



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

ENGENHARIA MECÂNICA

RICARDO MAURÍCIO DE OLIVEIRA

Galpão metálico

A viabilidade do projeto relacionada à tipologia da construção

**Conselheiro Lafaiete
2019**

RICARDO MAURÍCIO DE OLIVEIRA

Galpão metálico

A viabilidade do projeto relacionada à tipologia da construção

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof(a). Dr. MSc. Me. Esp.

**Conselheiro Lafaiete
2019**

RICARDO MAURÍCIO DE OLIVEIRA

Galpão metálico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Orientador(a) – FUPAC

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Avaliador(a) – FUPAC

Prof. Dr. MSc. Me. Esp. MBA Nome – Avaliador(a) – FUPAC

**Conselheiro Lafaiete
2019**

Dedicatória: texto geralmente curto, no qual o autor presta uma homenagem ou dedica o trabalho a alguém. Redigir o texto alinhado à direita, fonte 12, espaçamento entre linhas 1,5 (para texto com mais de cinco linhas), ou duplo (para texto com menos de cinco linhas), recuo de cinco centímetros da margem esquerda, posicionar texto na parte inferior da folha: 3 centímetros da margem inferior.

AGRADECIMENTOS

São menções, que o autor faz as pessoas e/ou instituições das quais eventualmente recebeu contribuição e que concorreram de maneira relevante para o desenvolvimento do trabalho.

Formatação: tamanho da fonte 12, texto alinhamento justificado, espaçamento entre linhas 1,5. Entre os parágrafos deixar uma linha em branco, se não utilizar recuo de 1,5 cm na primeira linha do parágrafo.

É a transcrição de um trecho em prosa ou composição poética que de certa forma embasou a construção do trabalho. Pode ser uma frase ou mesmo uma passagem que tenha servido de inspiração para o autor na elaboração do TCC. Formatação: fonte tamanho 12, normal, alinhado à direita, espaçamento entre linhas 1,5 (para texto com mais de cinco linhas), ou duplo (para texto com menos de cinco linhas), recuo de cinco centímetros da margem esquerda, posicionar texto na parte inferior da folha: 3 centímetros da margem inferior.

RESUMO

Redigir o texto em fonte 12, espaçamento simples. Descrever resumidamente o TCC, destacando seus aspectos de maior relevância, ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões. Deve ser composto de uma sequência de frases concisas, afirmativas e não de uma enumeração de tópicos. Utilizar verbo na voz ativa e na terceira pessoa do singular. O resumo deve ser redigido em parágrafo único e conter entre 150 a 500 palavras.

Palavras-chave: Definir de 3 a 5 palavras-chave, separadas por ponto.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 1 – Desenho do Perfil W	14
Figura 2 - Imagem de galpão com viga de alma cheia	17
Figura 3 - Imagem de galpão treliçado	18
Figura 4 - Imagem de galpão em arco	18
Figura 5 - Imagem de galpão em shed	19
Figura 6 - Imagem de galpão de uma água	19
Figura 7 - tela inicial do software visual ventos – fonte o próprio aluno	21

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Modelo de Gráfico	Erro! Indicador não definido.
-----------------------------------------------------	--------------------------------------

Lista de Quadros

Quadro 1 – Modelo de Quadro	Erro! Indicador não definido.
---------------------------------------------------	--------------------------------------

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A572 – Grau 50	14
Tabela 2 - Tabela tipos de perfis dobrado - Bellei (1998)	15
Tabela 3 – chapas finas de aço especificadas por normas brasileiras para uso estrutural	16
Tabela 4: Situação do estado limite para aço dobrado e em respeito à NBR 14762: 2010.	24
Tabela 5: Situação do estado limite para aço dobrado e em respeito à NBR 8800: 2008.	24
Tabela 6: Ações variáveis da ação do vento sem sismo.	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

