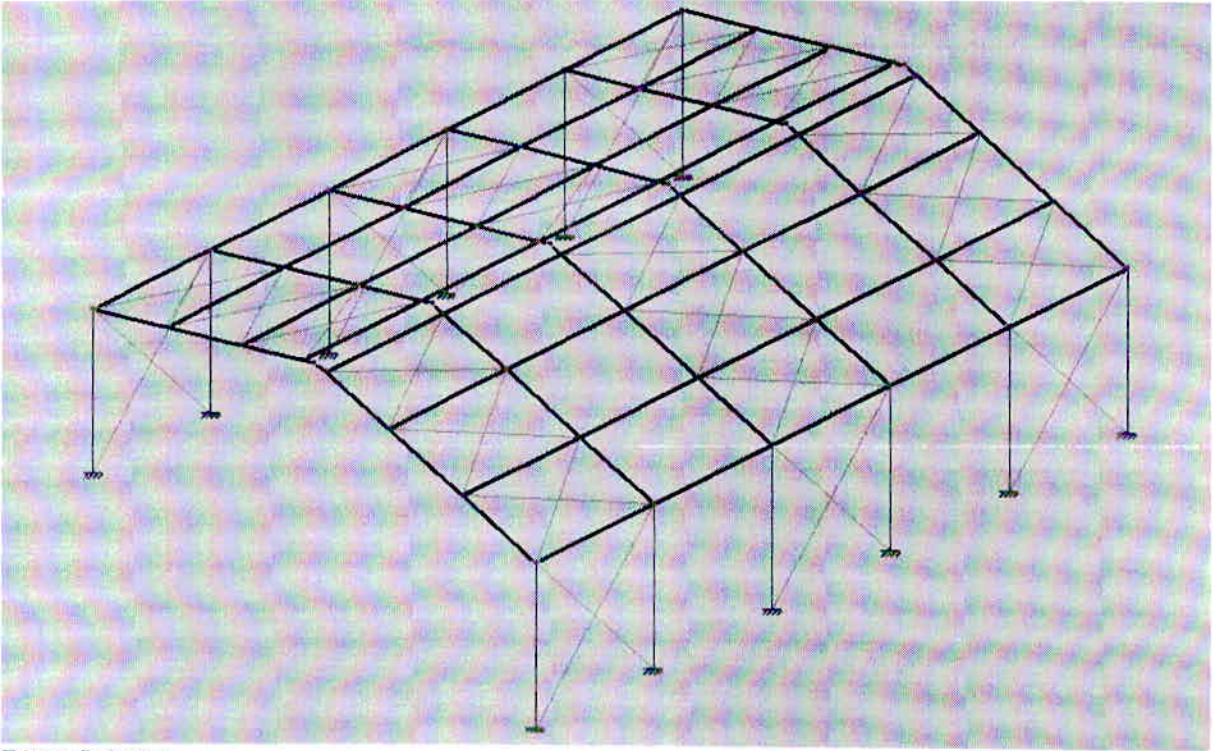
### 8.3 Projeto galpão alma cheia

Se tratando de um galpão com tesoura em perfil de alma cheia, o esboço inicial é mais simples de fazer, porém sempre considerando os critérios determinados no dimensionamento das cintas, as características do projeto arquitetônico e as dimensões do galpão.

A figura 22 mostra o esboço do projeto em alma cheia.



