



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA, EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA DO ESTADO
DO TOCANTINS – CAMPUS PALMAS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

JOÃO VITOR SILVA PACHECO BERNHARD

**ANÁLISE COMPARATIVA DE GALPÕES METÁLICOS COM FECHAMENTO
LATERAL**

**PALMAS
2023**

JOÃO VITOR SILVA PACHECO BERNHARD

**ANÁLISE COMPARATIVA DE GALPÕES METÁLICOS COM FECHAMENTO
LATERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins – Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo
e Silva

**PALMAS
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

B527a Bernhard, João Vitor Silva Pacheco
ANÁLISE COMPARATIVA DE GALPÕES METÁLICOS COM
FECHAMENTO LATERAL / João Vitor Silva Pacheco Bernhard. –
Palmas, TO, 2023.
183 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva
Coorientador: Esp. Itano Arruda Nunes Neto

1. Coberturas Metálicas. 2. Galpões Metálicos. 3. Fechamento
Lateral. I. Dias de Araújo e Silva, Thiago. II. Arruda Nunes Neto,
Itano. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).

JOÃO VITOR SILVA PACHECO BERNHARD

**ANÁLISE COMPARATIVA DE GALPÕES METÁLICOS COM FECHAMENTO
LATERAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins – Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
bacharelado.

Aprovado em: 02/11/2023

BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva

IFTO – *Campus Palmas*

Documento assinado digitalmente
 **GILSON MARAFIGA PEDROSO**
Data: 03/11/2023 12:57:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso

IFTO – *Campus Palmas*

Documento assinado digitalmente
 **ITANO ARRUDA NUNES NETO**
Data: 02/11/2023 13:30:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Especialista Itano Arruda Nunes Neto

RESUMO

O uso de estruturas metálicas tem apresentado um crescimento contínuo no país, especialmente em obras industriais. Devido a essa tendência, essa pesquisa foi conduzida para realizar uma análise comparativa de concepções estruturais relacionadas à cobertura de galpões metálicos. O objetivo foi dimensionar essas concepções usando ferramentas computacionais e seguindo as diretrizes das normas ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 8800:2008, a fim de realizar uma análise de peso estrutural. Para isso, foram descritos as particularidades e o dimensionamento das estruturas metálicas de galpões, além de determinar e dimensionar diferentes concepções estruturais de suas coberturas. Os resultados obtidos nos dimensionamentos foram avaliados para determinar quais concepções apresentam o melhor aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural global. A pesquisa teve uma finalidade aplicada, com objetivo descritivo e exploratório, utilizando o método hipotético-dedutivo e uma abordagem quantitativa-qualitativa. Foram realizados levantamentos bibliográficos, análise documental e um estudo de caso experimental sobre coberturas de galpões metálicos. Os resultados indicaram que, para as cargas consideradas, as coberturas de galpões com treliça de banzos paralelos engastada nos pilares apresentam maior peso estrutural, mesmo variando os pilares em alma cheia, de concreto e treliçados. Por fim pilares com treliça trapezoidal apoiada no pilar, apresentam o maior aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural, mas com a ressalva de que para vãos transversais de até 20 metros e altura de 6 metros, pilares treliçados tiveram um peso global menor em comparação com pilares em alma cheia. Para vãos maiores que 20 metros e pilares mais altos que 6 metros, pilares em alma cheia tornam-se a opção mais vantajosa em termos de custo-benefício, desde que dimensionada de acordo com as normas vigentes.

Palavras-chave: Coberturas Metálicas. Pilares. Dimensionamento. Galpão. Fechamento Lateral.

ABSTRACT

The use of metallic structures has shown continuous growth in the country, especially in industrial works. Due to this trend, this research was conducted to carry out a comparative analysis of structural designs related to the roof of metal warehouses. The objective was to size these designs using computational tools and following the guidelines of ABNT NBR 14762:2010 and ABNT NBR 8800:2008, in order to carry out a structural weight analysis. To this end, the particularities and dimensioning of the metal structures of warehouses were described, in addition to determining and sizing different structural designs of their roofs. The results obtained in the sizing were evaluated to determine which designs provide the best use of the profiles and the lowest overall structural weight. The research had a specifically applied research, with a descriptive and exploratory objective, using the hypothetical-deductive method and a quantitative-qualitative approach. Bibliographical surveys, documentary analysis and an experimental case study on metal warehouse roofs were carried out. The results indicated that, for the loads considered, the roofs of warehouses with a lattice of parallel benches embedded in the pillars present greater structural weight, even varying the full core, concrete and lattice pillars. Finally, pillars with a trapezoidal lattice reinforced in the pillar, present the greatest use of profiles and lower structural weight, but with the exception that for transverse spans of up to 20 meters and a height of 6 meters, lattice pillars had a lower overall weight compared to pillars in a full soul. For spans greater than 20 meters and columns higher than 6 meters, full-core columns become a more advantageous option in terms of cost-benefit, as long as they are sized in accordance with current standards.

Keywords: Metal roofing. Pillars. Sizing. Shed. Side Closure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cobertura espacial metálica – Palmas - TO.....	21
Figura 2 - Edifício de múltiplos andares – Porto Atlântico Leste.....	21
Figura 3 - Ponte em estrutura metálica – Hercílio Luz.....	22
Figura 4 - Silos metálicos	22
Figura 5 - Reservatórios metálicos	23
Figura 6 - Estrutura em aço	25
Figura 7 - Estrutura mista com laje mista	26
Figura 8 - Estrutura Híbrida	27
Figura 9 - Diagrama Tensão X Deformação do aço	31
Figura 10 - Exemplo de perfil tipo I soldado	33
Figura 11 - Perfis usuais laminados	34
Figura 12 - Flambagem local e flambagem distorcional	36
Figura 13 - Perfis dobrados a frio	36
Figura 14 – Classificação de quanto ao sistema estrutural	38
Figura 15 - Edifício industrial com colunas e vigas de alma cheia.....	39
Figura 16 - Edifício com sistemas de coberturas treliçados	39
Figura 17 - Edifício industrial com coluna de alma cheia e viga de rolamento	40
Figura 18 - Edifício com colunas treliçados e vigas de rolamento	40
Figura 19 - Edifício industrial com duas águas, geminado	41
Figura 20 - Edifício industrial com quatro meias-águas, geminado	41
Figura 21 – Treliça plana espacial.....	42
Figura 22 - Cobertura em arco treliçado	42
Figura 23 - Galpão tipo Shed com vigas mestras treliçadas	43
Figura 24 – Arranjo estrutural típico de um galpão industrial considerado leve	44
Figura 25 - Demonstrativo de peças componentes de galpão com descrição	45
Figura 26 - Visão das terças e tirantes em corte transversal.....	46
Figura 27 - Terças com linhas de corrente e tirantes	46
Figura 28 - Os tipos de perfis mais empregados	47
Figura 29 - Visão em perspectiva de terças de fechamento lateral com chapas.....	48
Figura 30 - Aplicação de mãos-francesas nas terças.....	49
Figura 31 - Detalhe qualitativo de montagem de terças com mãos francesas	49
Figura 32 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em coberturas	50

Figura 33 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em tapamento lateral	51
Figura 34 - Distribuição das cargas de vento pelos contraventamentos e vigas	52
Figura 35 - Contraventamentos horizontais em cobertura de galpão	53
Figura 36 - Perfis usados em contraventamento	53
Figura 37 - Formatos de desenhos de treliça com nome de seu criador	54
Figura 38 - Treliça trapezoidal	56
Figura 39: Treliça Triangular.....	56
Figura 40 - Treliça especial de banzos paralelos com tirante.....	57
Figura 41 - Detalhe de pilar com ligação ao bloco de concreto por chumbadores ...	57
Figura 42 - Perfis em alma cheia.....	58
Figura 43 - Galpões com pilares em alma cheia	58
Figura 44 - Galpões com pilares treliçados	59
Figura 45 - Fases de um pilar em concreto em construção.....	61
Figura 46 - Galpão com pilares em concreto.....	61
Figura 47 - Tipos de ligação em estrutura	63
Figura 48 - Tipos de ligações soldadas, segundo a posição relativa das peças	65
Figura 49 - Posição de soldagem com eletrodos.....	65
Figura 50 - Nó de treliça com ligação soldada.....	66
Figura 51 – Ligação parafusada de terças e mão francesa.....	67
Figura 52 – Ligação parafusada de viga e coluna	67
Figura 53 – Chumbador pré-concreto.....	69
Figura 54 – Chumbador com parafusos transpassantes	69
Figura 55: Diagrama elástico.....	71
Figura 56 – Diagrama elastoplástico	72
Figura 57 - Mapa das velocidades básicas de vento limitados por isopletas.....	77
Figura 58 - Valores dos coeficientes de ponderação para ações permanentes	80
Figura 59 - Valores dos coeficientes de ponderação para ações variáveis	81
Figura 60 - Valores dos fatores de combinação e redução	82
Figura 61 - Deslocamentos máximos em terças e travessas de fechamento.....	91
Figura 62 - Anexo A da NBR 14672– Tabela A.1–Deslocamentos máximos	92
Figura 63 – Coeficientes de pressão e formas externos	97
Figura 64 - Modelo 01 - Treliça especial de banzos paralelos engastada no pilar .	102
Figura 65 - Modelo 02 – Treliça trapezoidal engastada no pilar	102

Figura 66 - Modelo 03 - Treliça trapezoidal apoiada no pilar.....	102
Figura 67 - Diagrama resumo de modelos analisados	106
Figura 68 – Interface inicial do programa	108
Figura 69 – Aba de dados relacionadas a geometria da estrutura	109
Figura 70 – Aba de dados relacionada a velocidade básica do vento.....	109
Figura 71 – Aba de dados de fator topográfico “S1”	110
Figura 72 – Fator de rugosidade o terreno e dimensões da edificação.....	110
Figura 73 – Aba fator estatístico.....	111
Figura 74 – Aba Cpe – Parede e Cpe - Telhado	111
Figura 75 – Aba Cpe – Parede e Cpe - Telhado	112
Figura 76 – Aba Cpe – Parede e Cpe - Telhado	113
Figura 77 – Vista 3D do galpão 15x30x9m modelada no programa.....	115
Figura 78 – Vista frontal galpão 15x30x9m	115
Figura 79 – Vista Lateral do galpão 15x30x9m modelada no programa	116
Figura 80 – Verificações feitas pelo programa	116
Figura 81 – Modelo 1 e suas variações em pilares de alma cheia, concreto e treliçado respectivamente	117
Figura 82 - Modelo 2 e suas variações em pilares de alma cheia, concreto e treliçado respectivamente	118
Figura 83 - Modelo 3 e suas variações em pilares de alma cheia, concreto e treliçado respectivamente	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelo 1 - Treliza especial de banzos paralelos engastada no pilar	103
Tabela 2 - Modelo 2 - Treliza trapezoidal engastada no pilar	104
Tabela 3 - Modelo 3 - Treliza trapezoidal apoiada no pilar	105
Tabela 4 – Resultados dos menores pesos encontrados para o Modelo 1	121
Tabela 5 – Resultados dos menores pesos encontrados para o Modelo 2	121
Tabela 6 – Resultado do Modelo 3	122
Tabela 7 – Comprovação da Hipótese.....	122
Tabela 8 – Resultados das coberturas/fechamentos laterais modelo 1	123
Tabela 9 - Resultados das coberturas/fechamentos laterais modelo 2.....	123
Tabela 10 - Resultados das coberturas/fechamentos laterais modelo 3.....	124
Tabela 11 – Taxa de aço do modelo 1 para o galpão 15x30x6m	137
Tabela 12 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 15x30x9m	138
Tabela 13 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 20x30x6m	139
Fonte: Próprio autor (2023). Tabela 14 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 20x30x9m.....	139
Tabela 15 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 25x30x6m	141
Tabela 16 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 25x30x9m	142
Tabela 17 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 30x54x6m	143
Tabela 18 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 30x54x9m	144
Tabela 19 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 35x54x6m	145
Tabela 20 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 35x54x9m	146
Tabela 21 – Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 15x30x6m	147
Tabela 22 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 15x30x9m	148
Tabela 23 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 20x30x6m	149
Tabela 24 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 20x30x9m	150
Tabela 25 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 25x30x6m	151
Tabela 26 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 25x30x9m	152
Tabela 27 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 30x54x6m	153
Tabela 28 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 30x54x9m	154
Tabela 29 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 35x54x6m	155
Tabela 30 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 35x54x9m	156

Tabela 31 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 15x30x6m	157
Tabela 32 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 15x30x9m	158
Tabela 33 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 20x30x6m	159
Tabela 34 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 20x30x9m	160
Tabela 35 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 25x30x6m	161
Tabela 36 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 25x30x9m	162
Tabela 37 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 30x54x6m	163
Tabela 38 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 30x54x9m	164
Tabela 39 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 35x54x6m	165
Tabela 40 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 35x54xm9m	166
Tabela 41 – Cargas de ventos consideradas para o galpão de 15x30x6	167
Tabela 42 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 20x30x6	168
Tabela 43 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 25x30x6	169
Tabela 44 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 30x54x6	170
Tabela 45 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 35x54x6	171
Tabela 46 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 15x30x9	172
Tabela 47 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 20x30x9	173
Tabela 48 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 25x30x9	174
Tabela 49 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 30x54x9	175
Tabela 50 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 35x54x9	176
Tabela 51 – Taxa de peso kg/m ² do galpão 15x30x6	177
Tabela 52 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 15x30x9	177
Tabela 53 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 20x30x6	177
Tabela 54 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 20x30x9	178
Tabela 55 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 25x30x6	178
Tabela 56 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 25x30x9	178
Tabela 57 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 30x54x6	179
Tabela 58 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 30x54x9	179
Tabela 59 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 35x54x6	179
Tabela 60 - Taxa de peso kg/m ² do galpão 35x54x9	180

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Aços de uso frequente especificados pela ASTM para uso estrutural (anexo A).....	30
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CF	Chapa fina
Chumb.	Chumbadores
Diâm.	Diâmetro
ELS	Estados limites de serviço
ELU	Estados limite últimos
MSE	Método da seção efetiva
NBR	Norma Brasileira
PFF	Perfis formados a frio
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área bruta da seção transversal da barra
A_{ef}	Área efetiva da seção transversal da barra
A_n	Área líquida da seção transversal da barra na região da ligação
A_{n0}	Área líquida da seção transversal da barra fora da região da ligação
C	Comprimento
C_{pb}	Coeficiente de pressão em coberturas isoladas lado esquerdo
C_{ps}	Coeficiente de pressão em coberturas isoladas lado direito
C_t	Coeficiente de redução da área líquida
E	Módulo de elasticidade do aço
F_d	Combinação última
$F_{Gi,k}$	Ação permanente característica
$F_{Q,exc}$	Ação transitória excepcional
$F_{Q1,k}$	Ação variável principal característica
$F_{Qj,k}$	Ações variáveis secundárias características
F_{ser}	Combinação de serviço
f_u	Resistência à ruptura do aço na tração
f_y	Resistência ao escoamento do aço
H	Altura do pilar considerado
h	Largura da alma (altura da parte plana da alma)
h_f	Altura final da treliça
h_i	Altura inicial da treliça
H_p	Altura total do pilar
i	Inclinação do telhado
I_{ef}	Momento de inércia efetivo da seção

I_g	Momento de inércia da seção bruta
Kg	Quilogramas
kN	Kilonewton
K_v	Coeficiente de flambagem local por cisalhamento
L	Comprimento destravado da barra
L	Perfil de cantoneira de abas iguais “L”
L_v	Largura do vão transversal
m	Metro
m^2	Metro quadrado
M_{dist}	Momento fletor de flambagem distorcional elástica
M_e	Momento fletor de flambagem lateral com torção, em regime elástico
M_l	Momento fletor de flambagem local elástica
mm	Milímetros
M_n	Momento fletor solicitante calculado considerando as combinações de ações para os estados limites de serviço
M_{Rd}	Momento fletor resistente de cálculo
M_{Sd}	Momento fletor solicitante de cálculo
$N_{c,Rd}$	Força axial de compressão resistente de cálculo,
$N_{c,Sd}$	Força axial de compressão solicitante de cálculo
N_{dist}	Força axial de flambagem distorcional elástica
N_e	Força axial de flambagem global elástica
$N_{t,Rd}$	Força axial de tração resistente de cálculo
$N_{t,Sd}$	Força axial de tração solicitante de cálculo
q	Pressão dinâmica do vento
R	Perfil de barras redondas “R”

r	Raio de giração da seção bruta
s	Segundo
$S1$	Fator topográfico
$S2$	Fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno
$S3$	Fator baseado em conceitos probabilísticos
t	Espessura da alma
Tg	Tangente
Ue	Perfil “U” enrijecido
$USimples$	Perfil “U” simples
V_0	Velocidade básica do vento
$V0^\circ$	Vento 0°
$V1$	Vento 1
$V2$	Vento 2
$V90^\circ$	Vento 90°
V_k	Velocidade característica do vento
V_{Rd}	Força cortante resistente de cálculo
V_{Sd}	Força cortante solicitante de cálculo
W	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema que atinge o escoamento
W_c	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema comprimida
$W_{c, ef}$	Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema comprimida
W_{ef}	Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema que atinge o escoamento

γ	Coeficiente de ponderação de cargas permanentes e variáveis
γ_{f2}^a	Coeficiente de ponderação das ações ou das resistências, em geral
γ_g	Coeficiente de majoração de ações permanentes
γ_q	Coeficiente de majoração de ações variáveis
δ	Deslocamento, flecha
Θ	Ângulo da cobertura
λ_0	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global
λ_{of}	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global por flexão
λ_{dist}	Índice de esbeltez reduzido associado à flambagem distorcional
λ_p	Índice de esbeltez reduzido do elemento ou da seção completa
λ_{pd}	Índice de esbeltez reduzido do elemento
χ	Fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem global
χ_{dist}	Fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem distorcional
χ_{FLT}	Fator de redução do momento fletor resistente, associado à flambagem lateral com torção
ψ	Fator de combinação e redução para ações variáveis
ψ_0	Fator de redução das ações, fator de combinação de ações
ψ_{0j}	Fator de combinação
$\psi_{0j,ef}$	Fator de combinação efetivo
ψ_1	Fator de redução 1
ψ_2^d	Fator de redução das ações, fator de combinação de ações
ψ_{2j}	Fator de redução