FUPAC Faculdade Presidente Antônio Carlos

TCC Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE SÍMBOLOS

D_{ab} Distância euclidiana

SUMÁRIO

<u>1 INTRODUÇÃO</u>	12
<u>1.1 Objetivos</u>	13
<u>1.1.1 Objetivo Geral</u>	13
<u>1.1.2 Objetivos Específicos</u>	13
<u>1.2 Justificativa</u>	13
<u>2 REVISÃO DA LITERATURA</u>	14
<u>2.1 Tipos de perfil e seus aços</u>	14
<u>2.1.1 Perfil de alma cheia, perfil W, aço ASTM A572 – Grau 50</u>	14
<u>2.1.1 Perfil de chapa dobrada, perfil C, aço ASTM A36 – Grau CF 24</u>	15
<u>2.2 Principais tipologias de galpões industriais</u>	17
<u>2.2.1 Galpão de 02 (duas) águas</u>	17
<u>2.2.1.1 Galpão de 02 (duas) águas, com viga de cobertura de alma cheia</u>	17
<u>2.2.1.2 Galpão de 02 (duas) águas, com viga de cobertura treliçada de perfil dobrado</u>	18
<u>2.2.2 Outras tipologias de galpões</u>	18
<u>2.3 Software Cype Metalicas 3D</u>	19
<u>2.4 Software Visual Ventos</u>	20
<u>2.5 Normas consideradas no projeto:</u>	21
<u>2.6 Categoria de uso:</u>	22
<u>2.7 Estados limites:</u>	22
<u>2.8 Situações de projeto:</u>	22
<u>2.9 Fórmulas utilizadas para verificação estrutural:</u>	25
<u>2.9.1 Elemento: Alma (ABNT NBR 14762:2010)</u>	25
<u>2.9.2 Limitação de esbeltez (ABNT 14762 : 2010 – Artigo 9.7.4)</u>	25
<u>2.9.3 Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)</u>	26
<u>2.9.4 Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)</u>	26
<u>2.9.5 Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)</u>	27
<u>2.9.6 Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)</u>	28
<u>2.9.7 Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)</u>	28
<u>2.9.8 Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)</u>	29
<u>2.9.9 Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)</u>	29

<u>2.9.10 Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)</u>	30
<u>2.9.12 Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)</u>	30
<u>3 METODOLOGIA DA PESQUISA</u>	31
<u>3.1 Delineamento da Pesquisa</u>	31
<u>3.2 Coleta e Análise dos Dados</u>	31
<u>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS</u>	32
<u>5 CONCLUSÕES</u>	33
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	34
<u>APÊNDICES</u>	35
<u>ANEXOS</u>	36

1 INTRODUÇÃO

A construção metálica tem crescido muito nos últimos anos, devido ao seu preço e tempo de entrega. As características mecânicas do aço despertam grande interesse para os mais variados tipos de construção desde mezaninos a grandes edifícios, e no Brasil a tendência se torna mais atuante devido o país ser um grande produtor deste material.

Em grande maioria, os projetistas mecânicos buscam cada dia mais a economia no peso do aço para a fabricação de estruturas. Com o avanço da tecnologia os programas de dimensionamento estão mais dinâmicos e inteligentes, fazendo com que o peso do projeto fique mais baixo. Porém o cliente busca a economia como um todo, não apenas na compra de material, mas principalmente na execução, ou seja, na mão de obra, nos consumíveis e nos equipamentos que serão utilizados na execução. O peso da estrutura é muito importante, mas a mão de obra se torna o que mais consome o valor da execução do projeto.

Para estudarmos e verificarmos um projeto completo, desde sua concepção até o valor da execução, dimensionaremos 2 (dois) galpões iguais, com medidas de 25 x 50 metros, com materiais distintos, o perfil de alma cheia e o perfil de chapa dobrada, este com a montagem de treliça, estas duas tipologias são as mais comuns usadas em galpões industriais, elas exercem a mesma funcionalidade e todas as duas com a mesma arquitetura externa, o que difere elas é a altura interna, já que a treliça utiliza um espaço maior em sua concepção.

Segundo Leet (2009) a ação estrutural de muitas treliças é semelhante à de uma viga. Aliás, a treliça frequentemente pode ser considerada como uma viga da qual o material excedente foi removida para reduzir o peso.

E no fim deste estudo iremos comparar as estruturas e chegar a uma conclusão para um projeto com estas dimensões, verificando assim qual o tipo de estrutura se torna mais viável financeiramente.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar duas tipologias de construção de galpão industrial, analisando seu projeto como um todo desde a concepção estrutural até a mão de obra para a execução e verificando a ideal economicamente.

1.1.2 Objetivos Específicos

Dimensionar um galpão industrial, usando perfil de alma cheia.