Figura 22: Esboço galpão em alma cheia



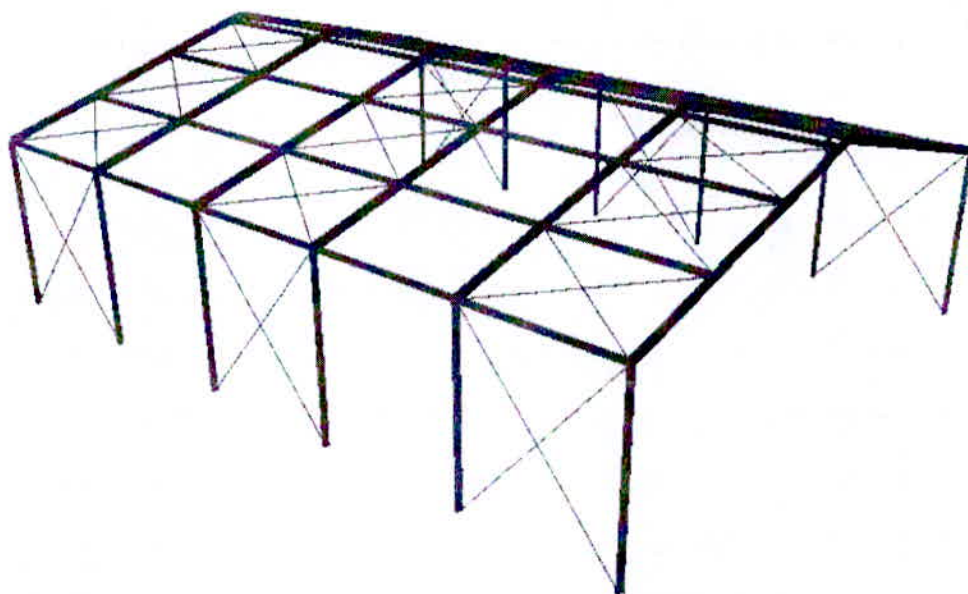
Fonte: O Autor

Como no projeto em treliça, foi determinado os perfis que possivelmente possam atender as solicitações de carga para esse tipo de galpão.

Na figura 23, temos a estrutura do galpão em alma cheia já com os perfis pré-determinados.



Figura 23: Estrutura do galpão em alma cheia



Fonte: O Autor

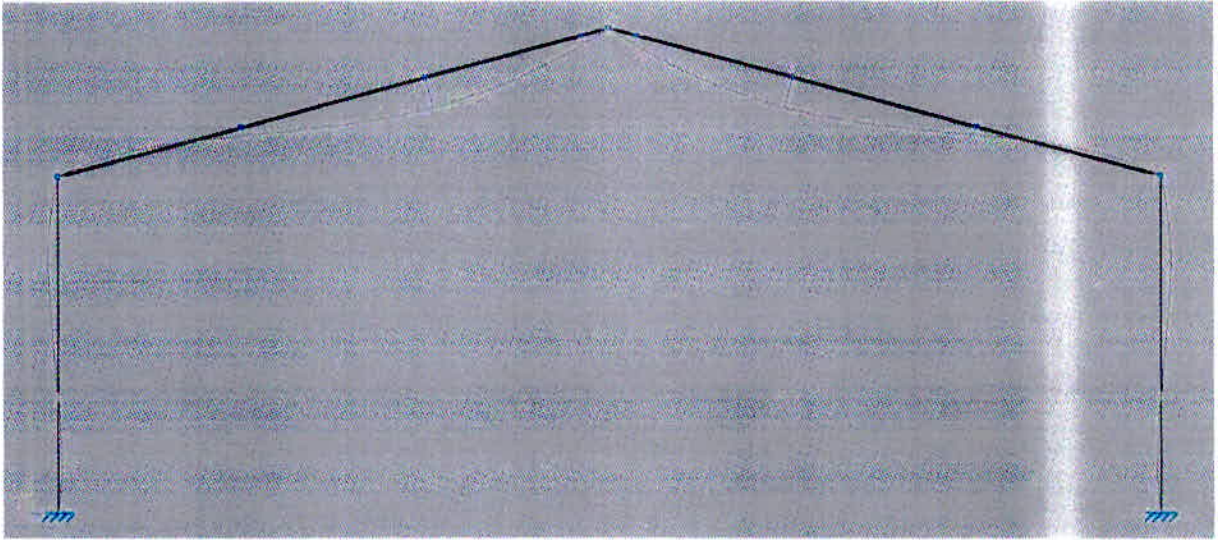
Seguindo a sequência do projeto em treliça, foram feitos os cálculos para ver se os perfis selecionados suportam a solicitação de carga.