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 Concepção estrutural e a estrutura metálica.....	19
2.2 Normas Pertinentes.....	23
2.3 Elementos estruturais com aço	24
2.3.1 Elementos estruturais de aço	24
2.3.2 Elementos estruturais mistos de aço e concreto	25
2.3.3 Estruturas híbridas	26
2.4 Vantagens e desvantagens do aço	27
2.5 Tipos de aços estruturais e suas propriedades	29
2.6 Tipo de perfis em aço.....	32
2.6.1 Perfis soldados.....	33
2.6.2 Perfis laminados.....	34
2.6.3 Perfis dobrados a frio	35
2.7 Principais aspectos dos projetos em aço de cobertura	37
2.8 Tipologias de galpões industriais.....	37
2.9 Peças componentes dos galpões.....	44
2.9.1 Terças	45
2.9.2 Mão francesa.....	48
2.9.3 Linhas de corrente ou correntes rígidas e tirantes	50
2.9.4 Contraventamentos e vigas de travamento	51
2.9.5 Trelças.....	54
2.9.6 Colunas	57
2.10 Telhas	62
2.11 Ligações.....	63
2.11.1 Ligações entre barras aço	64
2.11.2 Ligações de peças metálicas e concreto.....	68
2.12 Desenhos	70
2.13 Análise estrutural	71
2.13.1 Análise quanto ao material	71

2.13.2 Análise quanto ao efeito dos deslocamentos	72
2.13.3 Classificação das estruturas quanto a sensibilidade a deslocamentos laterais	72
2.14 Métodos de dimensionamento ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 14672:2010	74
2.14.1 Ações	75
2.14.2 Combinações	77
2.15 Dimensionamento da estrutura de cobertura	82
2.15.1 Barras tracionadas	83
2.15.2 Barras comprimidas.....	84
2.15.3 Barras submetidas à flexão	86
2.15.4 Esforço cortante	89
2.16 Introdução aos softwares cype 3d e Visual Ventos	93
2.17 Orçamento	93
3 METODOLOGIA	94
3.1 Objeto de estudo	95
3.2 Justificativa dos parâmetros.....	101
3.3 Tipologias a serem analisadas.....	101
3.4 Ações e Cargas consideradas	107
3.5 Programa e Calculo das Estruturas analisadas	113
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	120
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	129
REFERÊNCIAS.....	130

1 INTRODUÇÃO

As coberturas metálicas conseguem vencer grandes vãos com baixo consumo de aço. Isso é possível graças às altas resistências das propriedades mecânicas do material. Outra vantagem do uso das estruturas metálicas em coberturas de edificações comerciais e industriais é a alta velocidade na fabricação e montagem das peças metálicas. Fazendo com que essas edificações fiquem prontas em um tempo bem menor que as construções convencionais de concreto armado e alvenaria estrutural.

Para Souza (2017), “É de extrema relevância que os projetos em estruturas metálicas atendam alguns requisitos fundamentais, como: economia, segurança e durabilidade.” Assim como qualquer outro tipo de estrutura é importante atender o parâmetro essencial para construção civil, que é o custo da obra.

Ao se tratar de construção civil brasileira, pode se notar que a estrutura metálica faz parte dos empreendimentos de galpões de uso geral. Para se compreender essa precisão, faz-se necessário conhecimento prévio desse sistema estrutural, juntamente com que é exigido em termos de galpões e suas tipologias, bem como seus componentes, dimensões e arranjo estrutural com melhor custo benefício.

Galpões metálicos têm sido uma escolha popular para armazenamento, instalações industriais e até mesmo como espaços comerciais. São estruturas duráveis, versáteis e econômicas, projetadas para abrigar diversos fins.

Entretanto nas escolas de engenharia esse tema é muito pouco explorado, fazendo com que existam poucos profissionais com conhecimento para elaborar projetos e realizar orçamentos nessa área.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre coberturas metálicas e estabelecer parâmetros para o pré-dimensionamento de coberturas metálicas com fechamento lateral. Considerando a ampla gama de possibilidades de arranjo estrutural e diversas soluções de estruturas metálicas para galpões industriais, esta pesquisa busca responder à questão de qual tipologia de galpão de uso geral, com fechamento lateral, melhor se adequa aos galpões de pequeno e médio porte, levando em consideração aspectos de segurança e custo-benefício. Com a hipótese que os modelos com vãos variando de 15 a 35 metros e alturas de até 9 metros ofereceriam a opção mais economicamente viável,

utilizando pilares em perfis de alma cheia e coberturas trapezoidais apoiadas sobre esses pilares.

Para a validação da hipótese, o objetivo geral deste estudo consistiu em efetuar uma comparação das concepções estruturais relacionadas a galpões metálicos de uso geral providos de fechamento lateral. Essa comparação foi realizada por meio do emprego de ferramentas computacionais para o dimensionamento, seguindo as orientações estabelecidas nas normas técnicas ABNT NBR 14762:2010 “Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio” e ABNT NBR 8800:2008 “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios”. Além disso, buscou-se analisar a taxa de aço em coberturas treliçadas, as quais apresentam variações entre pilares treliçados e pilares de alma cheia em chapa dobrada formadas a frio, bem como pilares confeccionados em concreto armado.

Com o propósito de alcançar os objetivos propostos, delinearam-se as seguintes metas específicas: realizar uma revisão bibliográfica para descrever minuciosamente as particularidades das estruturas metálicas; efetuar o pré-dimensionamento de distintas concepções estruturais de galpões por meio de um programa computacional de cálculo estrutural; realizar um levantamento quantitativo da taxa de consumo de aço por metro quadrado para cada modelo analisado; e, por fim, apresentar, por meio de tabelas, o peso estrutural associado às dimensões e à taxa de aço obtida, identificando os modelos que melhor aproveitam os perfis e que possuem menor peso estrutural.

O presente estudo englobou uma análise de diferentes modelos de coberturas de galpões metálicos, enfocando especificamente a concepção estrutural, sem abordar detalhadamente as ligações entre as peças. O principal objetivo foi realizar uma comparação entre os modelos calculados para testar a hipótese proposta. Para atender a esse propósito, optou-se por uma abordagem de pesquisa aplicada, com objetivos descritivos e exploratórios, seguindo o método hipotético-dedutivo e adotando uma abordagem quantitativa-qualitativa. Essa investigação foi conduzida por meio de levantamento bibliográfico, análise documental e estudo de caso experimental.

No segundo capítulo, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangendo as estruturas de aço, na qual foram coletadas informações sobre as características do material, projetos de estruturas de galpões em aço e o dimensionamento de galpões metálicos para uso geral.

O terceiro capítulo descreveu a metodologia empregadas no estudo. Os modelos de galpões de aço foram calculados de acordo com as normas técnicas, utilizando os softwares Visual Ventos (*etools*, 2008) e Cype 3D (CYPE Ingenieros, 2017). Essas ferramentas foram selecionadas por sua eficiência no cálculo, dimensionamento e levantamento de materiais, visando agilizar o processo.

No quarto e quinto capítulo, foram apresentados, respectivamente, os resultados e as conclusões finais do estudo, expondo as avaliações realizadas no trabalho e as conclusões baseadas no problema de pesquisa, na hipótese e nos objetivos propostos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com intuito de melhorar o entendimento acerca das estruturas de metálicas aplicada à galpões, foi realizado um estudo bibliográfico para elucidar os aspectos de modelagem e o dimensionamento dos galpões metálicos.

Dessa forma, os próximos tópicos dispõem das particularidades das estruturas metálicas de galpões, demonstrando os componentes usuais, os prós e contras do uso destas estruturas, o material utilizado (aço), e as especificidades de concepção estrutural e dimensionamento, tudo de acordo com as normas regulamentadoras vigentes.

2.1 Concepção estrutural e a estrutura metálica

De acordo com CANTUSIO NETO (2008), a concepção estrutural é a escolha de sistema estrutural que constitui a resistência de uma edificação. Implica na determinação dos esforços atuantes sobre a estrutura e nos elementos que a compõem. “A solução estrutural utilizada deverá atender aos requisitos das Normas pertinentes, assim como à estética, desempenho estrutural e durabilidade, dentre outros fatores.”

A concepção estrutural está diretamente ligada ao projeto arquitetônico e ao projeto estrutural. Através do projeto arquitetônico se define as dimensões da edificação, suas características, cobertura, fechamentos e suas características gerais. Após essa análise se pensa qual tipo de estrutura melhor se adequa a essa demanda. Daí, onde se pensa em estruturas metálicas. De acordo com Pinho (2008), a melhor solução estrutural é a que se escolhe de maneira racional e estruturada, que leve em conta todos os aspectos que podem influenciar o desempenho de uma estrutura, o custo benefício, ou seja, o conjunto da obra. A estrutura metálica é uma estrutura que melhor se adequa a alguns projetos com base nas necessidades da obra e nas características de cada sistema, normalmente as que necessitam vencer grandes vãos, com cargas menores.

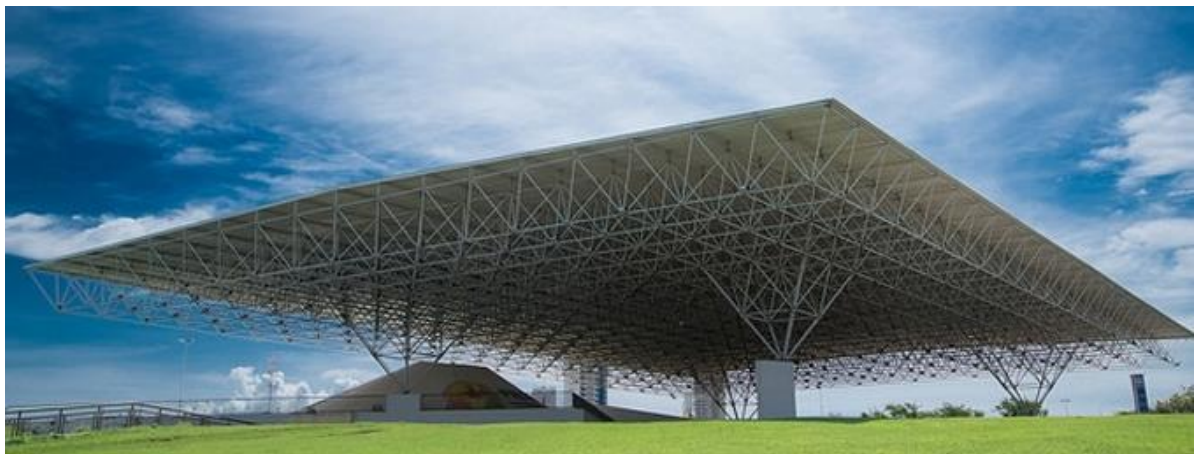
Pensando nisso, algumas obras notáveis em estruturas metálicas e que merecem ser citadas, demonstram, de maneira clara, essa grande conquista do homem moderno. A começar pela ponte inglesa de Coalbrookdale de 1779, em ferro fundido com vão de 31 metros, passamos, logo depois ainda na Inglaterra, à Britannia Bridge, com dois vãos centrais de 140 metros cada, também pela Brooklyn Bridge em Nova Iorque, nos Estados Unidos, a primeira das grandes pontes pênséis, com 486 metros de vão livre e construída em 1883, a Torre Eiffel, em Paris, datada de 1889, com 312 metros de altura, o Empire State Building, também em Nova Iorque, com seus 380 metros de altura e datado de 1933, a Golden Gate Bridge, na cidade de São Francisco, com 1280 metros de vão livre, construída em 1937 até o World Trade Center, em Nova Iorque, com seus 410 metros de altura e seus 110 andares, construído em 1972, dentre outras estruturas alcançáveis com uso do aço.

Segundo Almeida (2017), as estruturas metálicas são cada vez mais empregadas na construção civil. Pois, apresenta uma grande flexibilidade de aplicações, a começar por estruturas de galpões, de edifícios, de obras, tubulares, reticuladas, especiais, tensionadas e de armazenamento. E por tanto, se adequa a qualquer projeto arquitetônico com facilidade.

Em linhas gerais, a estrutura metálica está presente nesse contexto, pois pode ser utilizada em obras de diversas utilizações. Esse sistema construtivo otimiza espaços em canteiros de obras, devido a sua fabricação ser realizada em locais fora do entorno da edificação. Além de apresentar execução modular, podendo evitar desperdícios de materiais. (VOLPATO, 2022).

O objeto de estudo em questão, trata-se de galpões industriais. Mas para tanto a estrutura metálica apresenta um leque de opções para construções, a começar por coberturas, edifícios de múltiplos andares, torres, pontes, ferroviárias, hotéis, shoppings, hospitais, escolas, galpões, estádios de futebol, silos, reservatórios entre outros. Conforme mostram as figuras 1 a 5, abaixo.

Figura 1 - Cobertura espacial metálica – Palmas - TO



Fonte: Batista (2017).

A figura 01 acima, trata-se de uma cobertura espacial metálica, localizada no espaço cultural de Palmas - TO, ela representa uma solução engenhosa e sofisticada para otimizar o uso do espaço e oferecer um ambiente atraente e funcional para eventos e atividades culturais diversificadas.

Figura 2 - Edifício de múltiplos andares – Porto Atlântico Leste



Fonte: Anderson Benite (2019).

A figura 02, refere-se aos edifícios de múltiplos andares em aço, são estruturas que se destacam pela sua eficiência, versatilidade e bom desempenho.

Figura 3 - Ponte em estrutura metálica – Hercílio Luz



Fonte: Fernando Ottoboni Pinho (2020).

A Ponte Hercílio Luz, exibida pela figura 03, é uma impressionante obra de engenharia em estrutura metálica localizada em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Inaugurada em 1926, a ponte é um dos cartões-postais mais famosos da cidade e é considerada um marco histórico e arquitetônico do país.

Figura 4 - Silos metálicos



Fonte: Scalabrin (2008).

Outro exemplo, de construção em estruturas metálicas são os silos metálicos (figura 04) e os reservatórios metálicos (figura 05). Os silos metálicos são

estruturas projetadas para armazenar e preservar grãos, cereais, sementes, rações e outros materiais a granel. Essas estruturas são amplamente utilizadas na indústria agrícola e agroindustrial, oferecendo uma solução eficiente e segura para a estocagem de produtos em grandes quantidades. Já os reservatórios metálicos são estruturas utilizadas para armazenar líquidos, sejam eles água potável, água para fins industriais, produtos químicos, combustíveis, entre outros. Esses reservatórios são amplamente empregados em diferentes setores da indústria, agricultura, comércio e em sistemas de abastecimento de água em áreas urbanas e rurais.

Figura 5 - Reservatórios metálicos



Fonte: Gomes (2017).

2.2 Normas Pertinentes

Para projetos e execução de obras em estruturas metálicas, existem normas que prescrevem os materiais utilizados (aço, soldas, parafusos, etc), metodologia de projetos (cargas, dimensionamento, detalhamento) e execução da obra (fabricação, montagem, sistemas de combate a corrosão e incêndio). As normas a seguir determinam os procedimentos a serem seguidos para execução do projeto em questão.

- ABNT NBR 8800/2008: Projeto E Execução De Estruturas De Aço E De Estruturas Mistas Aço Concreto De Edifícios;
- ABNT NBR 14762/2010: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio;
- ABNT NBR 8681/2004: Ações e seguranças nas estruturas;
- ABNT NBR 6123/1988: Forças devido aos ventos em edificações;
- ABNT NBR 6120/2019: Cargas para o cálculo de estruturas em edificações;
- ABNT NBR 14323/2013: Dimensionamento para estruturas de aço em edifícios em situações de incêndio;
- ABNT NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.

2.3 Elementos estruturais com aço

Como já dito anteriormente, o uso de aço em construções civis é amplo, podendo ser usado em estrutura de aço puro, estruturas mistas de aço e concreto e estruturas híbridas.

2.3.1 Elementos estruturais de aço

Estruturas em aço são aquelas em que os elementos metálicos da estrutura são os únicos responsáveis para resistir aos esforços solicitantes. De acordo com Fakury, Silva e Caldas (2016), esses elementos têm diversas aplicações, e são empregados em posições de treliças, vigas, pilares, contraventamentos, e barras de pórticos. Esses elementos suportam as tensões normais de tração e compressão. Embora sob compressão podem ser suscetíveis a problemas de instabilidade. A figura 6, apresenta uma estrutura em aço puro a exemplo do elemento.

Figura 6 - Estrutura em aço



Fonte: Pereira (2017).

2.3.2 Elementos estruturais mistos de aço e concreto

Estruturas mistas de aço e concreto para Sá e Santos (2014), é a associação de perfis metálicos incluindo chapas de aço, ao concreto constituindo elementos estruturais mistos: vigas, pilares e lajes. Para Fakury, Silva e Caldas (2016), esses elementos são projetados para que suas partes de concreto trabalhem predominantemente à compressão, já que o concreto tem resistência a tração muito limitada. Já o aço projetado para trabalhar à tração, para que fique isento de problemas relacionados à instabilidade.

Nessa estrutura, é fundamental garantir a cooperação sinérgica entre ambos os materiais. A transformação dessa estrutura em uma estrutura mista é alcançada através da transmissão de esforços longitudinais ao longo da interface dos materiais, por meio de conectores de cisalhamento, que são elementos metálicos soldados.

Por exemplo, esses conectores podem ser utilizados na parte superior da viga e solidarizados na laje de concreto durante o lançamento do concreto. Essa configuração assegura que os conectores impeçam o escorregamento e o deslocamento entre os materiais, resultando em um comportamento conjunto, em que a face inferior da viga está sob tração e a parte superior da laje está sob compressão.

Portanto, a integração desses materiais visa aproveitar ao máximo as propriedades específicas de cada um, gerando uma combinação vantajosa e

sinérgica. Ao unificar os materiais, obtém-se uma soma de vantagens que contribui para a eficiência e a resistência da estrutura resultante. A laje mista (figura 07) é um exemplo de como funciona esse tipo de estrutura.

Figura 7 - Estrutura mista com laje mista



Fonte: Souza (2014).