Dimensionar um galpão industrial, usando perfil de chapa dobrada, em forma de treliça.

Fazer levantamento de custo para a fabricação e montagem de ambas as tipologias do galpão.

1.2 Justificativa

Este trabalho trará uma visão mais abrangente de um projeto estrutural metálico, fazendo com que o cliente veja toda sua construção e tenha uma melhor direção quando for construir um galpão, analisando as tipologias que podem compor o galpão e viabilizando a arquitetura pretendida, e comprando a viabilidade financeira de sua construção.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este estudo para dimensionamento de galpão terá uma comparação de 02 (duas) tipologias de construção, usando em cada, um tipo diferente de aço, Descrição de estudos já realizados sobre o tema do TCC.

2.1 Tipos de perfil e seus aços

2.1.1 Perfil de alma cheia, perfil W, aço ASTM A572 – Grau 50

Segundo Tetraferro (2015) o perfil W é produzido com aço estrutural que segue normas nacionais e estrangeiras, como a ASTM (American Society for Testing and Materials) este material é altamente resistente, sendo uma solução para a construção.

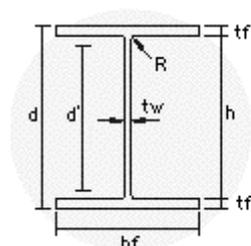
De acordo com Gerdau (2018) o aço ASTM A 572 – Grau 50 é um aço de baixa liga e alta resistência utilizado em estruturas metálicas objetivando a diminuição de peso. O perfil W tem as seguintes propriedades mecânicas:

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do aço ASTM A572 – Grau 50

Propriedades mecânicas do aço ASTM A572 - Grau 50	
Limite de escoamento (Mpa)	345
Limite de resistência (Mpa)	450
Alongamento após ruptura, % (Comprimento = 200 mm)	18

Fonte: Gerdau (s/d), adaptado pelo autor

Figura 1 – Desenho do Perfil W



Perfis I e H

d = altura externa do perfil
d' = altura livre da alma
h = altura interna
bf = largura da aba
tf = espessura da aba
tw = espessura da alma
R = raio da concordância

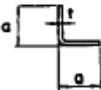
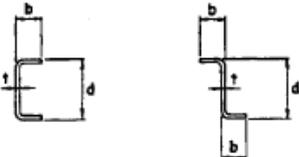
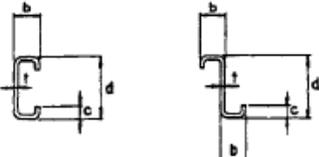
Fonte: metalica (2019).

2.1.1 Perfil de chapa dobrada, perfil C, aço ASTM A36 – Grau CF 24

“Estes produtos, conformados a frio, estão sendo aplicados de forma crescente na execução de estruturas leves e, também, para terças e vigas de tapamento de qualquer tipo de estrutura” (Belei, Ildony Hélio – 1998, p.18).

Segundo Belei (1998, p.19) a tabela cita os principais tipos de perfis de chapa dobrada, dentre muitos outros existentes.

Tabela 2 - Tabela tipos de perfis dobrado - Bellei (1998)

Tipo	Dimensões (mm)	Designação (exemplo)
	$a = 50 \text{ a } 100$ $t = 1,5 \text{ a } 5,0$	$a \times t$ L 50 x 2,25
	$d = 50 \text{ a } 200$ $t = 1,5 \text{ a } 5,0$	$d \times b \times t$ U 100 x 50 x 3,0
	$d = 50 \text{ a } 300$ $t = 1,5 \text{ a } 5,0$	$d \times b \times c \times t$ Z 100 x 50 x 20 x 2,0

Fonte: Bellei (1998), adaptado pelo autor

De acordo com Silva (2014, p.15) é recomendado que:

O uso de aços com qualificação estrutural e que possuam propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Devem apresentar a relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento, F_u/F_y , maior ou igual a 1,08, e o alongamento após ruptura não deve ser menor que 10% para base de medida igual a 50 mm ou 7% para base de medida igual a 200 mm, tomando-se como referencia os ensaios de tração conforme ASTM A370.