Com relação a estrutura em alma cheia somente os perfis dos tirantes e das terças atenderam a solicitação de carga, tendo que redimensionar os perfis das vigas e pilares.

Após redimensionado e adotado os perfis que atendam as solicitações para os pilares e vigas, foram feitos ensaios para visualizar o comportamento da estrutura através do diagrama de esforço normal e da flecha máxima.

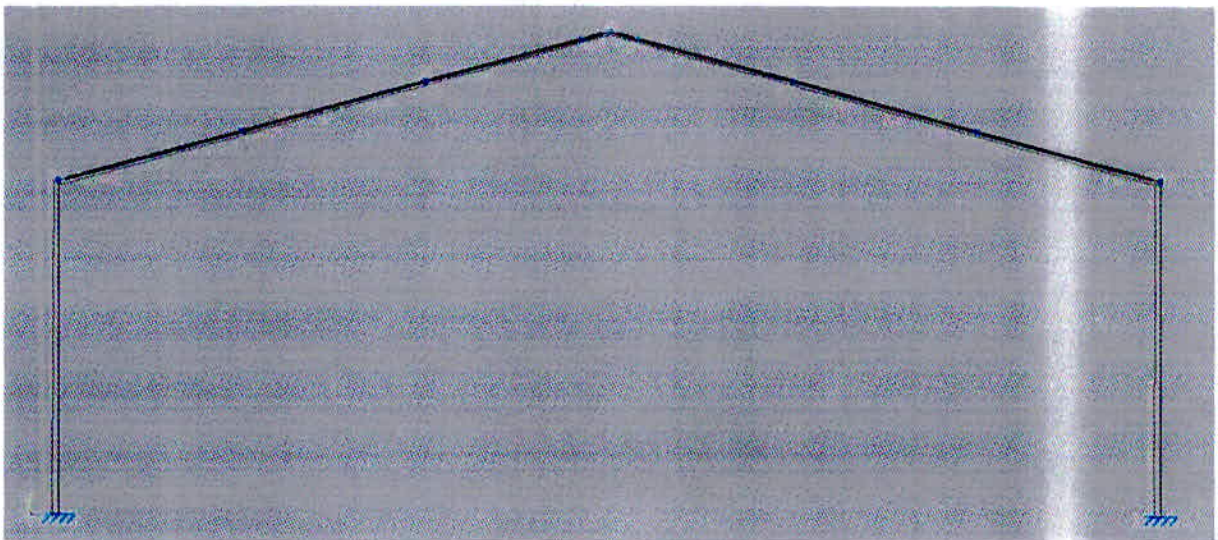
As próximas imagens mostram os digramas de flecha máxima e de esforço normal.

Figura 24: Flecha do galpão em alma cheia



Fonte: O Autor

Figura 25: Diagrama de esforço normal galpão em alma cheia



Fonte: O Autor

### 8.3.1 Perfis Utilizados galpão em alma cheia

De acordo com os cálculos foram determinados os tipos de perfis que melhor atende as solicitações de carga no caso da estrutura em alma cheia, garantindo confiabilidade e segurança para edificação.

Para a estrutura em alma cheia foram determinados os seguintes materiais:

- a) Para os pilares: Perfil "H" modelo W200 X 35.9



- b) Para as vigas: Perfil "H" modelo W150 X 37.1
- c) Para as terças: Perfil C enrijecido modelo C200 X 75X 25 X3.04
- d) Para os tirantes: Barra redonda de aproximadamente 1/4" de diâmetro

Os perfis foram dimensionados de forma a atender as solicitações de carga com uma margem de segurança e confiabilidade. No caso das vigas e pilares, foram determinados os mesmos perfis para facilitar a execução da obra.

Para os perfis laminados foi considerado o tipo de aço A-36 e para perfis dobrados foi o CF-26, que é semelhante ao A-36. Ver figura ().