2.3.3 Estruturas híbridas

A estrutura híbrida, consoante Vasconcelos (2014), é a associação de dois elementos completamente independentes. No caso de uma estrutura híbrida de aço e concreto, por exemplo, é o apoio de uma laje de concreto sobre uma viga de aço. Nesse caso, quando houver um carregamento transversal a esses dois elementos, que não estão ligados (a viga está sustentando a laje), há flexão de ambos os elementos, mas também à escorregamento e deformação independentes. Para esse caso, ao se verificar os diagramas de tensões, ocorrerá tração na mesa inferior da viga e compressão na mesa superior da viga. Já na laje ocorrerá tração na face inferior e compressão na parte superior. A figura 8 a seguir, exhibe uma cobertura formada por treliças apoiadas em pilares pré-moldados de concreto, a caracterizando como uma estrutura híbrida.

Figura 8 - Estrutura Híbrida



Fonte: Pereira (2017).

2.4 Vantagens e desvantagens do aço

Os aços como material estrutural possuem prós e contras, Bellei (1998) afirma que possui as seguintes vantagens: material homogêneo, com parâmetros bem definidos de ruptura e escoamento e com alta resistência para os variados estados de tensão, permitindo estruturas mais esbeltas. Cita, também, que a montagem dos elementos é mecanizada diminuindo o tempo de construção, tendo como única desvantagem a corrosão.

Em contrapartida sobre a corrosão, Pinho (2008), no manual de viabilidade econômica (CBCA), afirmam que o aço assim como outros materiais, a decisão de qual será a durabilidade e o controle do processo de deterioração é uma decisão do

responsável técnico, e existem processos e produtos de proteção para todas as situações e ambientes, que quando bem aplicados, são econômicos e garantem a vida útil esperada para a estrutura dentro das condições de manutenção previstas.

Já segundo Chamberlain, Ficanha e Fabeane (2013), às vantagens do aço encontram-se na agilidade de produção e montagem, aproveitamento maior de perfis e redução das solicitações nas fundações. Já como desvantagens cita que as obras em aço são limitadas pelos insumos presentes na região que se encontra, por razões econômicas e culturais; exigem uma mão de obra especializada; os projetos devem ser bem planejados e os elementos lineares são os únicos viabilizados.

Percebe-se nas colocações do primeiro e terceiro parágrafo a convergência nas vantagens e a suplementação nas desvantagens. O primeiro limita-se aos padrões intrínsecos do aço, relativos a suas propriedades, já o segundo expõe uma visão crítica de como o aço está relacionado com outras áreas além da construção, que é a da cadeia produtiva no geral, demonstrando situações que limitam o uso do aço apesar de suas vantagens intrínsecas.

Para integralizar, Fakury, Silva e Caldas (2016), complementam que em uma construção em aço é dispensado o uso de fôrmas e escoras, fazendo com que o canteiro de obras ocupa menor área, se organize melhor, e evite problemas com limpeza e entulhos. Também expõe que o aço é um dos materiais mais recicláveis do mundo pois pode ser reaproveitado, desmontado e montado noutra local.

Então o aço, se utilizado da maneira correta, dentro de um projeto elaborado por profissional habilitado, aplicando os processos e produtos de proteção adequados, possui grandes vantagens de utilização, no qual o profissional deve estar ciente dos perfis comercializados na sua região e da disponibilidade de mão de obra capacitada para disponibilizar os serviços necessários para execução dessas estruturas.

Para Fakury, Silva e Caldas (2016), as desvantagens também estão presentes nos cuidados rigorosos que se tem que ter na utilização do aço como material estrutural, tais como corrosão e comportamento em situação de incêndio. Para tratar a corrosão, deve-se atentar aos procedimentos de pintura e galvanização do material que são os mais usuais para a proteção da estrutura. E ainda se atentar a agressividade do ambiente em que se encontra a estrutura. Para situações de

incêndio em alguns casos é necessário revestir a estrutura contra o fogo, fazendo com que a estrutura fique mais cara.

Por fim, o aço é um material 100% reciclável, as edificações em estruturas metálicas são bem mais fáceis de serem reforçadas e ou ampliadas, podendo ser desmontada de um determinado local e transferida para outro.

2.5 Tipos de aços estruturais e suas propriedades

A ABNT NBR 8800:2008 divide os aços estruturais segundo a composição química, que são aços-carbono e aços de baixa liga. Os dois tipos podem receber tratamentos térmicos que modificam suas propriedades mecânicas.

Para Bellei (1998), o aço-carbono é o tipo mais usual, quando o acréscimo de resistência em relação ao ferro é produzido pelo carbono. Em estruturas correntes, os aços utilizados possuem um teor de carbono que não deve ultrapassar determinados valores, pois caso esses valores sejam superiores aos limites estabelecidos, haverá um decréscimo na soldabilidade, capacidade de se utilizar processo de soldas criando algumas dificuldades de fabricação e montagem das estruturas, mesmo embora o resultado dessa maior adição de carbono resulte em um aço de maior resistência e de maior dureza.

Já o aço de baixa liga segundo Neto (2008), é obtido pelo mesmo aço-carbono acrescido de elementos de liga em proporções diminutas, cobre, manganês, silício, etc. A adição desses elementos promove alterações na microestrutura original, ampliando a resistência desse tipo de aço. Na pequena variação de ordem química somada à adição de outros componentes, também pode ser aumentada a resistência à oxidação, fator que impõe acréscimo de custos nas estruturas. Esse tipo de aço ainda é subdividido em aço de baixa liga e alta resistência mecânica, aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão da atmosfera e aços de baixa liga temperados e auto revestidos.

O quadro 1, apresenta como a ABNT NBR 8800:2008, especifica o uso dos aços estruturais pela ASTM:

Quadro 1 - Aços de uso frequente especificados pela ASTM para uso estrutural (anexo A)

Classificação	Denominação	Produto	Grupo de perfil ^{a b} ou faixa de espessura disponível	Grau	f_y MPa	f_u MPa
Aços-carbono	A36	Perfis	1, 2 e 3	-	250	400 a 550
		Chapas e barras ^c	$t \leq 200$ mm			
	A500	Perfis	4	A	230	310
				B	290	400
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A572	Perfis	1, 2 e 3	42	290	415
				50	345	450
				55	380	485
			1 e 2	60	415	520
				65	450	550
		Chapas e barras ^{c)}	$t \leq 150$ mm	42	290	415
			$t \leq 100$ mm	50	345	450
			$t \leq 50$ mm	55	380	485
			$t \leq 31,5$ mm	60	415	520
				65	450	550
	A992 ^d	Perfis	1, 2 e 3	-	345 a 450	450
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A242	Perfis	1	-	345	485
			2	-	315	460
			3	-	290	435
		Chapas e barras ^{c)}	$t \leq 19$ mm	-	345	480
			$19 \text{ mm} < t \leq 37,5$ mm	-	315	460
			$37,5 \text{ mm} < t \leq 100$ mm	-	290	435
	A588	Perfis	1 e 2	-	345	485
			$t \leq 100$ mm	-	345	480
		Chapas e barras ^c	$100 \text{ mm} < t \leq 125$ mm	-	315	460
			$125 \text{ mm} < t \leq 200$ mm	-	290	435
Aços de baixa liga temperados e auto-revenidos	A913	Perfis	1 e 2	50	345	450
				60	415	520
				65	450	550

^a Grupos de perfis laminados para efeito de propriedades mecânicas:

- Grupo 1: Perfis com espessura de mesa inferior ou igual a 37,5 mm;
- Grupo 2: Perfis com espessura de mesa superior a 37,5 mm e inferior ou igual a 50 mm;
- Grupo 3: Perfis com espessura de mesa superior a 50 mm;
- Grupo 4: Perfis tubulares.

^b t corresponde à menor dimensão ou ao diâmetro da seção transversal da barra.

^c Barras redondas, quadradas e chatas.

^d A relação f_u/f_y não pode ser inferior a 1,18.

Fonte: ABNT NBR 8800:2008.

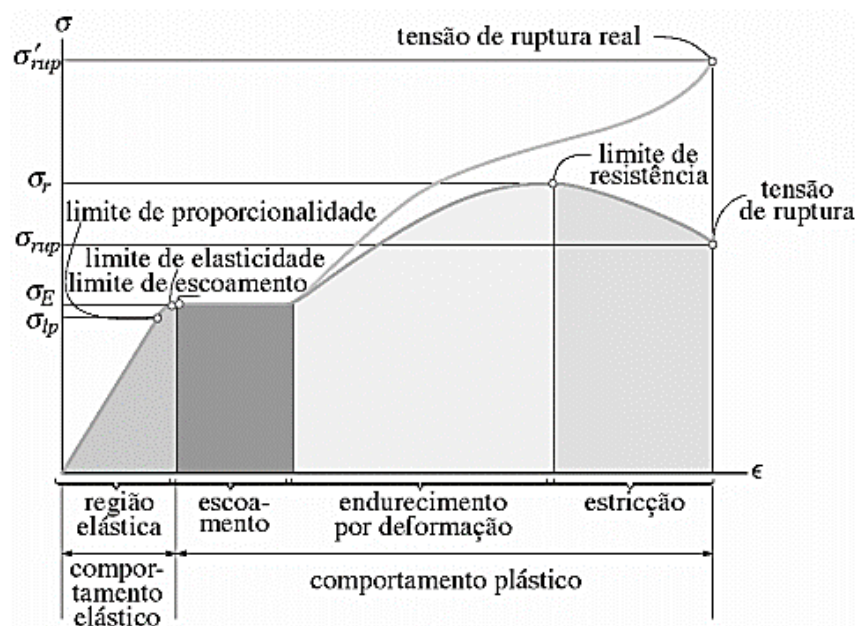
O quadro 1 acima, apresenta a classificação dos aços estruturais, denominações, os produtos gerados, a faixa de espessura disponível no mercado, o grau, resistência ao escoamento, e resistência à ruptura. É importante lembrar que a ABNT NBR 8800:2008, ainda apresenta os valores nominais mínimos para resistência ao escoamento, sendo ($f_y \leq 450$ Mpa) e a relação ($f_u/f_y \geq 1,18$).

Para melhor compreender o comportamento das estruturas de aço, se faz necessário conhecer, de forma satisfatória, as principais propriedades dos aços estruturais. O primeiro ponto a ser analisado deve ser o diagrama de tensão-deformação, para se analisar e entender o comportamento estrutural. Quando se

solicita um corpo de prova ao esforço normal de tração, pode-se obter valores importantes para a determinação das propriedades mecânicas dos aços.

Em geral, o escoamento no aço pode ser visto a olho nu, pois gera deformação na peça. É obtida pelos valores do ensaio de tração simples e tem como característica o aumento da deformação com uma tensão constante, limitada pela tensão limite de escoamento, que pode ser vista na Figura 9 a seguir.

Figura 9 - Diagrama Tensão X Deformação do aço



Fonte: Buffoni, (2015).

As propriedades relevantes para o uso de aços como material estrutural, de acordo com Pfeil e Pfeil (2009), incluem escoamento, ductilidade, fragilidade, resiliência, tenacidade, dureza, fadiga e corrosão. No decorrer dos tópicos seguintes, o autor descreveu essas características com base em sua perspectiva.

A ductilidade é uma característica que se refere à capacidade de um material de se deformar permanentemente quando submetido a cargas em um estágio de deformação plástica. Em relação aos aços, a presença de alta ductilidade é de extrema relevância em aplicações estruturais. Isso ocorre porque materiais com boa ductilidade podem passar por uma maior deformação plástica, o que fornece indícios visuais de que a estrutura está suportando uma carga excessiva ou está em risco de colapsar, agindo como um "sinal de alerta" antes que ocorra qualquer tipo de falha estrutural.

A fragilidade apresenta um contraste com a ductilidade e está associada à capacidade do material de se deformar no regime plástico. No entanto, a fragilidade é evidenciada em aços que apresentam ruptura frágil, sem qualquer aviso prévio, o que pode resultar em riscos significativos em situações de carga excessiva em estruturas.

A resiliência está ligada à capacidade de armazenar e redistribuir cargas no regime elástico, no qual o material pode retornar ao seu estado original após ser descarregado. Essa capacidade é determinada pela quantidade de energia elástica que pode ser retida por unidade de volume em um aço.

A tenacidade está relacionada à capacidade de reter toda a energia, tanto no regime elástico quanto no plástico, por unidade de volume de um aço, até o ponto de ruptura. Em outras palavras, no teste de tração simples, a tenacidade corresponde à área total sob o gráfico obtida no diagrama de tensão-deformação.

A dureza se refere, fundamentalmente, à capacidade do material de resistir à abrasão ou ao risco causado por outros materiais. A medida da dureza é feita utilizando uma escala que compara a dureza do material em estudo com a de um material mais duro, avaliando a resistência superficial à penetração.

A fadiga está intimamente ligada à resistência à ruptura dos materiais, que ocorre devido aos efeitos dos esforços repetitivos aos quais uma peça é submetida ao longo de sua vida útil. Isso é frequentemente causado pela ação de elementos como pontes rolantes e máquinas em geral, que aplicam cargas e descargas em pontos específicos das peças metálicas.

Corrosão resulta de reações químicas que ocorrem no aço devido aos elementos presentes no ambiente em que o material está instalado, sendo a umidade e a retenção de água as principais causas. Isso leva à perda de seção útil dos perfis metálicos devido à liberação de íons de ferro no ambiente. A proteção contra a corrosão é comumente realizada por meio de técnicas como pintura ou galvanização, que envolve a adição de zinco às superfícies de aço para evitar a corrosão.

2.6 Tipo de perfis em aço

Atualmente os perfis de aço mais utilizados na construção civil no Brasil, são classificados segundo o modo de obtenção como perfis soldados, laminados, e

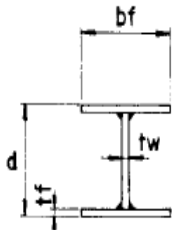
formados a frio, normalizados pela ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 14762:2010. Apresentando suas vantagens e desvantagens para o objeto de estudo em questão.

2.6.1 Perfis soldados

De acordo com Volpato (2022), são materiais obtidos da composição de soldagem de chapas cortadas com os mais variados tipos de seções. Os perfis mais usuais deste produto são encontrados em forma do tipo H, I, perfis caixões e perfis genéricos.

Os perfis do tipo H, são perfis compostos por uma alma e duas mesas, sendo uma mesa em cada extremidade da alma. A relação altura/ largura desse perfil é aproximadamente igual a 1. Podendo ser aplicados em vigamentos, sistemas de apoio de pontes, viadutos, colunas, vigas, elementos de contraventamentos e outros. O perfil I, só difere do perfil H, na sua relação altura sobre largura, sendo maior ou igual a 1,5. Tendo a mesma aplicabilidade. Os perfis de caixão são compostos por, no mínimo, duas almas e duas mesas. Normalmente utilizados em peças com solicitações de flexão oblíqua e peças solicitadas ao momento torsor. Aplicabilidade em colunas de canto, vigas de pontes rolantes, colunas, vigas, mezaninos e outros. Já os perfis genéricos são a composição de diversas chapas, nas mais variáveis posições com solicitações diversas. (VOLPATO, 2022).

Figura 10 - Exemplo de perfil tipo I soldado

Tipo	Altura (mm)	Designação (exemplo)
	CS de 200 a 650 CVS de 200 a 650 VS de 200 a 1.500 PS não-padrão	VS 900 x 124 VS com d = 900 mm e 124 kg/m (PS 400 x 200)*

Fonte: Silva e Silva (2008).

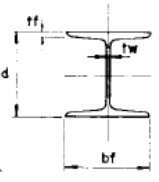
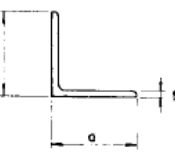
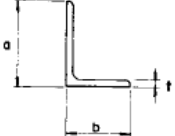
2.6.2 Perfis laminados

Para Palma (2007), os perfis laminados são produtos que o material é proveniente do lingotamento contínuo, que passa por laminadores com cilindros conformadores que vão esboçando os perfis por meio de uma sucessão de passes. Consoante Volpato (2022), são produtos obtidos a partir da produção da indústria siderúrgica. Apresentam fabricações padronizadas, com as mais variadas formas de seções. Conforme exhibe a figura 11.

Rodrigues (2010), afirma que os perfis laminados são:

Peças que apresentam grande eficiência estrutural podendo ser encontradas sob diversas geometrias, sendo algumas apresentadas nas figuras abaixo. Os perfis H, I, C podem ter abas paralelas (padrão europeu) ou não (padrão americano), de acordo com sua especificação. Já os perfis tipo L ou cantoneiras, são formados por duas abas perpendiculares entre si, podendo apresentar larguras iguais ou diferentes.

Figura 11 - Perfis usuais laminados

		Dimensões	Designação (exemplo)
	Perfil H	$d = 152 \text{ mm}$	H de 152 x 37,1 Perfil H com $d = 152 \text{ mm}$ e 37,10 kg/m
	Perfil I	$d = 76 \text{ a } 305 \text{ mm}$	I de 152 x 18,5 Perfil I com $d = 152 \text{ mm}$ e 18,50 kg/m
	Perfil U	$d = 76 \text{ a } 381 \text{ mm}$	U de 203 x 17,1 Perfil U com $d = 203 \text{ mm}$ e 17,10 kg/m
	Cantoneira de abas iguais	$a = 25 \text{ a } 203 \text{ mm}$ $t = 3 \text{ a } 25 \text{ mm}$	L de 50 x 6,3 Cantoneira de abas iguais com $a = 50 \text{ mm}$ e $t = 6,3 \text{ mm}$
	Cantoneira de abas desiguais	$a \times b = 89 \times 64 \text{ a } 203 \times 102 \text{ mm}$ $t = 6 \text{ a } 25 \text{ mm}$	L de 102 x 76 x 7,9 Cantoneira de abas desiguais com $a = 102 \text{ mm}$ $b = 76 \text{ mm}$ e $t = 7,9 \text{ mm}$

Fonte: Silva e Silva (2008).