Tabela 3 – chapas finas de aço especificadas por normas brasileiras para uso estrutural

Especificação	Grau	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ABNT NBR 6649 /	CF-24	240	400
ABNT NBR 6650	CF-26	260/260	400/410
Chapas finas (a frio/a quente) de aço-carbono	CF-28	280/280	440/440
	CF-30	---/300	---/490
ABNT NBR 5004 Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica	F-32/Q-32	310	410
	F-35/Q-35	340	450
	Q-40	380	480
	Q-42	410	520
ABNT NBR 5920 /	CFR 400	---/250	---/380
	ABNT NBR 5921	CFR 500	310/370
Chapas finas e bobinas finas (a frio/a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica			
ABNT NBR 7008 / ABNT NBR 7013 / ABNT NBR 14964 Chapas finas e bobinas finas com revestimento metálico	ZAR 250	250	360
	ZAR 280	280	380
	ZAR 320	320	390
	ZAR 345	345	430
	ZAR 400	400	450

Fonte: Estruturas compostas por perfis formados a frio (2014, p.18)

2.2 Principais tipologias de galpões industriais

A variação de tipologias cresce a cada dia, será citado aqui as tipologias mais usadas.

2.2.1 Galpão de 02 (duas) águas

Segundo Silva (2014, p.10) galpões são construídos de colunas espaçadas com cobertura na parte superior e, as vezes, também nas laterais, se estendendo por grandes áreas e destinados aos mais variados fins.

2.2.1.1 Galpão de 02 (duas) águas, com viga de cobertura de alma cheia

Figura 1 - Imagem de galpão com viga de alma cheia



Fonte: portalmetalica (2019).

De acordo com Belei (p.111) apesar de ser um dos tipos mais antigos, possivelmente ainda é o sistema mais barato de construção de galpões.

Segundo Gerdau (s/d) as concepções de alma cheia são as mais limpas, com menor número de elementos, de fabricação mais fácil, de montagem mais rápida, de manutenção mais simples, mas consomem mais aço. Como consomem muito menos serviços para a sua execução e os custos finais são competitivos, são indicadas para galpões pequenos e médios.

2.2.1.2 Galpão de 02 (duas) águas, com viga de cobertura treliçada de perfil dobrado

Figura 2 - Imagem de galpão treliçado



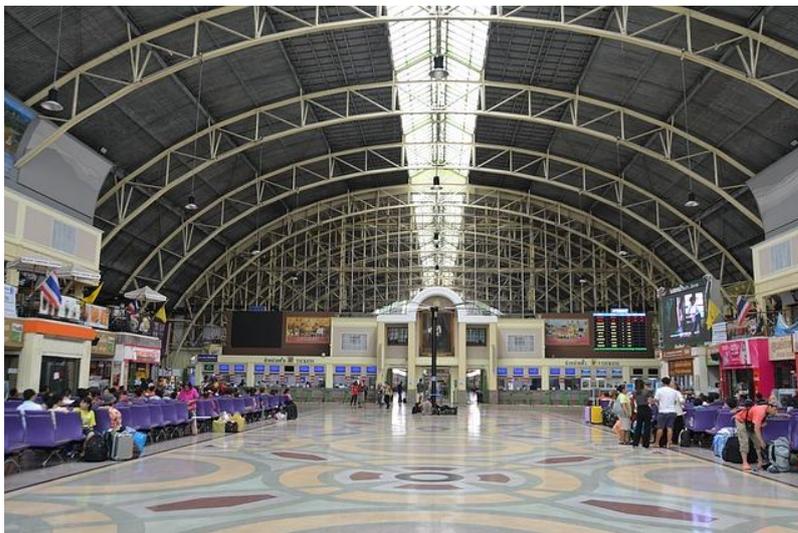
Fonte: metalconcept (2019).

De acordo com Silva (2014, p.14) a construção pré-fabricada com este tipo de perfis possui um tempo reduzido de execução, possui leveza, facilidade de fabricação, de manuseio e de transporte, facilitando e diminuindo o custo.

2.2.2 Outras tipologias de galpões

- Galpão em arco

Figura 4 - Imagem de galpão em arco



Fonte: engenhariaconcreta (2019)

- Galpão Shed

Figura 5 - Imagem de galpão em shed



Fonte: habitissimo (2019)

- Galpão de uma água

Figura 6 - Imagem de galpão de uma água



Fonte: galpoes.net (2019).