Tabela 07: Características mecânicas dos perfis utilizados

Características mecânicas									
Material		Ref.	Descrição	A (cm <sup>2</sup> )	Avy (cm <sup>2</sup> )	Avz (cm <sup>2</sup> )	Iyy (cm <sup>4</sup> )	Izz (cm <sup>4</sup> )	It (cm <sup>4</sup> )
Tipo	Designação								
Aço laminado	A-36 250Mpa	1	W200X35.9, (W)	45.68	25.24	10.08	3439.50	763.18	13.11
		2	W150X37.1, (W)	47.81	26.80	10.12	2246.49	705.87	18.48
		3	VERG 7, (VERG)	0.38	0.35	0.35	0.01	0.01	0.02
Aço dobrado	CF-26	4	C200X75X25X3.04, (C)	11.55	3.65	6.18	701.93	88.27	0.36
Notação: Ref.: Referência A: Área da seção transversal Avy: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Y' Avz: Área de esforço cortante da seção segundo o eixo local 'Z' Iyy: Inércia da seção em torno do eixo local 'Y' Izz: Inércia da seção em torno do eixo local 'Z' It: Inércia à torção As características mecânicas das peças correspondem à seção no ponto médio das mesmas.									

Fonte: Relatório de projeto Cype Metálicas 3D

Para atender aos critérios do projeto, também foi determinado a quantidade de material para o galpão com estrutura em alma cheia, e também a quantidade em metros quadrados de superfície a ser pintada.

As próximas imagens mostram um resumo da quantidade de material necessário e da quantidade de superfície a ser pintada.



Tabela 08: Resumo do peso de material utilizado galpão alma cheia

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
Tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Série (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço laminado	A-36 250Mpa	W	W200X35.9	72.000	196.204	505.281	0.329	0.923	0.935	2581.83	7243.30	7336.68
			W150X37.1	124.204			0.594			4661.47		
		VERG	VERG 7	309.077	0.012		93.37					
				309.077	0.012		93.37					
Aço dobrado	CF-26	C	C200X75X25X3.04	200.000	200.000	200.000	0.231	0.231	0.231	1812.84	1812.84	1812.84

Fonte: Relatório de projeto Cype Metálicas 3D

A figura 8 mostra a quantidade de material necessária e detalhada para a execução do projeto, considerando um valor total de perfis laminados e dobrados, 9.149,52 kg de aço seria necessária para execução.

Figura 09: Quantidade de material a pintar galpão em alma cheia

Perfis de aço: Quantitativos das superfícies a pintar					
Tipo	Série	Perfil	Superfície unitária (m²/m)	Comprimento (m)	Formas (m²)
Aço laminado	W	W200X35.9	1.050	72.000	75.571
		W150X37.1	0.924	124.204	114.739
	VERG	VERG 7	0.022	309.077	6.797
	Subtotal				197.108
Aço dobrado	C	C200X75X25X3.04	0.766	200.000	153.150
	Subtotal				153.150
<b>Total</b>					<b>350.258</b>

Fonte: Relatório de projeto Cype Metálicas 3D

Se comparamos o peso total do aço utilizados chegamos a uma conclusão de que o galpão em alma cheia necessita de mais aço, mas não é correto afirmar isso pois os perfis utilizados no galpão em alma cheia são mais robustos para atender as mesmas solicitações de cálculo do galpão em treliça, agora comparando a quantidade de peças utilizadas e de superfícies a serem pintadas o galpão em necessita de mais peças, assim a quantidade de superfícies a ser pintada supera as do galpão em alma cheia.

## 9 CUSTOS DE PERFIL E MÃO DE OBRA

## 9.1 Custos dos perfis

A avaliação dos custos foi feita baseada na cotação dos aços em empresas da região na época de estudo, e foram feitas com referência nos projetos.