2.6.3 Perfis dobrados a frio

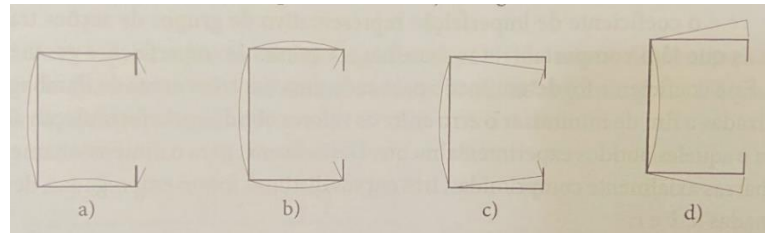
De acordo com a norma NBR 14762 da ABNT (2010), os perfis formados a frio são produzidos através do processo de dobramento em prensas ou matrizes rotativas, a partir de chapas ou bobinas laminadas a frio ou a quente. Esses perfis podem ser revestidos ou não e, durante o processo de dobra, o aço mantém-se em temperatura ambiente. Para Volpato (2022), as formas mais comuns desse tipo de perfil são cantoneiras, perfis U, Z, cartola, e perfis genéricos.

Com o intuito de otimizar custos sem comprometer a qualidade e a segurança, o uso de perfis formados a frio (PFF) tem ganhado destaque em estruturas de galpões. Conforme mencionado por Nogueira e colaboradores (2015), esses PFFs têm desfrutado de grande aceitação no mercado e experimentado um notável aumento na sua utilização nos últimos anos, em virtude do menor peso dos perfis, o que resulta em uma redução da taxa de consumo de aço.

Assim, justificado pela maior disponibilidade e menor peso, o emprego desses perfis revela-se vantajoso, sobretudo em estruturas compostas, como as treliças. No entanto, como apontado por Garcia, Batista e Franco (2017), esses perfis são esbeltos e apresentam comportamentos específicos que requerem consideração. Isso inclui a flambagem das paredes esbeltas das seções transversais, resultando em flambagens locais e distorcional, bem como a flambagem global, seja por flexão, torção ou flexão-torção da barra. Portanto, ao buscar soluções que combinem menor peso e custos reduzidos, é essencial levar em consideração essas características dos perfis formados a frio.

Segundo Javaroni (2015), flambagem local está associada a deformação dos elementos planos (chapas), que compõem a seção transversal dos perfis de aço formado a frio, o fenômeno está presente em todos os elementos planos sob tensões de compressão, que podem ser oriundas dos esforços de compressão axial, do momento fletor ou do cisalhamento.

Já a flambagem distorcional, de acordo com o mesmo autor, outro modo de instabilidade, também local, pode caracterizar a falha do perfil, ocorre a distorção da seção transversal em seu próprio plano, envolvendo deslocamentos laterais e rotações das partes componentes do perfil.

Figura 12 - Flambagem local e flambagem distorcional

Fonte: JAVARONI (2015).

Na figura 12, as letras a e b representam a flambagem local, onde ocorre a deformação das placas, sem ocasionar a translação dos pontos de interseção (cantos ou arestas) entre as placas. Já as letras c e d representam a flambagem distorcional, caracterizada por apresentar rotação de cada aba e enrijecedor em torno da junção alma e aba em direções opostas e translação. A figura 13, retrata exemplos de perfis dobrados a frio.

Figura 13 - Perfis dobrados a frio

Série	Seção transversal	Designação
Cantoneira de abas iguais		L $b_f \times t$ Ex: L 50 x 3,00
U simples		U $b_w \times b_f \times t$ Ex: U 150 x 50 x 2,65
U enrijecido		Ue $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Ue 150 x 60 x 20 x 2,65
Z enrijecido a 90°		Z₉₀ $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z₉₀ 200 x 75 x 20 x 2,25
Z enrijecido a 45°		Z₄₅ $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z₄₅ 200 x 75 x 20 x 2,25

Fonte: Silva e Silva (2008).

2.7 Principais aspectos dos projetos em aço de cobertura

Inicialmente, os projetos que envolvem estruturas metálicas obedecem a princípios essenciais, como indicado por Nogueira et al. (2015), que afirmam que "os projetos modernos devem considerar três elementos cruciais: Segurança, eficiência econômica e longevidade".

Além disso, de acordo com Sacchi e Souza (2017), "A vida útil de uma estrutura começa no projeto e se consolida durante a execução, portanto, os conceitos do projeto devem ser mantidos até a conclusão da execução". Isso significa que, além dos aspectos fundamentais do projeto, a execução deve aderir estritamente às diretrizes do projeto, a fim de assegurar que seja realizada da melhor forma possível e esteja em conformidade com as normas da ABNT. Sendo assim, após compreender o que é necessário para um projeto, podemos passar à definição de estruturas metálicas.

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), estruturas metálicas são compostas pela combinação de perfis metálicos, que podem ser unidos por conectores (como parafusos ou rebites) ou por meio de soldagem. Em outras palavras, essas estruturas são formadas pela união de perfis metálicos lineares, conectados de acordo com o conceito estrutural definido pelo projetista.

Além disso, para projetar estruturas metálicas, é importante levar em consideração diversos fatores, como destacado por Bellei (1998) no contexto de galpões metálicos. Esses fatores incluem a "localização e dimensões dos equipamentos que serão acomodados; circulação; movimentação de cargas; iluminação e ventilação; bem como as características e o tipo do terreno". Com esses elementos definidos e posicionados previamente, é possível desenvolver o layout do galpão e o projeto estrutural correspondente.

Em resumo, ao projetar uma estrutura em aço, é fundamental considerar as especificidades e restrições desse sistema construtivo. O planejamento desempenha um papel crucial, garantindo que uma sequência lógica de projeto seja estabelecida e seguida até a execução. Isso assegura que a estrutura seja segura, eficiente em relação às suas finalidades e economicamente viável, com o planejamento começando nas fases de projeto e planejamento.

2.8 Tipologias de galpões industriais

Ao se tratar de galpões, Soares et al. (2016), denomina como sendo edificações com um pavimento que podem apresentar diversas finalidades, como depósitos, fabricas, comércios, oficinas entre outros. E ainda podem apresentar vãos simples ou múltiplos. Para Chaves (2007), “o sistema estrutural de galpões pode conduzir a diferentes tipologias dependendo da geometria da cobertura, do tipo de perfis, das ações atuantes, etc.” A figura 14 a seguir exibi a classificação feita por Chaves, dos sistemas estruturais e construtivos de galpões.

Figura 14 – Classificação de quanto ao sistema estrutural

Edifícios com vão simples	Estruturas com vãos múltiplos	Edifícios com estruturas especiais
*Cobertura com uma água; *Cobertura em duas águas; *Cobertura em arco; * Cobertura tipo <i>Shed</i> .	*Cobertura em múltiplos de uma água; *Cobertura em múltiplos de duas águas.	*Estrutura reticulada espaciais; * Outras estruturas.

Fonte: Chaves (2007).

Anunciação et al. 2020, complementa que ao se modelar um galpão é importante observar os vãos e deixá-los com maior espaçamento entre pórticos transversais, pois isso impactará num menor gasto da estrutura, contribuindo para numa menor taxa de aço e também em um menor número de fundações a serem executadas.

Para Chamberlain, et al. (2013), “os galpões industriais de uso geral são construções que tem como objetivo principal abrigar trabalhadores e maquinários.” Logo as tipologias mais usuais são as planas.

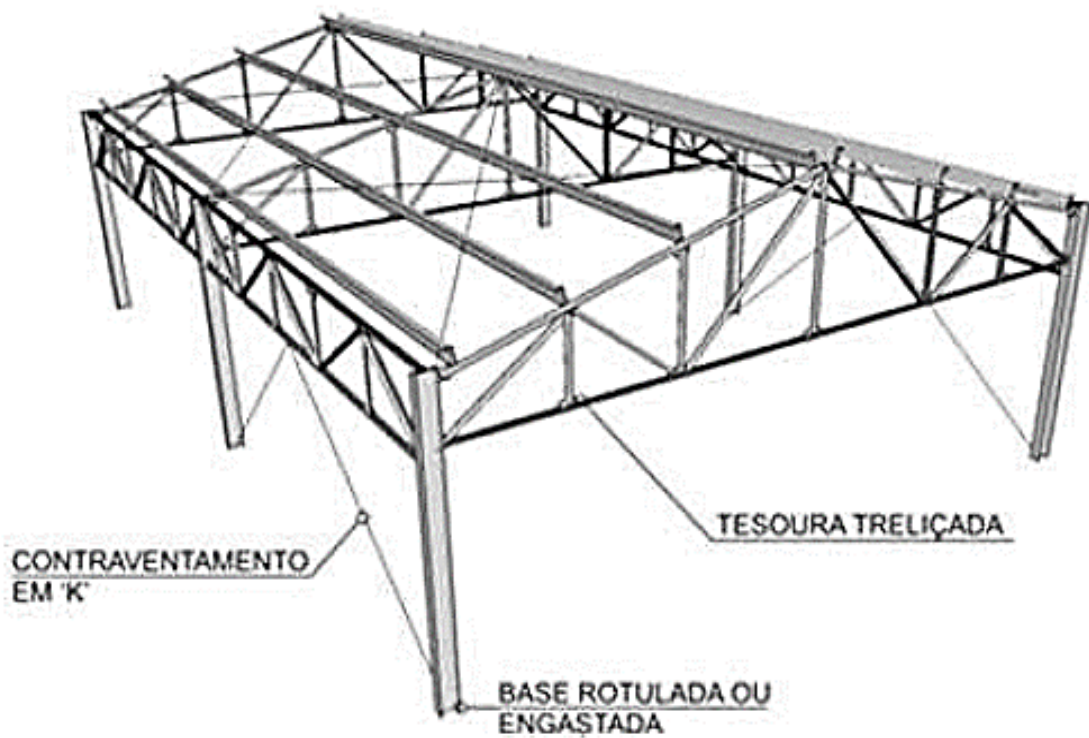
De acordo com alguns especialistas em engenharia estrutural e construção, os edifícios industriais com colunas e vigas de almas cheias apresentam vantagens em termos de custo de fabricação e facilidade de manutenção. Em contrapartida, as estruturas treliçadas são conhecidas por vencer grandes vãos com uma taxa de peso por área (kg/m^2) relativamente baixa, embora tenham custo de fabricação mais elevado e maior complexidade na manutenção. As figuras a seguir expõe diferentes concepções de galpões, considerando que são as mais usuais, baseado no manual de galpões industriais.

Figura 15 - Edifício industrial com colunas e vigas de alma cheia



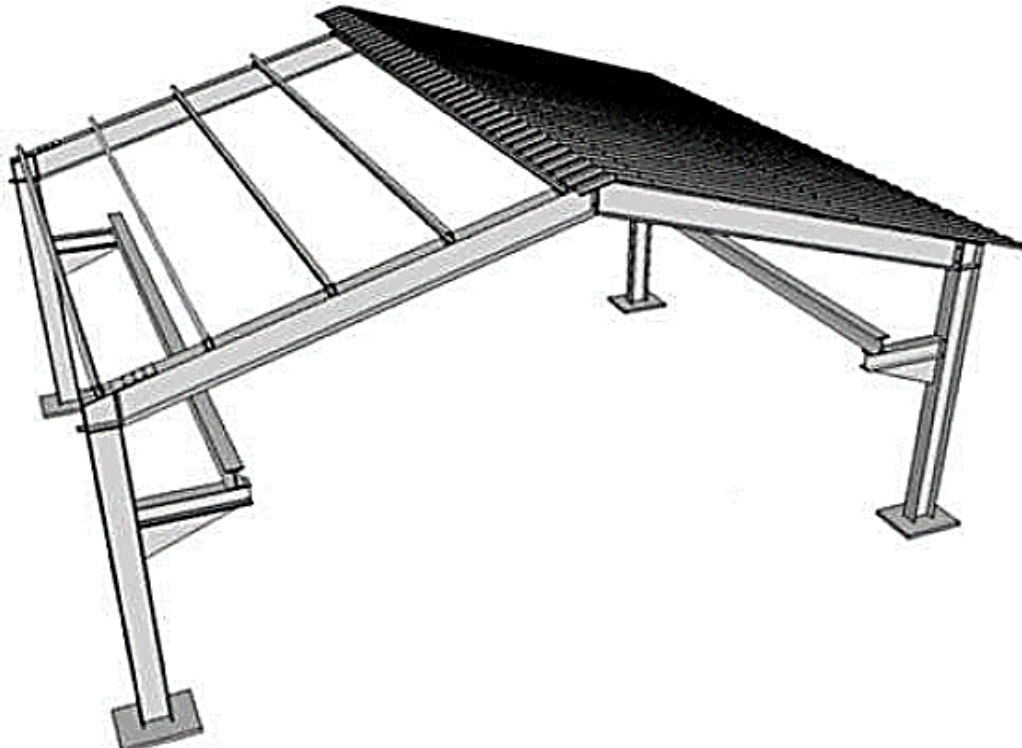
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 16 - Edifício com sistemas de coberturas treliçados



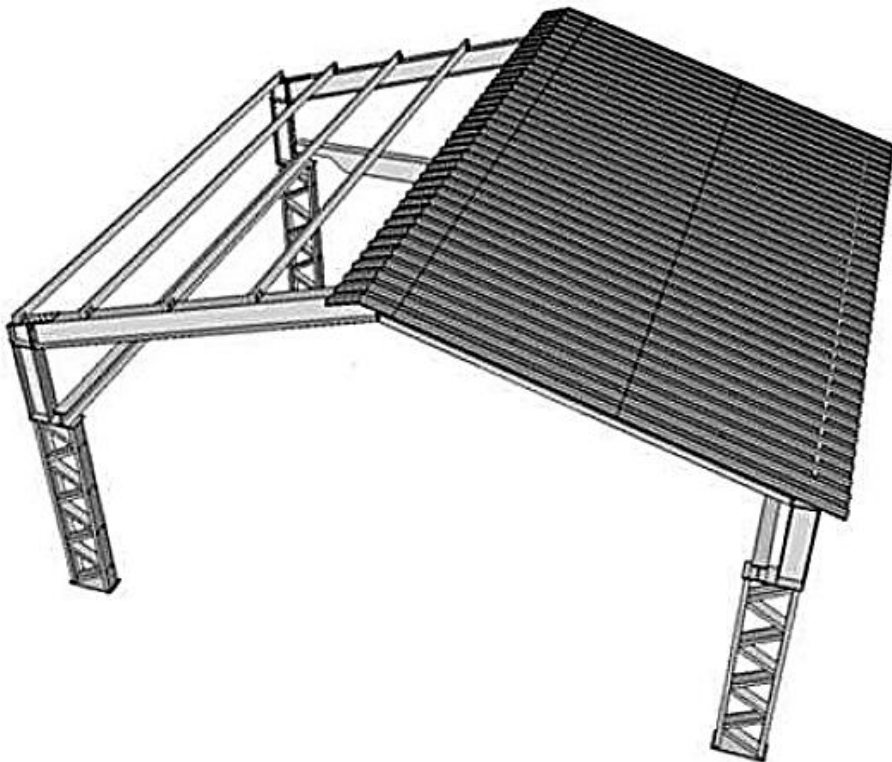
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 17 - Edifício industrial com coluna de alma cheia e viga de rolamento



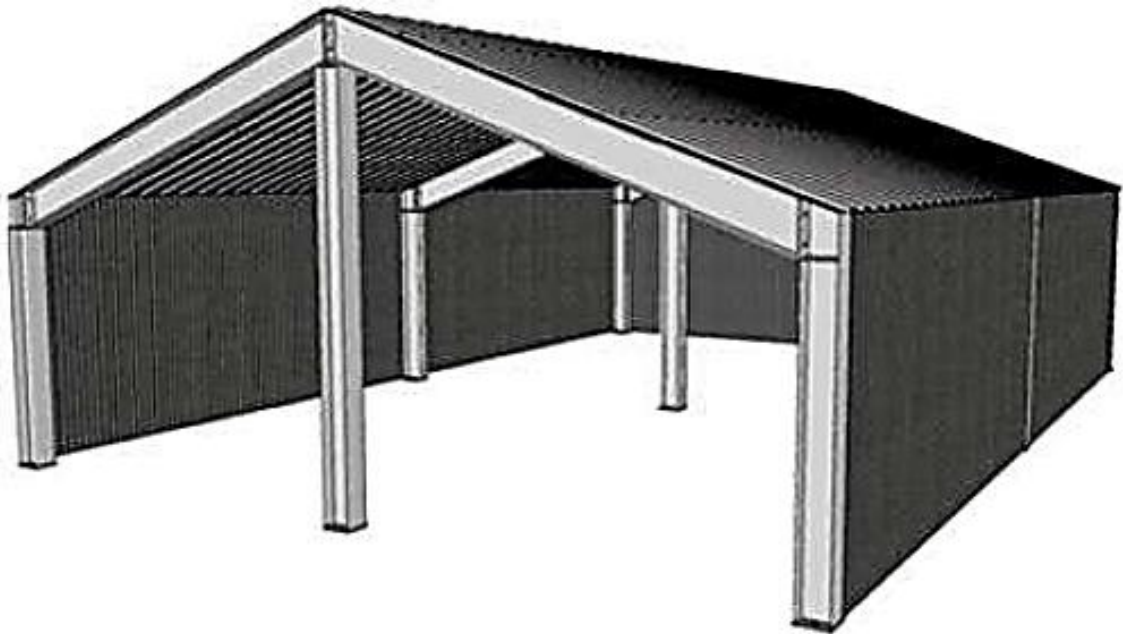
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 18 - Edifício com colunas treliçados e vigas de rolamento