2.3 Software Cype Metalicas 3D

Segundo o site da empresa Multiplus, que é representante do software no Brasil, o Cype Metálicas 3D é:

O Metálicas 3D é um software para cálculo estrutural e dimensionamento de elementos estruturais metálicos, estruturas de alumínio e estruturas de madeira.

Possui uma entrada de dados gráfico fácil, onde o usuário pode desenhar a estrutura com um prático comando de cotas. Basta informar as dimensões do projeto ou importar um desenho feito em qualquer software CAD (arquivos dwg ou dxf) e as linhas do desenho serão transformadas em barras, sem a necessidade de redesenhar toda a estrutura.

O programa contém uma ampla biblioteca de perfis com os principais fabricantes brasileiros cadastrados, além de permitir a edição e o cadastro de novos perfis dentro de séries existentes.

Através do cálculo automático dos coeficientes de flambagem, o software determina automaticamente, em função dos nós da estrutura, os valores mais apropriados, inclusive para estruturas complexas, permitindo ao engenheiro adotar o coeficiente que achar mais adequado.

Após o cálculo da estrutura, o software Metálicas 3D gera um relatório com todas as barras que não satisfazem alguma verificação conforme a norma escolhida e indica qual perfil seria o correto para aquela situação.

Com o recurso de redimensionamento o software altera automaticamente todas as barras que não estão "passando", dimensionando assim uma estrutura com o menor peso possível.

O software trabalha com as seguintes normas:

ABNT NBR 7190:1997 – Projeto de estruturas de madeira.

ABNT NBR 14762:2010 Estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

ABNT NBR 8800:2008 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas.

ABNT NBR 8681:2003 Ações e segurança nas estruturas – Procedimento.

ABNT NBR 6120:1980 Cargas para o cálculo de estruturas em edificações.

ABNT NBR 6123:1988 Forças devido ao vento em edificações.

ABNT NBR 15200:2012 Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio.

AISC ASD 89 American Institute of the Steel Construction.

AISI 2007 – American Iron and Steel Institute.

Fonte www.multiplus.com/software/metalicas-3d – Acesso em 13/05/19.

2.4 Software Visual Ventos

Segundo Jacob (2019), excelente programa para extrair esforços devido ao vento em edificações de 2 águas. Software muito intuitivo para quem conhece a norma NBR6123 e sabe inserir os dados corretamente. Seus relatórios também são completos e apresentam muitas figuras e diagramas sustentando a memória de cálculo. Segue a linha de raciocínio exposta na norma e gera resultados muito úteis, gerando esforços os pórticos como carga distribuída.

VisualVentos

Ler Arquivo Gravar Arquivo Sair Notações Ajuda Sobre o Programa

Geometria

Dimensões

Medidas

b 30 m a 50 m h 6 m Distância entre pórticos p 6 m

b1 12.00 m a1 12.00 m a2 13.00 m β 7.59 ° h1 2 m

Confirmar

Área das aberturas

Face	Fixa	Móvel
A1	0 m ²	0 m ²
A2	0 m ²	0 m ²
A3	0 m ²	0 m ²
B1	0 m ²	0 m ²
B2	0 m ²	0 m ²
B3	0 m ²	0 m ²
C1	0 m ²	0 m ²
C2	0 m ²	0 m ²
D1	0 m ²	0 m ²
D2	0 m ²	0 m ²

Continuar →

Fonte: Etools (2019)

2.5 Normas consideradas no projeto:

Aços dobrados: ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

Aços laminados e soldados: ABNT NBR 8800:2008 – Dimensionamento de elementos de perfis de aço laminados e soldados.

Telhas trapezoidais: NBR14514 RT40/1020 – Padrão de telhas trapezoidais.

Ações do vento em edificações: NBR 6123:1988 – Forças devido ao vento em edificações.

ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento.

2.6 Categoria de uso:

Para a categoria de uso definimos com: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens, por possuir maior fator de segurança e capacidade de carregamento.

2.7 Estados limites:

A verificação E.L.U (Estados Limites Últimos), ou seja, é a máxima capacidade cortante da estrutura, sua simples ocorrência determina a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção.

São exemplos:

- a) Perda de equilíbrio como corpo rígido: tombamento, escorregamento ou levantamento;
- b) Resistência ultrapassada: ruptura do concreto;
- c) Escoamento excessivo da armadura: $\epsilon_s > 1,0\%$;
- d) Aderência ultrapassada: escorregamento da barra;
- e) Transformação em mecanismo: estrutura hipostática;
- f) Flambagem;
- g) Instabilidade dinâmica – ressonância;
- h) Fadiga – cargas repetitivas.