Tabela 10: Valores dos perfis para o galpão em treliça

Perfil	Quantidade (kg)	Valor
Perfil Tipo H Laminado W150 X 22,5	1636,82	RS 5.401,51
Perfil Tipo C enrijecido C200 X 75 X 25 X 3,04	4504,82	RS 19.821,21
Cantoneira laminada abas iguais L2 X 1/4	1006,39	RS 4.015,50
Barra redonda lisa 1/4 VERG 7	91,88	RS 489,72
<b>Total</b>		<b>RS 29.727,93</b>

Fonte: O Autor

Tabela 11: Valores dos perfis para o galpão em alma cheia

Perfil	Quantidade (kg)	Valor
Perfil Tipo H Laminado W200 X 35,9	2581,83	RS 8.520,04
Perfil Tipo H Laminado W150 X 37,1	4661,47	RS 15.382,85
Perfil Tipo C enrijecido C200 X 75 X 25 X 3,04	1812,84	RS 7.976,50
Barra redonda lisa 1/4 VERG 7	93,37	RS 497,66
<b>Total</b>		<b>RS 32.377,05</b>

Fonte: O Autor

## 9.2 Custos de mão de obra

Foi realizada uma cotação na empresa Dixini Ferragens Engenharia e Projetos dos custos da mão de obra relacionado ao tempo médio de montagem das duas configurações de galpão.

Tabela 12: Custos de mão de obra para os galpões em treliça e alma cheia

Configuração do galpão	Horas Trabalhadas	Custo com encargos	Custo Mão de obra
Treliça	1100,32	15,45	RS 16.999,94
Alma cheia	606,83	15,45	RS 9.375,52

Fonte: O Autor

### 9.3 Comparação dos custos

Após feito os levantamentos de custos de perfis laminados e dobrados e de mão de obra para a construção dos dois tipos de perfis foi feita uma comparação onde mostra qual configuração de galpão e mais viável para a situação.

Tabela 13: Custos de mão de obra e material para os tipos de galpões

Configuração do galpão	Custo Material	Custo mão de obra	Total
Treliça	R\$ 29.727,93	R\$ 16.999,94	R\$ 46.727,87
Alma cheia	R\$ 32.377,05	R\$ 9.375,52	R\$ 41.752,57
Diferença			R\$ 4.975,30
Diferença (%)			10,65%

Fonte: O Autor

Como mostra na tabela 13, a utilização do galpão em alma cheia se torna mais viável devido ao tempo gasto na construção do galpão, que mostra uma redução de 10,65% do custo total do galpão em treliça.



## 10 CONCLUSÃO

Este trabalho proporcionou a oportunidade de aprofundar os estudos em projetos de estruturas metálicas, mostrando duas configurações de pórticos de um galpão que atende as mesmas necessidades, porém a forma de construção proporciona um custo mais baixo para uma das configurações.

A análise das diferentes configurações verificou o dimensionamento das estruturas, de acordo com as normas vigentes, e indicou o comportamento de cada estrutura estudada considerando as mesmas cargas. O dimensionamento mostrou que optar pela configuração de pórtico em alma cheia reduz o custo em 10,65%, atendendo as mesmas solicitações de carga e as necessidades do cliente.

Para cada situação existe uma maneira mais viável de construir uma edificação em estrutura metálica, a localização, o tipo de terreno, a finalidade da edificação, entre outros fatores definem as particularidades dos projetos, cabe a nós engenheiros analisarmos as melhores condições com custos reduzidos e garantir confiabilidade e segurança nos projetos.

Portanto, para este fim, ficou demonstrado que a utilização do galpão em alma cheia é mais viável devido ao custo da mão de obra para execução.

## REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.**- elaboração. Rio de Janeiro, 1987, 66 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.**- elaboração. Rio de Janeiro, 2008, 237 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.**- elaboração. Rio de Janeiro, 2010, 87 p.

BELLEI, Ildony H. **Edifícios de Múltiplos Andares em Aço.** São Paulo: Pini, 2004.

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

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução.** 5ed. LTC, São Paulo, 2002

CYPE Ingenieros S. A. **Novo Metal 3D: Manual do utilizador.** 1 ed. Braga, 2009. 29 p

PINHO, Fernando Ottoboni. **Galpões em Pórticos de Aço. Contagem: GUERDAU, 2000?**