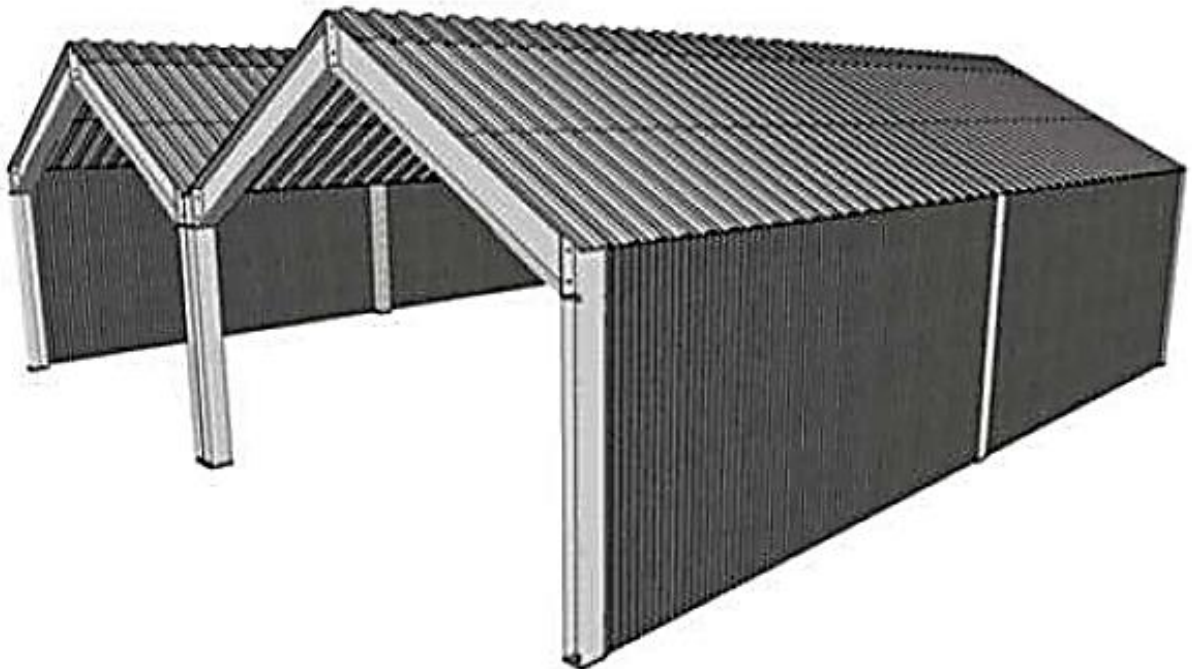
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 19 - Edifício industrial com duas águas, geminado



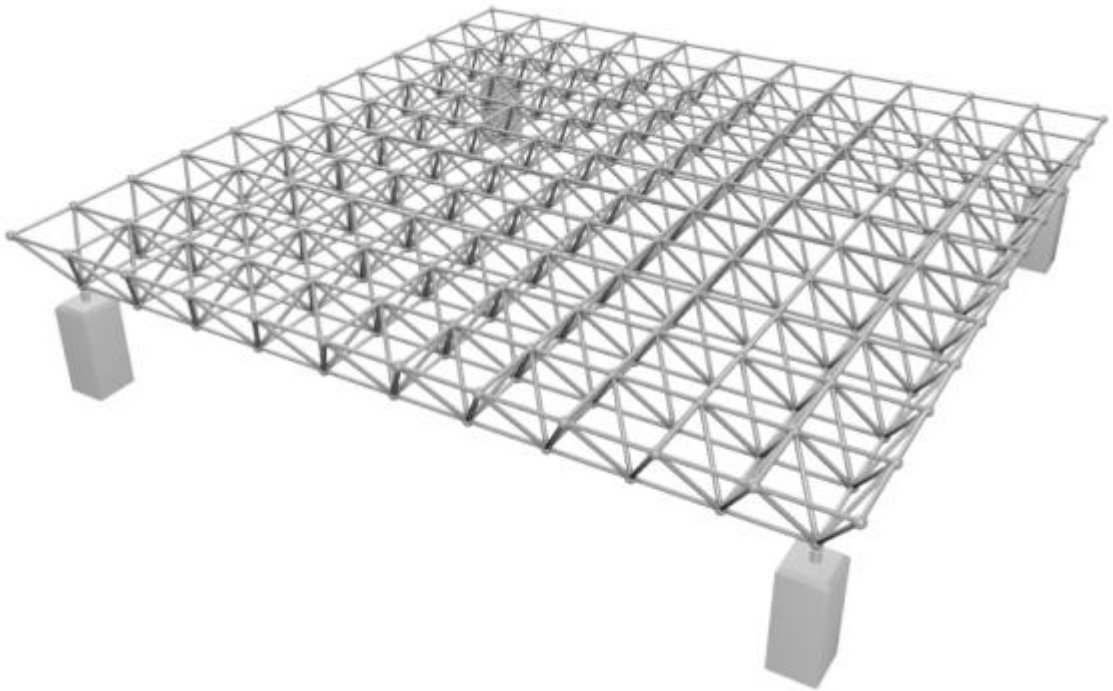
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 20 - Edifício industrial com quatro meias-águas, geminado



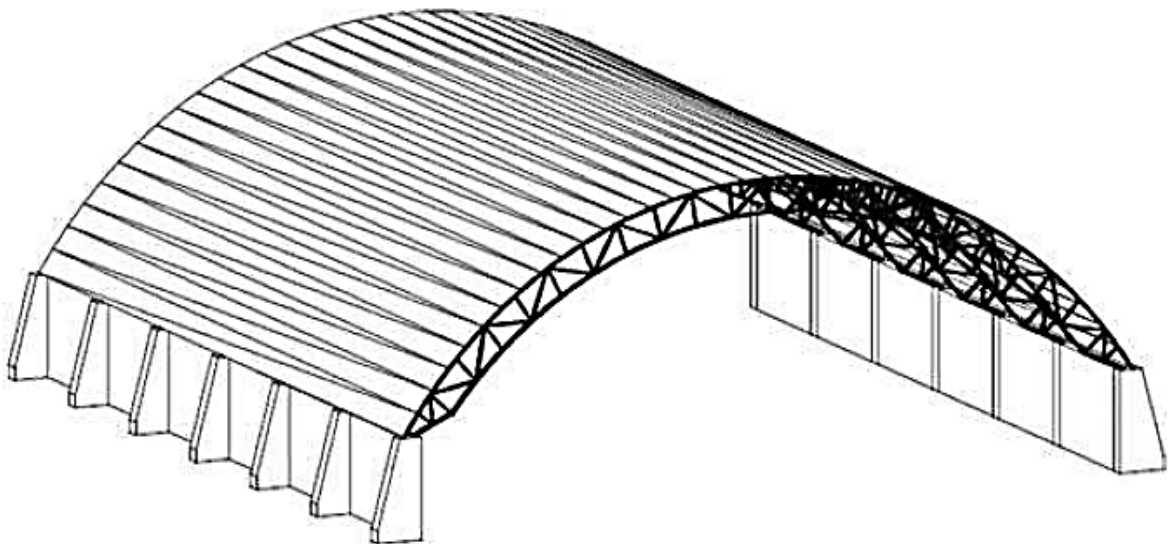
Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Figura 21 – Treliça plana espacial



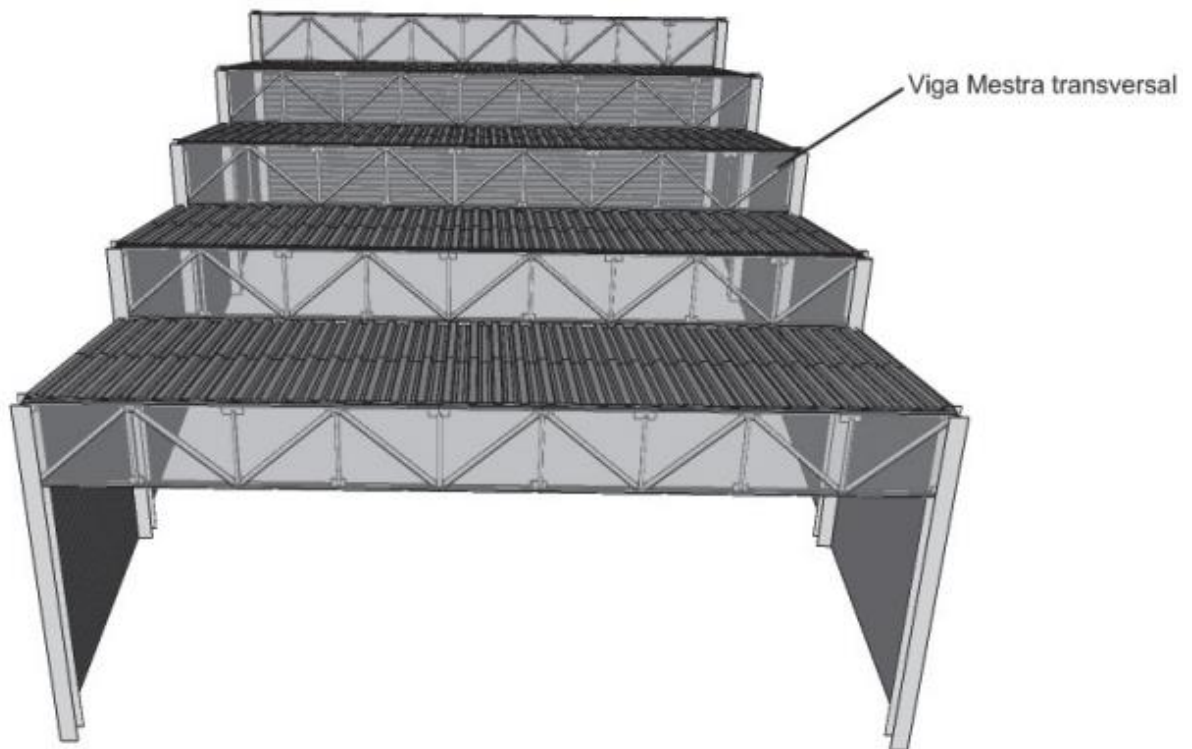
Fonte: Virginia Polytechnic Institute e State University, 2011

Figura 22 - Cobertura em arco treliçado



Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

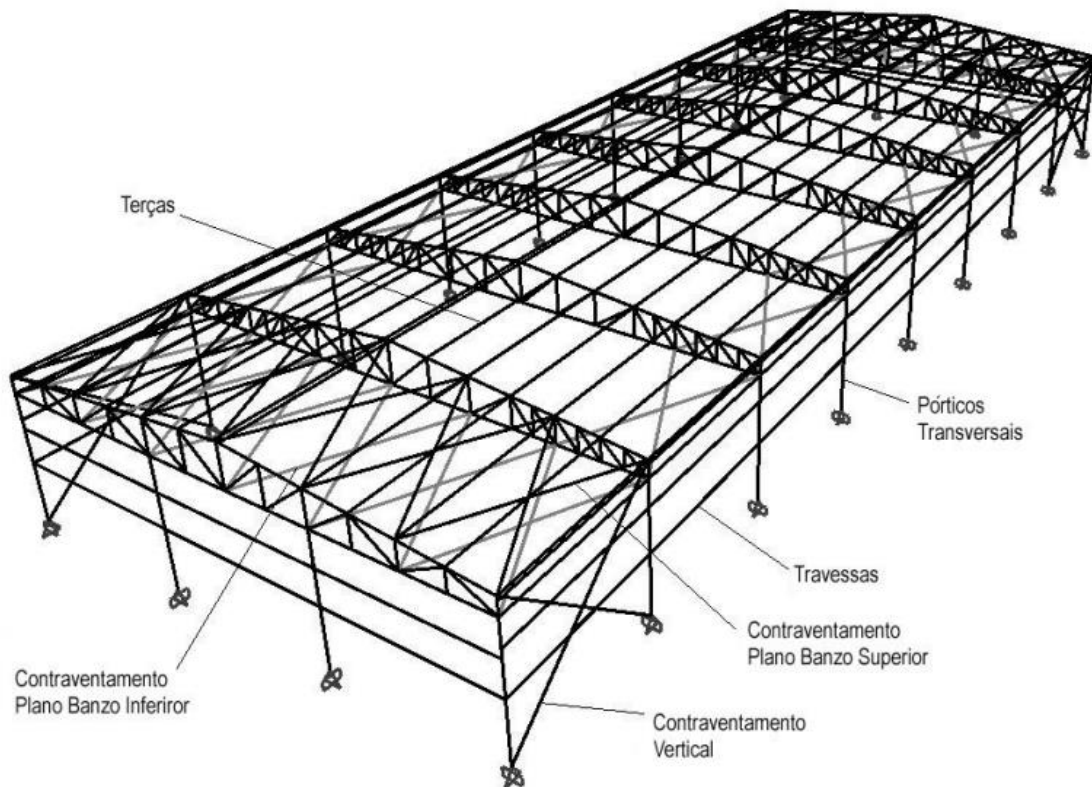
Figura 23 - Galpão tipo Shed com vigas mestras treliçadas



Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Conforme Schmitt (2022), “preza-se na análise dessas estruturas o maior aproveitamento dos perfis e o grau de complexidade dessas estruturas de acordo com o desenho estrutural e ligações adotadas.” A figura 24 retrata a escolha do objeto de estudo por se um modelo mais usual e considerado leve.

Figura 24 – Arranjo estrutural típico de um galpão industrial considerado leve

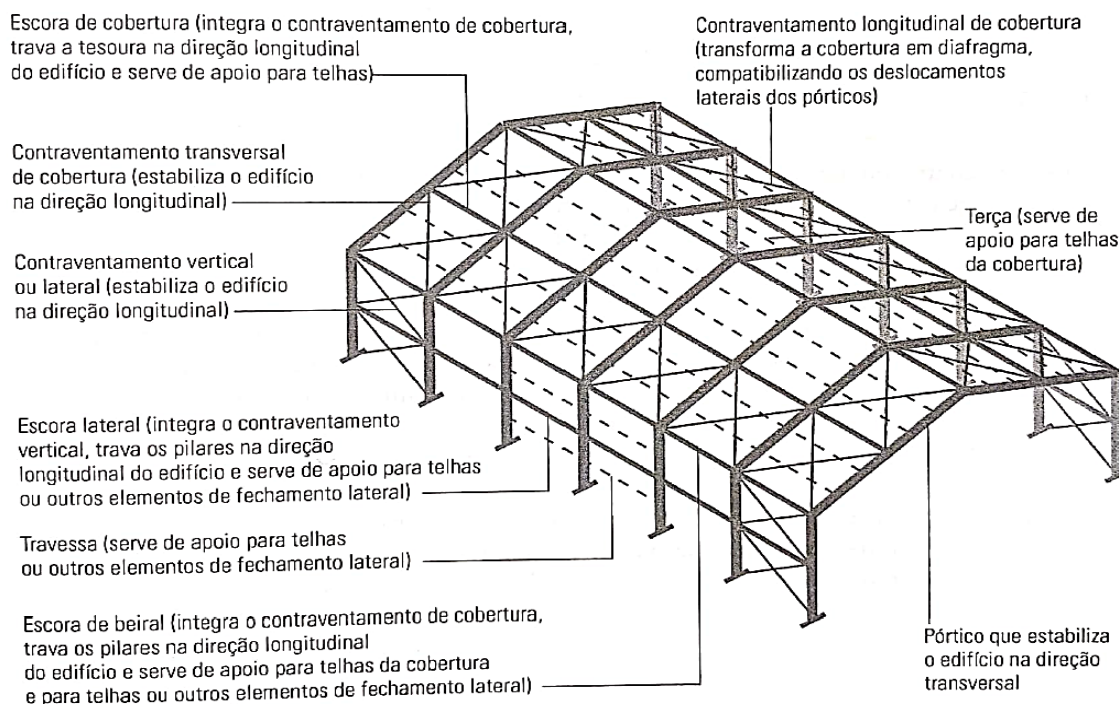


Fonte: Chaves (2007).

2.9 Peças componentes dos galpões

Continuando com a análise das estruturas metálicas, ao restringir nosso foco aos galpões metálicos, é evidente que eles consistem em uma variedade de componentes com diversas finalidades. Esses componentes desempenham funções distintas, variando de acordo com suas formas, tamanhos e posições específicas. Sua utilização está alinhada com a concepção estrutural estabelecida no projeto, e detalhes sobre eles serão apresentados nos próximos tópicos. Na Figura 25 a seguir, podemos observar algumas das principais peças que compõem um galpão.

Figura 25 - Demonstrativo de peças componentes de galpão com descrição



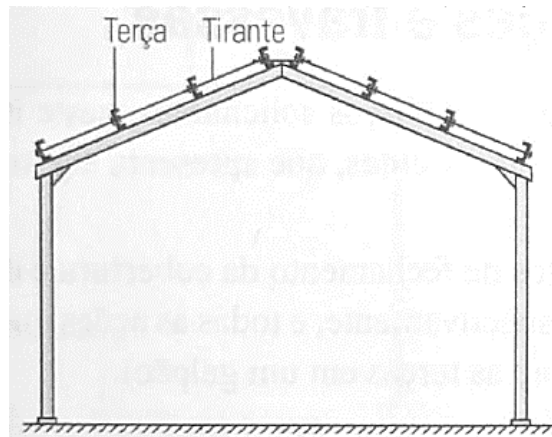
Fonte: Fakury, et al. (2016).

Esses componentes são divididos em elementos principais e secundários. Os elementos principais são, os elementos que se forem a colapso, a estrutura vai a colapso global, sendo, pilares, vigas, contravento vertical e horizontal e treliças. Já os elementos secundários são elementos se forem a colapso, não leva toda a estrutura junto a ela, apenas deforma o local onde se está posicionada, sendo eles, as terças, correntes rígidas, tirantes, longarinas de fechamento. (DIAS, 2022).