Todas as verificações atuaram de acordo com as normas mencionadas na tabela abaixo:

Deslocamentos / Ações características:

- E.L.U. Aço dobrado / NBR 14762:2010
- E.L.U. Aço laminado / NBR 8800:2008

2.8 Situações de projeto:

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios:

-Com coeficientes de combinação

É aplicado quando existem as combinações de forças, cargas e deslocamentos em mais de um sentido.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{Qi} Q_{ki}$$

-Sem coeficientes de combinação

É aplicado quando as forças, cargas e deslocamentos existem somente em um sentido.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} Q_{ki}$$

-Onde:

G_k = ação permanente

Q_k = ação variável

γ_G = coeficiente parcial de segurança de segurança das ações permanentes

$\gamma_{Q, 1}$ = coeficiente parcial de segurança da ação variável principal

$\gamma_{Q, i}$ = coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento

$\Psi_{p, i}$ = coeficiente de combinação da ação variável principal

$\Psi_{a, 1}$ = coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento

Para cada situação de projeto e estado limite, os coeficientes a utilizar serão: E.L.U. Aço dobrado: ABNT NBR 14762: 2010, onde encontra-se os coeficientes parciais de fator de segurança e combinação para carga permanente, sobrecarga e ações do vento, conforme indicados na tabela 1e NBR 8800:2008, conforme indicado na tabela 4.

Tabela 4: Situação do estado limite para aço dobrado e em respeito à NBR 14762: 2010.

Normal				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	1.000	1.250	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.800
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600

Fonte: ABNT NBR 14762:2010 – adaptada pelo aluno

Tabela 5: Situação do estado limite para aço dobrado e em respeito à NBR 8800: 2008.

Situação 1				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	0.900	1.400	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.650
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600

Fonte: ABNT NBR 8800:2008 – adaptada pelo aluno

Deslocamentos:

Para este projeto não foi considerado situação de sismo, pois em nosso país não se aplica essa condição. Abaixo, na tabela 3 de ações variáveis sem a condição de sismo.

Tabela 6: Ações variáveis da ação do vento sem sismo.

Ações variáveis sem sismo		
	Coeficientes parciais de segurança (γ)	
	Favorável	Desfavorável
Permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000
Vento (Q)	0.000	1.000

Fonte: ABNT NBR 8800:2008 – adaptada pelo aluno

2.9 Fórmulas utilizadas para verificação estrutural:

2.9.1 Elemento: Alma (ABNT NBR 14762:2010)

Para cálculo da alma devemos considerar o comprimento do elemento dividido pela espessura e esse valor tem que ser inferior a 500, conforme demonstrado:

$$\frac{b}{t} \leq 500$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010

Sendo:

b = comprimento do elemento

t = espessura

Elemento: Alma

Em elementos comprimidos com ambas as bordas vinculadas a elementos AA, a relação largura-espessura não deve ultrapassar o valor de 500, conforme:

$$\frac{b}{t} \leq 500$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010

2.9.2 Limitação de esbeltez (ABNT 14762 : 2010 – Artigo 9.7.4)

O índice de esbeltez λ das barras comprimidas não deve exceder o valor de 200, conforme fórmula:

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r}$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010 – Artigo 9.7.4

Onde:

$K_x L_x$ = comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X.

$K_y L_y$ = comprimento de flambagem por flexão em relação ao eixo Y.

r_x = raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal X.

r_y = raio de giração da seção bruta em relação ao eixo principal Y.

2.9.3 Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)

A verificação não será executada, já que não existe esforço axial de tração.