2.9.1 Terças

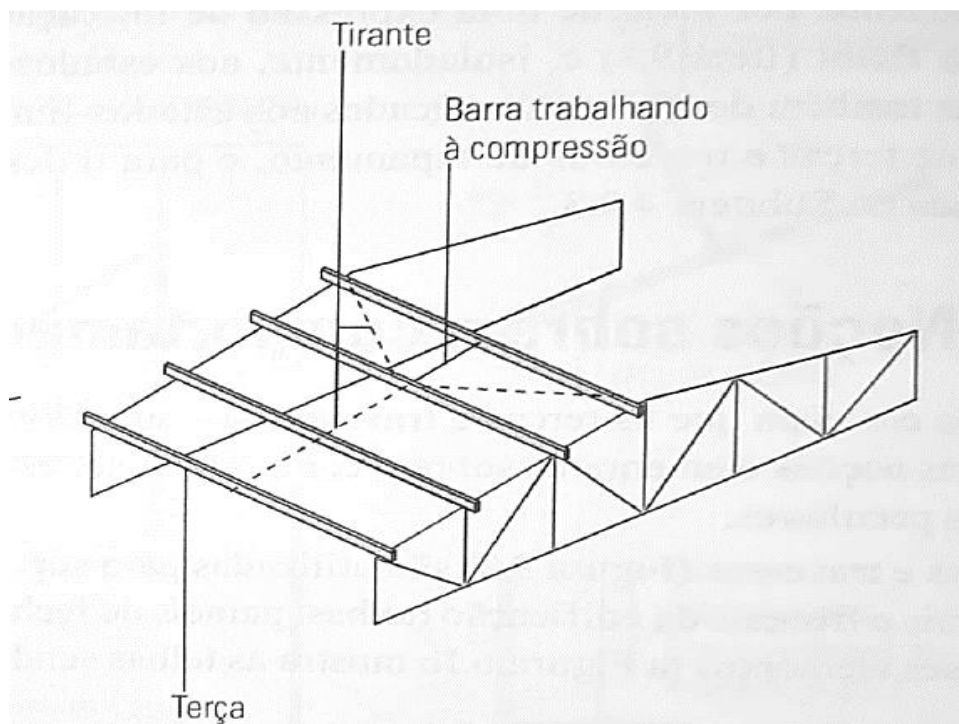
Conforme Pfeil e Pfeil (2009), as terças são vigas localizadas nos planos de cobertura, responsáveis por transferir as cargas exercidas sobre as telhas para a estrutura principal. O espaçamento entre essas vigas é determinado pelo vão das chapas que compõem o telhado, variando geralmente de 1,5 a 4 metros. As cargas predominantes incluem o peso próprio das telhas, o peso de painéis solares e as pressões e sucções provocadas pelo vento. As cargas de vento induzem flexão linear em torno do eixo de maior inércia, enquanto as cargas gravitacionais geram flexão diagonal nas terças. As Figuras 26 e 27 ilustram a aplicação das terças no plano da cobertura.

Figura 26 - Visão das terças e tirantes em corte transversal



Fonte: Fakury, et al. (2016).

Figura 27 - Terças com linhas de corrente e tirantes

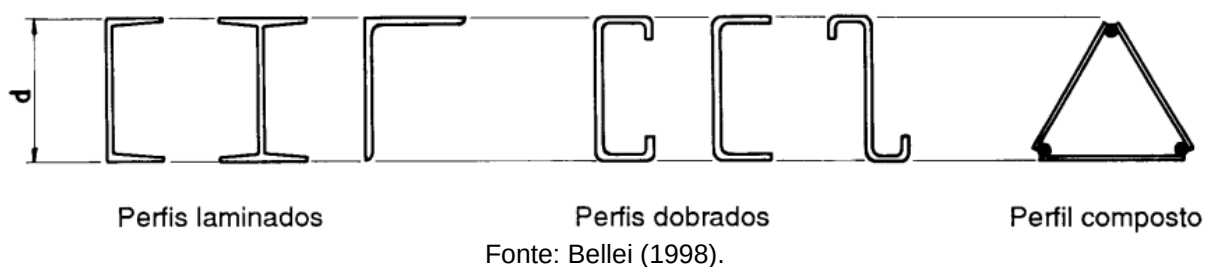


Fonte: Fakury, et al. (2016).

Conforme ilustra a figura 27 acima, o sistema de contravento das terças é composto por tirantes, linhas de correntes, correntes rígidas e mão francesa. Sendo função desses elementos travar as terças, diminuindo assim o comprimento de flambagem nos eixos Y e X. Em torno do eixo X, os pontos travados são feitos através das mãos francesas na parte inferior da terça, diminuindo o comprimento de flambagem em torno desse eixo, já em torno do eixo Y, os pontos travados são feitos através dos

tirantes e linhas de correntes e ou correntes rígidas, essas também travam a flambagem lateral da terça. Por fim, pode-se afirmar que as mãos francesas também travam o banzo inferior das treliças e vigas de cobertura. As terças podem ser vigas bi apoiadas ou contínuas. A figura 28, apresenta os tipos de perfis mais utilizados nesses elementos.

Figura 28 - Os tipos de perfis mais empregados

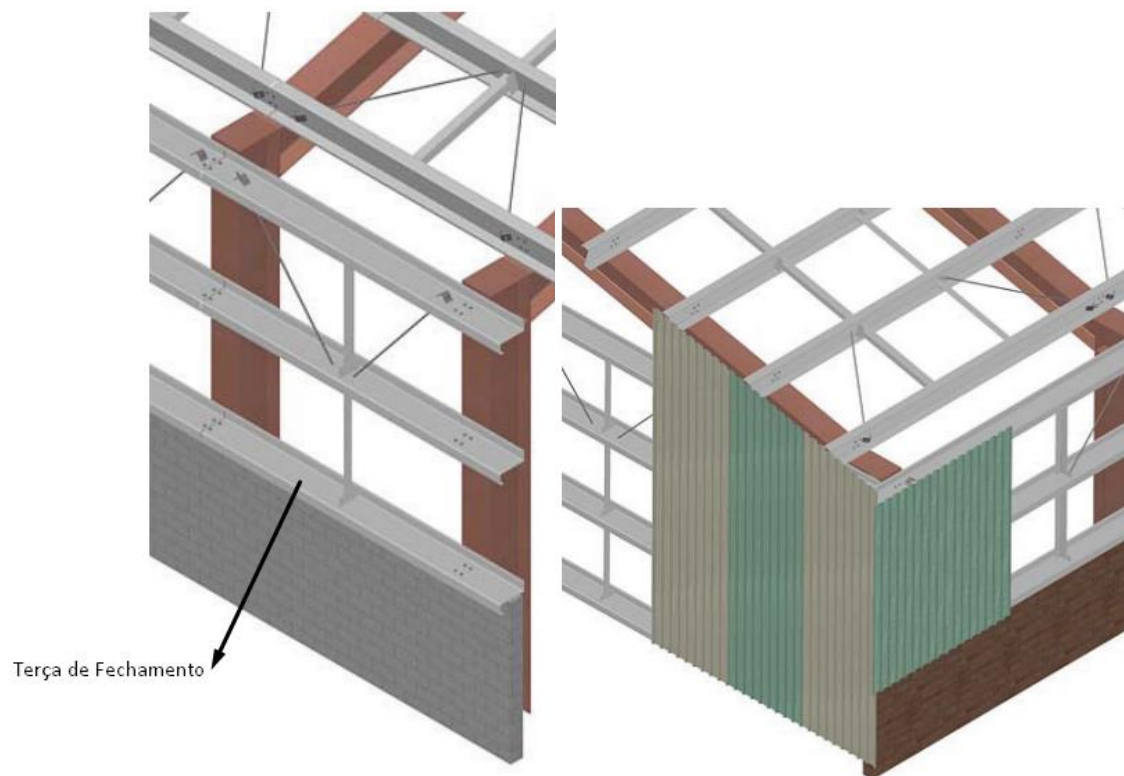


2.9.1.1 Terças de fechamento lateral

De acordo com Bellei (1998), terças de fechamento lateral ou também chamadas longarinas, são vigas situadas entre pórticos ou colunas com a finalidade de estruturar, quando utilizadas para fechamento, as chapas de tapamento. Estão sujeitas a solicitações de flexão dupla, no sentido da maior inércia, provocada pela pressão ou sucção do vento, e no sentido da menor inércia, provocada pelo peso próprio das vigas e chapas de tapamento. A figura 29 apresenta a perspectiva desse elemento.

Assim como as terças de cobertura as terças de fechamento lateral também podem ser vigas bi apoiadas ou engastadas e possuem sistema contraventamento formado por linhas de corrente, corrente rígidas, tirantes e mãos francesas.

Figura 29 - Visão em perspectiva de terças de fechamento lateral com chapas

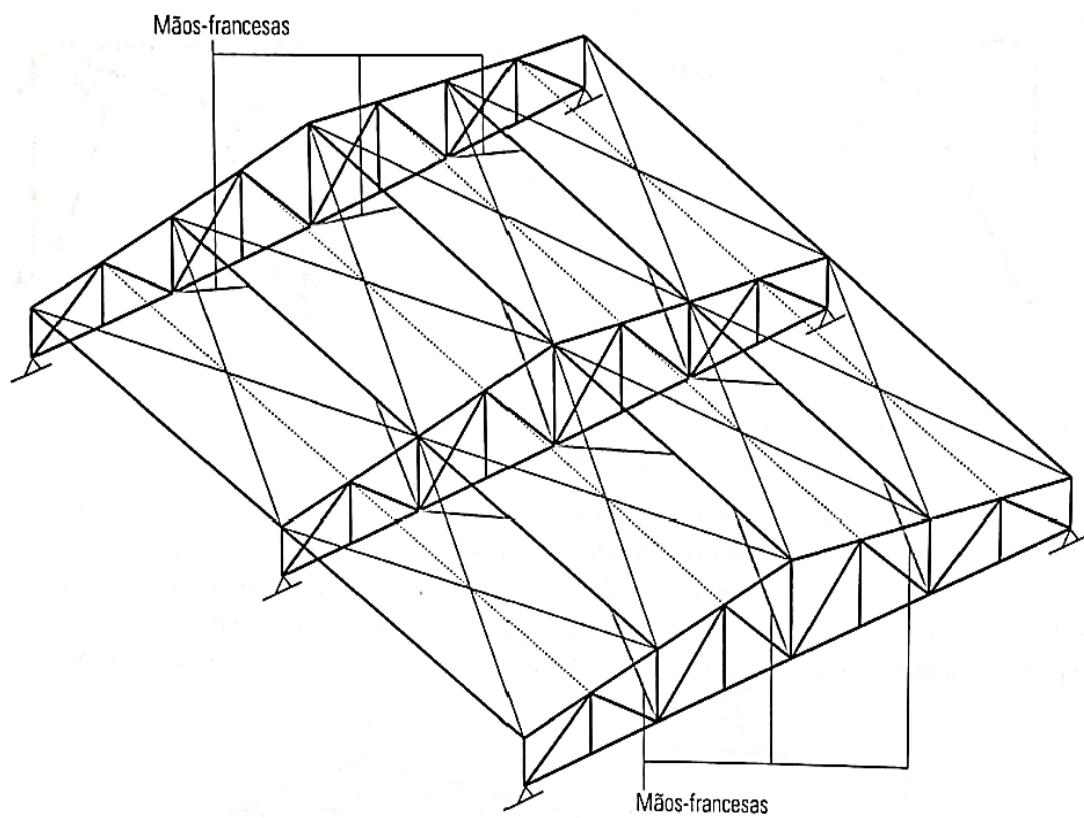


Fonte: Terra (2017).

2.9.2 Mão francesa

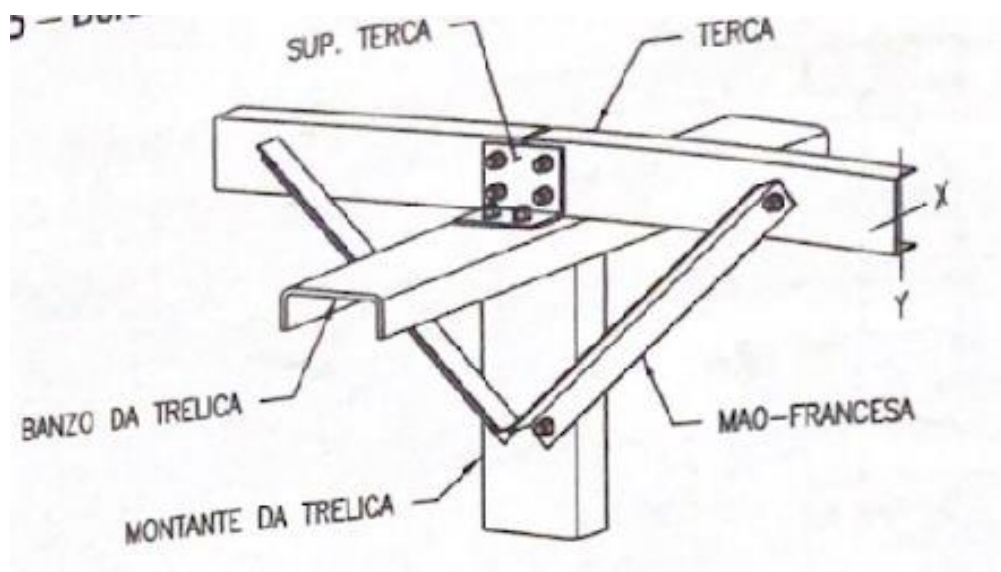
De acordo com Bellei (1998), as mãos francesas desempenham um papel essencial ao contribuir para a redução dos vãos em vigas e terças. Em outras palavras, elas ajudam a diminuir o comprimento suscetível a flambagem ao longo do eixo x , além de oferecer suporte para evitar a flambagem lateral na parte inferior das vigas ou nas barras inferiores das treliças, como exemplificado na Figura 30 abaixo.

Figura 30 - Aplicação de mãos-francesas nas terças



Fonte: Fakury, et al. (2016).

Figura 31 - Detalhe qualitativo de montagem de terças com mãos francesas



Fonte: Volpato (2022).

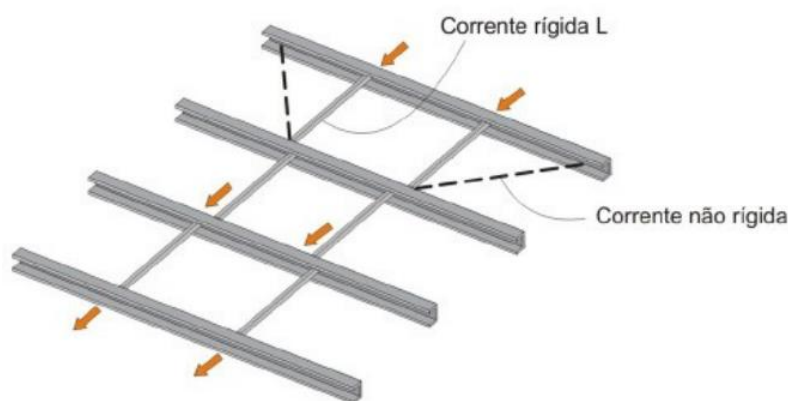
Consoante figura 31 acima, de maneira mais clara, é função da mão francesa, diminuir o comprimento de flambagem das terças em torno do eixo X, travando as terças na parte inferior da mesma. Além disso, a mão francesa melhora o comportamento das terças, gerando momento negativo, no ponto de encontro da terça. Logo diminuindo o momento positivo da terça, fazendo que os momentos sejam mais uniformes. Ademais a mão francesa trava o banzo inferior da treliça, ajudando assim no sistema de contraventamento da treliça. (DIAS, 2022).

2.9.3 Linhas de corrente ou correntes rígidas e tirantes

As linhas de corrente e os tirantes trabalharão de maneira conjunta. Conforme orientado por Bellei (1998), essas barras devem ser instaladas entre os apoios das vigas (terças) com o propósito de reduzir os vãos e os comprimentos suscetíveis à flambagem. É recomendada a aplicação de uma linha de corrente para vãos de até 6 metros e duas ou mais para vãos que excedam essa medida. As Figuras 32 e 33 a seguir ilustram as linhas de corrente e os tirantes em duas situações: na cobertura e no revestimento lateral.

As correntes, peças de travamento das terças que evitam o segundo movimento do perfil da terça quando da carga atuando, também tem grandes funções: a de diminuir a distância entre os pontos de giros, e principalmente, a de reduzir os momentos fletores que surgem no plano Y da seção do perfil, devido à decomposição das cargas perpendiculares à linha do horizonte PP (peso próprio), AP (carga acidental permanente) e SC (sobrecarga). Quando essas cargas são decompostas em relação aos eixos principais do perfil x e y, sugere uma componente, que atuará em relação eixo Y, causando, nesse eixo, momento fletor. (VOLPATO, 2022, p. 183).

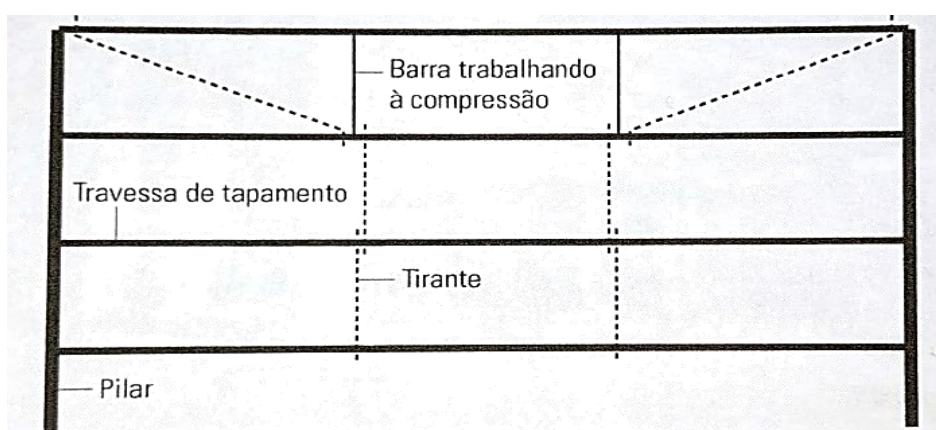
Figura32 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em coberturas



Fonte: Centro Brasileiro da Construção em aço (2014).

Como dito anteriormente, as linhas de correntes representadas nas figuras 32 e 33, tem função de diminuir o comprimento de flambagem das terças no eixo Y. Pois a partir dela, é possível travar as terças gerando os pontos travados. Para Volpato (2022), as correntes recebem esse nome por impedir a rotação da mesa comprimida no perfil da terça, sendo utilizadas para combater e reduzir a distâncias entre os pontos travados na flexão, definindo assim o momento fletor máximo admissível na peça. Ou seja, quanto maior for a quantidade de correntes adotadas nas terças, maior será o momento admissível nesse perfil.

Figura 33 - Utilização das linhas de corrente e tirantes em tapamento lateral



Fonte: Fakury, et al. (2016).

As correntes rígidas são compostas por cantoneiras ou barras redondas, ao passo que os tirantes, em sua maioria, são constituídos por barras redondas ou cabos de aço. A combinação das correntes rígidas com os tirantes forma um sistema de distribuição das cargas exercidas sobre as terças para os pórticos do galpão.