2.9.4 Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)

A fórmula usada para resistência à compressão deve ser calculada conforme:

$$\eta = \frac{N_c, Sd}{N_c, Rd} \leq 1$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010 – artigo 9.7

N_c, Sd = Força normal de compressão solicitante de cálculo

N_c, Rd = Força normal de compressão resistente de cálculo

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ deve ser tomada como:

$$N_{c, RD} = \frac{\chi A_{nf} f_y}{\gamma}$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7

Sendo:

N_e = força normal de flambagem elástica da barra, conforme item 9.7.2

A = área bruta da seção transversal da barra

f_y = tensão de escoamento

γ = coeficiente de ponderação

A força normal de flambagem elástica N_e é o menor valor entre os obtidos por a), b) e c):

a) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo X

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7

b) Força normal de flambagem elástica por flexão em relação ao eixo Y

$$N_{ey} = (\pi^2 EI_y) / (K_y L_y)^2$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7

c) Força normal de flambagem elástica por torção

Não é necessário, dado que o comprimento efetivo de flambagem por torção, $K_t L_t$, é nula

Onde:

I_x : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo X

I_y : Momento de inércia da seção bruta em relação ao eixo Y

E: Módulo de elasticidade

$K_x L_x$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo X

$K_y L_y$: Comprimento efetivo de flambagem por flexão em relação ao eixo Y

2.9.5 Resistência à flexão eixo X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Para resistência a flexão no eixo X, deve-se utilizar a fórmula indicada:

E deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor calculado em a) y b):

Início de escoamento da la seção efetiva (9.8.2.1)

$$M_{Rd} = \frac{W_{af} \cdot f_y}{\gamma}$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com γ calculada para o estado limite último de escoamento da seção.

f_y : Tensão de escoamento.

γ : Coeficiente de ponderação das resistências

b) Flambagem lateral com torção (9.8.2.2)

Não procede, pois o comprimento efetivo de flambagem lateral por torção $K_t L_t$ e os comprimentos efetivos de flambagem lateral $K_y L_y^{pos}$ e $K_y L_y^{neg}$ são nulos.

2.9.6 Resistência à flexão eixo Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)

Para resistência a flexão no eixo Y, deve-se utilizar a fórmula no item 2.9.5.

Deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como:

$$M_{Rd} = \frac{W_{af} \cdot f_y}{\gamma}$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2

Onde:

W_{ef} : Módulo de resistência elástico da seção efetiva, calculado com base nas larguras efetivas dos elementos, conforme 9.2, com γ calculada para o estado limite último de escoamento da seção

f_y : Tensão de escoamento

γ : Coeficiente de ponderação das resistências

2.9.7 Resistência ao esforço cortante X (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Para resistência ao esforço cortante X, deve-se utilizar a fórmula no item 2.9.6.

E deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{wSD}}{V_{Rd}} \leq 1$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3

A força cortante resistente de cálculo da alma VRd deve ser calculada por:

para

para

para

Onde:

t: Espessura da alma

h: Largura da alma

fy: Tensão de escoamento

E: Módulo de elasticidade

g: Coeficiente de ponderação das resistências

KV: Coeficiente de flambagem local por cisalhamento, que para a alma sem enrijecedores transversais é dado por:

Ky: 5,00

2.9.8 Resistência ao esforço cortante Y (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)

Para resistência ao esforço cortante Y, deve satisfazer:

$$\eta = \frac{V_{wSD}}{V_{Rd}} \leq 1$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3

2.9.9 Resistência ao momento fletor X e esforço cortante Y combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo devem satisfazer à seguinte expressão de interação indicada a seguir:

$$\eta = \left(\frac{M_{Sd}}{M_{oRD}} \right)^2 + \left(\frac{V_{SD}}{V_{oRD}} \right)^2$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4

Onde:

M_{Sd}: Momento fletor solicitante de cálculo

M_{0,Rd}: Momento fletor resistente de cálculo conforme 9.8.2.1.

V_{sd} : Força cortante solicitante de cálculo

V_{Rd} : Força cortante resistente de cálculo conforme 9.8.3.

2.9.10 Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Para resistência ao flexo-compressão, temos a seguinte fórmula:

$$\eta = \frac{N_{cSD}}{N_{Rd}} + \frac{M_{xSD}}{M_{xRD}} + \frac{M_{ySD}}{M_{yRD}} \leq 1$$

Fonte: ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9

Onde:

$N_{c,Sd}$: Força normal de compressão solicitante de cálculo.

$M_{x,Sd}$, $M_{y,Sd}$: Momentos fletores solicitantes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente.

$N_{c,Rd}$: Força normal de compressão resistente de cálculo, conforme 9.7.

$M_{x,Rd}$, $M_{y,Rd}$: Momentos fletores resistentes de cálculo em relação aos eixos X e Y, respectivamente, calculados conforme 9.8.2.

2.9.11 Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)

Não há interação entre o esforço axial de tração e o momento fletor para nenhuma combinação. Assim a verificação não será executada.

2.9.12 Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Para resistência à flexo-compressão, deve satisfazer:

$$\eta = \frac{M_{TSd}}{M_{TRd}} \leq 1$$

Fonte: Software Cype Ingenieros

O momento torsor resistente de cálculo $M_{t,Rd}$ é dado por:

$$M_{tRd} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot W_t}{\gamma}$$

Onde:

W_t : módulo de resistência à torção

f_y : Tensão de escoamento

γ : Coeficiente de ponderação das resistências

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada através de estudos bibliográficos, em livros de dimensionamento de estruturas e através da normatização brasileira e também grande parte através de conhecimentos empíricos, pois o valor da mão de obra no final deste se dá através de orçamento feito por profissionais com larga experiência em fabricação e montagem de galpões metálicos.

3.1 Delineamento da Pesquisa

A pesquisa foi realizada em uma empresa de projetos na qual o autor é um dos colaboradores sendo desta forma escolhida devido a acessibilidade e tem como objetivo: Comparar economicamente duas tipologias de construção de galpão industrial sendo: Um galpão industrial, usando perfil de alma cheia. E um galpão industrial, usando perfil de chapa dobrada, em forma de treliça.

A pesquisa é considerada um estudo de caso, bibliográfica, documental e descritiva, onde descreve sobre a elaboração do projeto de galpão utilizando dois tipos de estruturas.

3.2 Coleta e Análise dos Dados

- Os dados foram coletados inicialmente através de literaturas onde é apresentado a forma e os métodos de cálculo de estruturas. Os cálculos foram realizados utilizando a normatização nacional.
- Os dados serão colocados em software para o dimensionamento final do projeto

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Analisar os dados para obter resultados de forma a alcançar os objetivos: geral e específicos. Neste item, deve-se fazer uso do referencial teórico para contrapor aos dados buscados na realidade.

5 CONCLUSÕES

As conclusões e considerações finais consistem na descrição resumida dos dados analisados no capítulo “Apresentação e Análise de Resultados”, ressaltando os principais resultados colhidos em campo.

Neste item o autor deve estar apto a responder positivamente às questões abaixo:

- O autor demonstra como os objetivos específicos e geral foram alcançados?
- O autor faz recomendações para a empresa/setor?

Além disso, o autor deve resumir os principais resultados da pesquisa de campo, elaborar um quadro ou lista das principais sugestões para a empresa/setor pesquisado, realizada e apontar estudos futuros, que podem se desenvolver à partir do estudo de campo desenvolvido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bellei, I. Hélio, Edifícios industriais em aço – Projeto e cálculo – (1998, p.19).

Leet, Kenneth M, Livro Fundamentos da análise estrutural – terceira edição – AMGH editora Ltda. – 2009

.Tetraferro.com.br – acesso em 2019.

Gerdau.com.br – acesso em 2019.

Silva, Edson Lubas – Manual da construção em aço – Estruturas compostas por perfis formados a frio – 2014.

Galpões em pórticos de aço-Fernando Ottoboni Pinho (s/d, p1).

Multiplus.com – acesso em 2019.

Jacob, Felipe - calculistadeaço.com.br – acesso em 19/05/19 às 21:43 h.

ABNT NBR 14762:2010 – Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – acesso em 2019.

ABNT NBR 8800:2008 – Dimensionamento de elementos de perfis de aço laminados e soldados – acesso em 2019.

NBR14514 RT40/1020 – Padrão de telhas trapezoidais – acesso em 2019.

NBR 6123:1988 – Forças devido ao vento em edificações – acesso em 2019.

ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento – acesso em 2019.

É a lista de materiais citados pelo autor no corpo do texto. As referencias devem ser listadas em ordem alfabética do último sobrenome do autor. O espaçamento entre linhas é simples e entre si por espaço duplo (NBR 6023, 2002).

APÊNDICES

Elemento pós-textual que se constitui em documentos e textos elaborados pelo autor, que servem de comprovação para a argumentação do texto.

ANEXOS

Elemento pós-textual que se constitui em documentos e textos existentes, que servem de comprovação para a argumentação do texto.