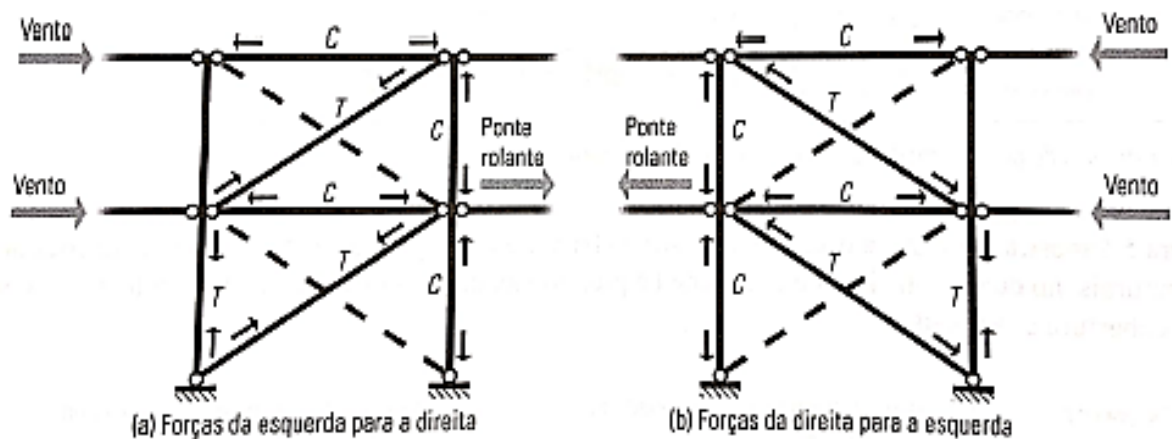
2.9.4 Contraventamentos e vigas de travamento

Os contraventamentos consistem em barras dispostas em formato de "X," que, em geral, compõem um sistema treliçado. Eles podem ser aplicados horizontalmente (nas coberturas) e verticalmente (nos pilares e vigas). Sua finalidade principal é proporcionar estabilidade tridimensional a toda a estrutura, especialmente durante a fase de montagem, reforçando a rigidez do edifício e contribuindo para a distribuição das cargas de vento, conforme indicado por Bellei (1998).

Enquanto isso, as vigas, em conjunto com os contraventamentos, têm o propósito de oferecer um reforço adicional à estrutura, aprimorando ainda mais sua

estabilidade espacial. Elas reduzem os comprimentos desprotegidos da estrutura e aprimoram a capacidade de resistência de elementos como os pilares em relação à flambagem. Por exemplo, a Figura 34 ilustra como as cargas de vento e as pressões das pontes rolantes são distribuídas pelos contraventamentos verticais e pelas vigas de travamento até a fundação.

Figura 34 - Distribuição das cargas de vento pelos contraventamentos e vigas



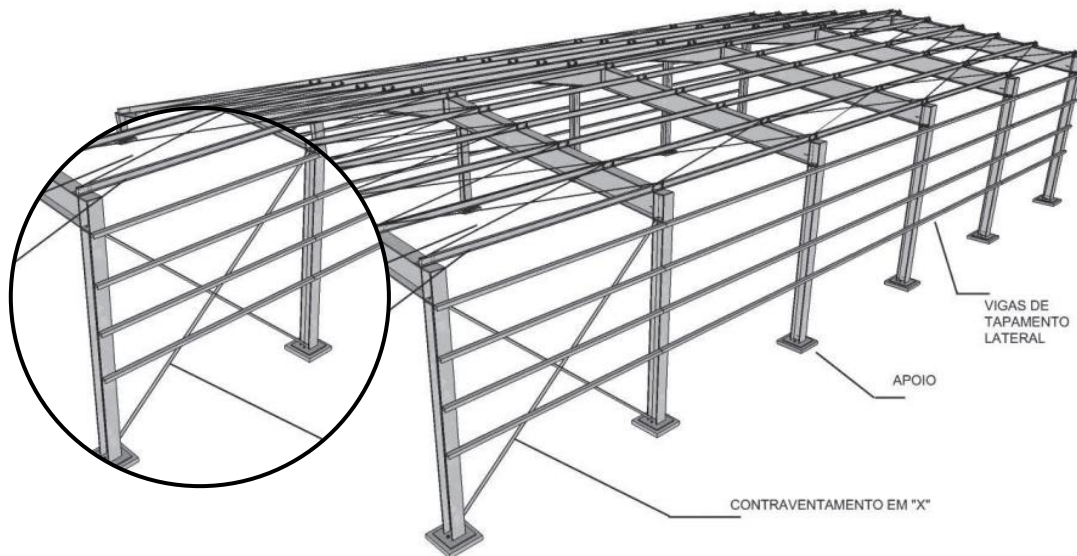
Fonte: Fakury, et al. (2016).

Nota-se na figura acima que quando as forças de vento atuam na estrutura, as vigas de travamento são comprimidas e os elementos de contraventamento tracionados. Até que transmitem as cargas absorvidas para as fundações.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), os contraventamentos também desempenham um papel crucial na melhoria da estabilidade lateral dos banzos superior e inferior da treliça, dependendo da concepção estrutural e do tipo de força do vento atuante na estrutura (sucção ou pressão). Quando submetidos à ação das cargas gravitacionais, os contraventamentos no plano horizontal contribuem para reduzir os comprimentos suscetíveis à flambagem, fortalecendo, assim, a capacidade de resistência à compressão dos banzos da treliça. Ou seja, os contraventamentos possuem 3 funções: i) Resistir os esforços horizontais; ii) Travar a estrutura espacialmente, estabilizando a mesma; e iii) Diminuir o comprimento de flambagem dos elementos travados.

A figura 35 demonstra um exemplo de contraventamento horizontal presente na cobertura de um galpão metálico.

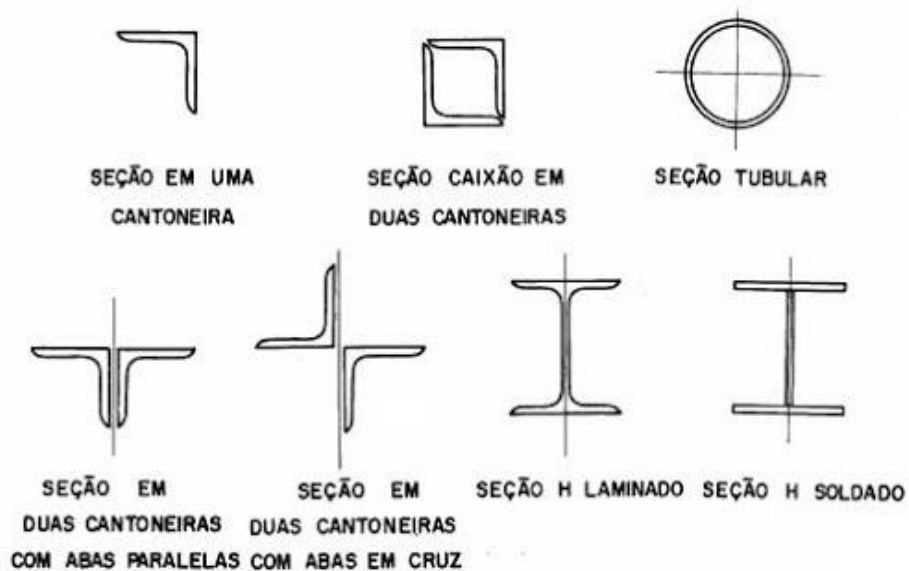
Figura 35 - Contraventamentos horizontais em cobertura de galpão



Fonte: Chamberlain, et al. (2013).

Os perfis mais usuais nesse componente costumam ter seções mais leves, por levar em conta a esbeltez e a resistência aos esforços normais. A figura 36 abaixo, apresenta os perfis comumente utilizados.

Figura 36 - Perfis usados em contraventamento



Fonte: Bellei (2011).

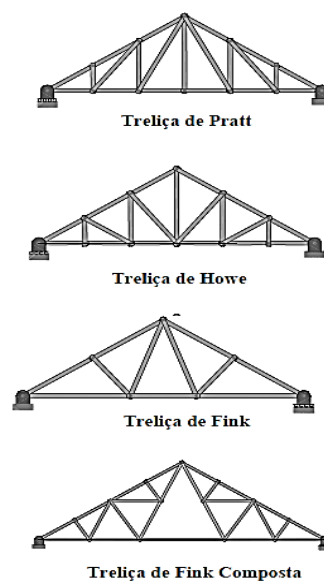
2.9.5 Trelças

As trelças são elementos compostos que consistem em banzos (superior e inferior), diagonais e montantes verticais. De acordo com Amorim (2018), é recomendável projetar essas estruturas com diagonais inclinadas a um ângulo de 45° a 55° , observando que trelças com maiores alturas consomem menos aço e apresentam menores deformações. O autor classifica os vãos em três categorias: até 30 metros como pequenos, de 30 a 60 metros como médios e acima de 60 metros como grandes.

Chaves (2007) complementa que o banzo superior da trelça ou a mesa superior da viga de alma cheia, que compõem a tesoura, devem ser preferencialmente paralelos à cobertura. A inclinação da cobertura é determinada pelo material utilizado para o revestimento ou pelo efeito estético desejado, sempre respeitando a declividade mínima permitida para o material empregado.

De acordo com Gomes (2016), as trelças são sistemas articulados planos constituídos por conjuntos de barras rígidas e esbeltas conectadas entre si por articulações, formando uma estrutura isostática. Os carregamentos são aplicados nos nós e redistribuídos para o sistema treliçado, permitindo que essas estruturas suportem cargas muito superiores ao seu próprio peso, o que as torna capazes de vencer grandes vãos. A Figura 37 apresenta exemplos de trelças frequentemente empregadas na construção civil.

Figura 37 - Formatos de desenhos de trelça com nome de seu criador



Fonte: Gomes (2016).

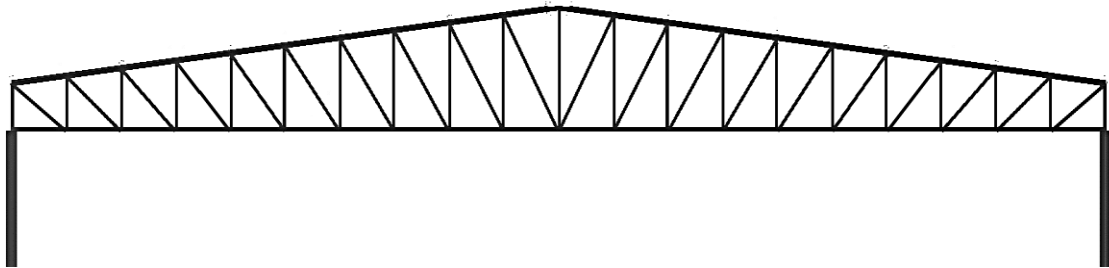
De acordo com a mesma autora, idealmente, as barras de uma treliça devem estar submetidas apenas a esforços normais de tração e compressão. No entanto, devido à natureza esbelta de seus elementos, as treliças têm pouca resistência a cargas laterais. Isso muitas vezes requer que o projetista adote um sistema no qual as cargas são transmitidas diretamente para os nós ou através de um sistema treliçado eficaz que redistribui as cargas de maneira uniforme.

Os modelos de treliças mais comuns em estruturas de galpão são as treliças de duas águas, conforme descrito por Silva (2010). Essas treliças são projetadas para suportar dois planos de telhado, os quais podem ter declividades iguais ou diferentes. Segundo a norma NBR 8800:2008, a inclinação mínima recomendada para telhados em duas águas é de 5% ou aproximadamente 2,86 graus. Essa inclinação é estabelecida para garantir o escoamento adequado da água da chuva e evitar acúmulo de água na cobertura, o que poderia causar problemas de infiltração e sobrecarga na estrutura. No entanto, é importante ressaltar que a inclinação mínima pode variar de acordo com as especificações do projeto e as condições climáticas da região. É sempre recomendado consultar a norma atualizada para verificar as diretrizes mais recentes em relação a esse aspecto.

Seguindo o mesmo argumento do autor mencionado, a distância entre as treliças geralmente varia de 4 a 8 metros, dependendo do espaçamento entre os pilares que compõem o galpão. As estruturas treliçadas apresentam diversos formatos, e cada uma delas exibe um comportamento distinto. O autor destaca que as mais comuns em galpões são as treliças de configuração trapezoidal, triangular e especial, as quais serão detalhadas nos próximos tópicos.

2.9.5.1 Treliças trapezoidais

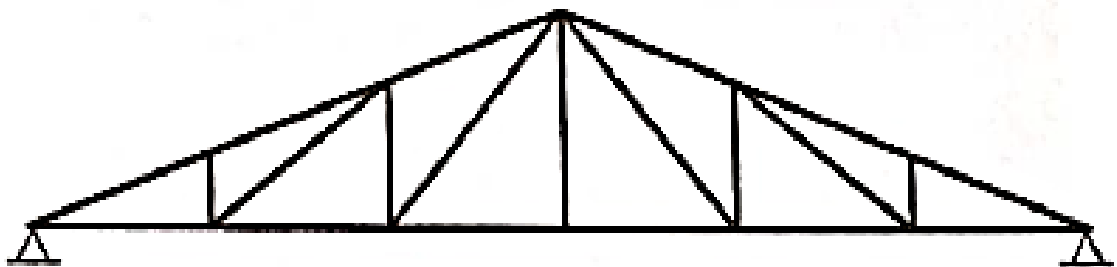
De acordo com as informações de Silva (2010), as treliças do tipo trapezoidal apresentam uma configuração de tesoura mais alta em comparação com as treliças triangulares, o que resulta em esforços axiais menores nos banzos. A conexão estrutural entre a treliça e o pilar pode ser projetada como articulada ou engastada, conforme a escolha do projetista. Um exemplo de uma treliça trapezoidal é ilustrado na Figura 38.

Figura 38 - Treliça trapezoidal

Fonte: Schmitt (2022).

2.9.5.2 Treliças triangulares

De acordo com Silva (2010), as treliças do tipo triangular apresentam uma configuração mais compacta devido ao seu formato, resultando em esforços mais elevados nos banzos próximos aos apoios. Além disso, a conexão entre a treliça e o pilar é articulada, ou seja, a treliça apoia-se nos pilares sem restrições. A Figura 39 exemplifica um modelo de treliça triangular.

Figura 39: Treliça Triangular

(a) Banzo inferior horizontal e superior inclinado

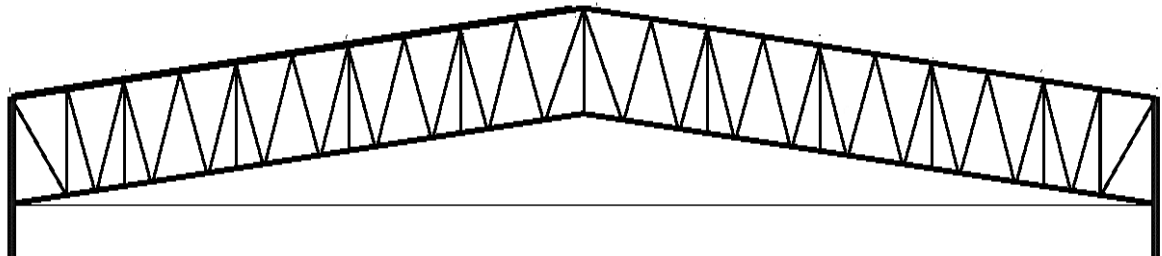
Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.9.5.3 Treliças especiais de banzos paralelos

Para Silva (2010), as treliças do tipo especial são projetadas para atender às necessidades de inclinações de coberturas mais íngremes. Essas treliças possuem uma conexão rígida entre a treliça e o pilar, onde a treliça é engastada no pilar,

podendo ser implementada com o uso de tirantes que trabalharão apenas na tração. A Figura 40 exemplifica um modelo de treliça especial com banzos paralelos.

Figura 40 - Treliça especial de banzos paralelos com tirante

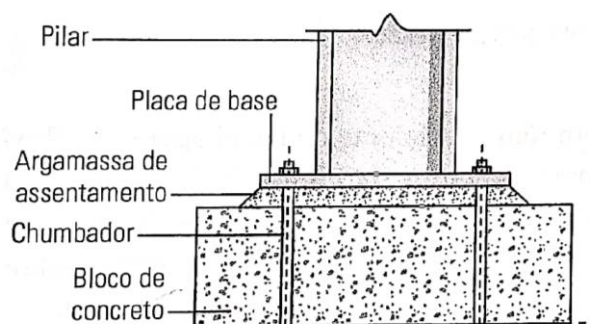


Fonte: Schmit (2022).

2.9.6 Colunas

as colunas ou pilares desempenham um papel fundamental na estrutura, sendo responsáveis por transferir as cargas, tanto verticais como horizontais, provenientes de outras partes da estrutura para os elementos de fundação, utilizando chumbadores em placas de base. esses pilares podem estar sujeitos a diferentes estados de tensão, incluindo compressão, compressão com flexão e tração com flexão. eles desempenham um papel essencial na garantia da estabilidade global da estrutura, conforme observado por bellei (1998). No contexto de galpões industriais as colunas ainda podem sofrer flexão simultânea. “Em uma estrutura esquelética de um galpão comum, é o elemento que receberá os esforços das vigas e cobertura, e transmitirá para fundação.” (JACON, 2022). A Figura 41 a seguir demonstra um pilar fixado pelos chumbadores com o uso de placa de base.

Figura 41 - Detalhe de pilar com ligação ao bloco de concreto por chumbadores



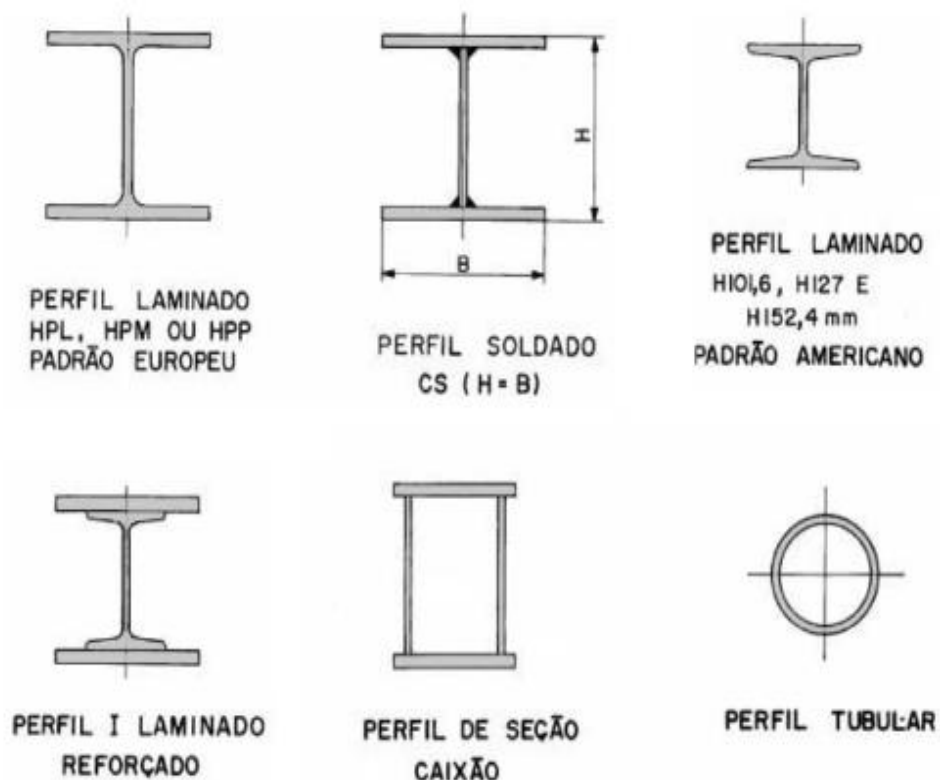
Fonte: Fakury, et al. (2016).

2.9.6.1 Colunas de Alma Cheia

Os pilares de alma cheia, são componentes formados por perfis metálicos soldados, laminados e dobrados a frio. Podendo apresentar seções constantes ou variáveis. A vinculação das bases nesses tipos de perfis, são tipicamente de 3º grau, ou seja, engates, mas podendo ser rótulas a depender da concepção estrutural do modelo. Esses perfis podem ser empregados em pavilhões de exposição, indústrias, edifícios múltiplos, pavilhões comerciais, ginásio de esportes, pipe-rack e estruturas de movimentação de grãos. (VOLPATO, 2022).

Bellei (2010), ainda acrescenta que para haver uma boa economia é importante um bom equilíbrio de rigidez nos dois sentidos dos perfis. As colunas de alma cheia mais usuais têm o formato H e I. conforme é apresentado na figura 42. A figura 43, apresenta um galpão com pilares em alma cheia e representado por perfil tipo I.

Figura 42 - Perfis em alma cheia



Fonte: Bellei (2010).

Figura 43 - Galpões com pilares em alma cheia



Fonte: Camargo (2019).

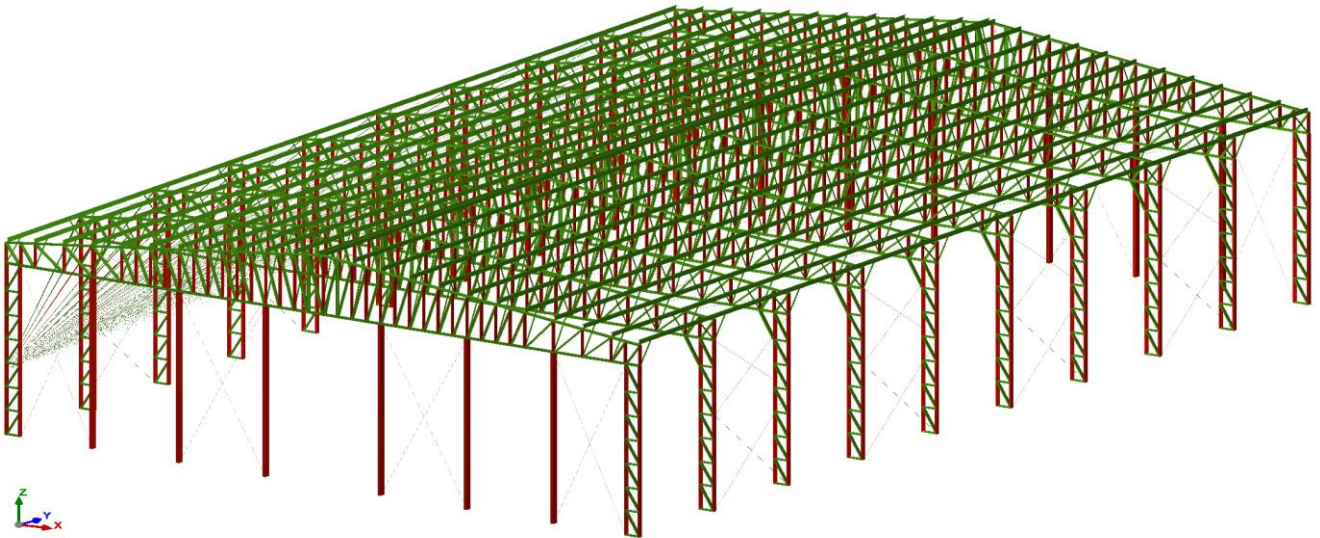
2.9.6.2 Colunas Treliçadas

Consoante Volpato (2022), pilares treliçados são formados por subconjuntos treliçados que compõem conjuntos lineares monolíticos. E que por se tratar de treliça, todos os nós são considerados rótulas, cujas as barras que compõem, os nós têm seus eixos baricêntrico convergentes para um mesmo ponto chamado ponto de trabalho. Apresentam a mesma aplicabilidade das colunas de alma cheia, podendo vencer grandes alturas. Bellei (2010), complementa que a vantagem básica das colunas treliçadas é a possibilidade de ser obtida a resistência equivalente às de alma cheia, embora se tenha um pequeno acréscimo de mão de obra na fabricação. O exemplo dessa coluna pode ser visto na figura 44 a seguir.

Conforme Bellei (1998 apud CAMARGO, 2019, p. 21),

Um pilar treliçado ou travejado é composto de um ou vários perfis laminados, ligados por chapas ou cantoneiras situadas nos planos das mesas. Sua vantagem é a possibilidade de ser obtida a resistência equivalente às de alma cheia, embora se tenha um pequeno acréscimo de mão-de-obra na sua fabricação.

Figura 44 - Galpões com pilares treliçados

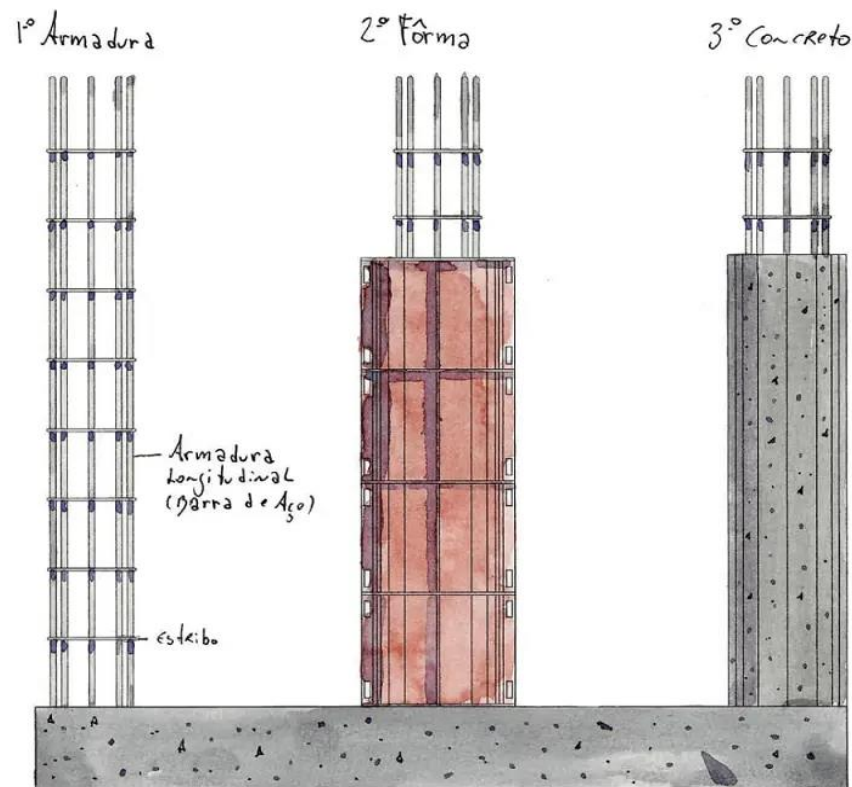


Fonte: Próprio autor (2023).

2.9.6.3 Colunas em Concreto

De acordo com Bastos (2015), o pilar de concreto armado podem ser pré-moldados ou feito in loco, são elementos de aço revestido com concreto conforme a figura 45 e 46, seu dimensionamento é feito em função dos esforços externos solicitantes de cálculo, que compreendem as forças normais, os momentos fletores e as forças cortantes no caso de ação horizontal. Normalizados pela ABNT NBR 6118. Levam em consideração a agressividade ambiental, qualidade do concreto de cobrimento e espessura do cobrimento da armadura de cobrimento, em primeira instância. Inson (2022), assevera que o pilar em concreto tem maior resistência a compressão que os pilares em aço. O mesmo autor assegura que os pilares pré moldados são mais usuais em galpões que os feitos in loco.

Figura 45 - Fases de um pilar em concreto em construção



Fonte: Inson (2022).

Figura 46 - Galpão com pilares em concreto



Fonte: Mauro Sanchez (2023).

2.10 Telhas

De acordo com a ABNT 8800:2008 e ABNT NBR 14762:2010, as telhas mais usuais em galpões industriais de pequeno e médio porte são frequentemente escolhidas com base em critérios como custo, durabilidade, praticidade de instalação e eficiência térmica. Dentre as opções disponíveis no mercado, destacam-se as seguintes:

Telha Trapezoidal em Aço Galvanizado: A telha trapezoidal em aço galvanizado é uma das mais populares em galpões industriais. Ela é fabricada em aço revestido com camada de zinco, proporcionando boa resistência à corrosão e uma vida útil longa. Além disso, seu formato trapezoidal garante ótima capacidade de escoamento de água, tornando-a adequada para regiões com chuvas frequentes

Telha Ondulada em Fibrocimento: A telha ondulada em fibrocimento é conhecida por sua resistência e facilidade de instalação. Ela é composta por cimento, fibras naturais e reforçada com amianto ou outras fibras sintéticas. Apesar de sua durabilidade, algumas normas e regulamentações vêm restringindo o uso de telhas de fibrocimento devido à presença de amianto.

Telha Termoacústica: As telhas termoacústicas são fabricadas com materiais isolantes, como poliuretano, poliestireno ou lã de vidro, que proporcionam excelente isolamento térmico e acústico. Essas telhas são ideais para galpões industriais que necessitam de controle de temperatura interna e redução de ruídos, como armazéns e indústrias alimentícias.

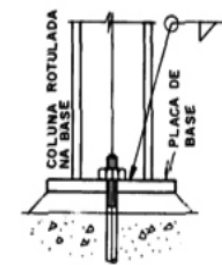
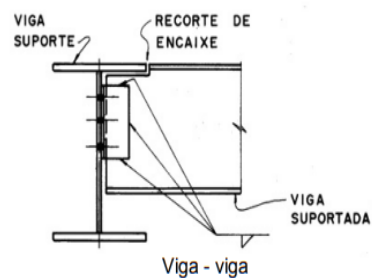
Telha Metálica Tipo Sanduíche: A telha metálica tipo sanduíche é composta por duas chapas de aço com um núcleo isolante no meio, geralmente de poliuretano ou poliestireno expandido. Essa estrutura confere à telha excelente isolamento térmico e acústico, tornando-a ideal para galpões que precisam manter uma temperatura controlada.

A escolha das telhas mais adequadas para galpões industriais pequenos e médios deve levar em consideração as necessidades específicas de cada projeto, como as condições climáticas da região, a finalidade do galpão, o orçamento disponível, entre outros fatores. Além disso, é importante seguir as normas técnicas e regulamentações vigentes relacionadas ao uso de materiais e coberturas em construções industriais.

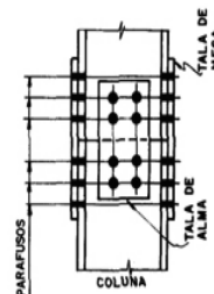
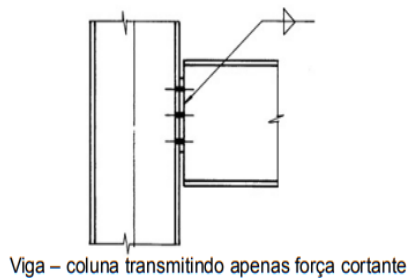
2.11 Ligações

O termo ligações para o Vasconcellos (2011), é “aplicado a todos os detalhes construtivos que promovam a união de partes da estrutura entre si ou a sua união com elementos externos a ela, como por exemplo, as fundações.”

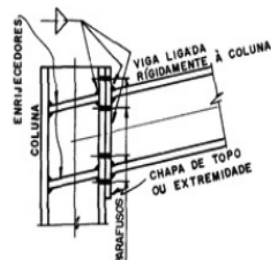
Figura 47 - Tipos de ligação em estrutura



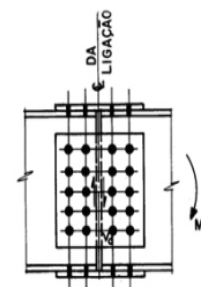
Placa de base para colunas



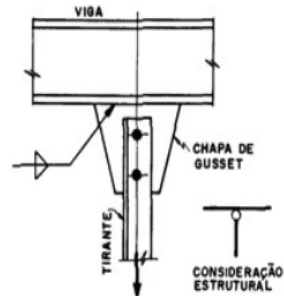
Emenda de coluna



Viga - coluna engastada



Emenda de viga



Ligação em treliças

Fonte: Vasconcellos (2011).

A figura 47, ilustra da direita para esquerda exemplos de ligações em uma estrutura, a começar pelas ligações de viga e viga, placa de bases para colunas, viga para coluna transmitindo apenas força cortante, as emendas de colunas, viga e coluna engastada, ligações em treliça e emenda em viga.

Consoante Vasconcellos (2011, p. 11),

As ligações são compostas dos elementos de ligação e dos meios de ligação. Os elementos de ligação são todos os componentes incluídos no conjunto para permitir ou facilitar a transmissão dos esforços sendo os enrijecedores, chapas de ligação, placas de base, cantoneiras, consolos, talas de emenda e parte das peças ligadas envolvidas localmente na ligação. Os meios de ligação são os elementos que promovem a união entre as partes da estrutura para formar a ligação como as soldas, os parafusos, as barras redondas rosqueadas e os pinos. Uma ligação deve ser dimensionada de forma que a sua resistência de cálculo seja igual ou superior à solicitação de cálculo ou uma porcentagem especificada da resistência de cálculo da barra. As solicitações de cálculo (forças e momentos fletores) são calculadas por meio da análise da ligação sujeita às ações respectivamente multiplicadas pelos coeficientes de ponderação e combinação específicos. Em outras palavras, as ligações devem ter resistência suficiente para suportar as ações atuantes e satisfazer todos os requisitos básicos apresentados na NBR 8800: 2008.

Pfeil e Pfeil (2008), ainda classificam as ligações segundo aos esforços e segundo a sua rigidez. Quanto aos esforços dependendo das solicitações e das posições relativas desses esforços e dos grupos de parafusos ou linhas de solda resistentes, as ligações podem ser tração ou compressão, tração ou compressão com cisalhamento, cisalhamento centrado e excêntrico. quanto a rigidez, podem ser rígidas (tem rigidez suficiente para manter praticamente constante o ângulo entre as peças (rotação relativa quase nula) para qualquer nível de carga, até atingir o momento resistente da ligação), flexível (permite a rotação relativa entre as peças com um comportamento próximo ao de uma rótula, e transmitindo um pequeno momento fletor) e semi rígida (possui comportamento intermediário entre os casos as ligações rígidas e flexíveis). Para os mesmos autores, as ligações perfeitamente rígidas e as rotuladas são casos ideais, dificilmente materializados na prática.

2.11.1 Ligações entre barras aço

2.11.1.1 Ligações Soldadas

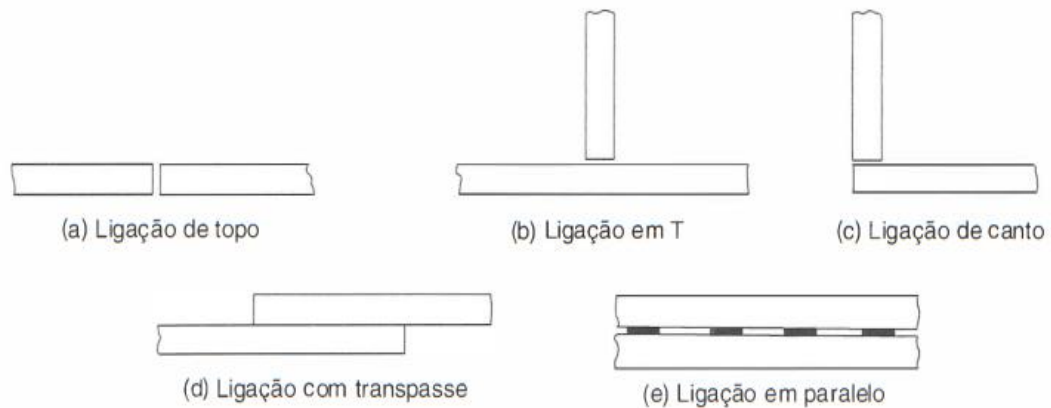
A técnica empregada para a união de dois ou mais elementos de uma peça estrutural, conservando a continuidade do material e a suas propriedades mecânicas

e químicas é a sondagem. (DIAS, 1997). Podendo ser visto nas figuras 48 e 49 os tipos de ligações soldadas e as posições soldadas com eletrodos.

A Sondagem é a técnica de unir duas ou mais partes construtivas de um todo, assegurando entre elas a continuidade do material, e em consequência suas características. (BELLEI, 2010).

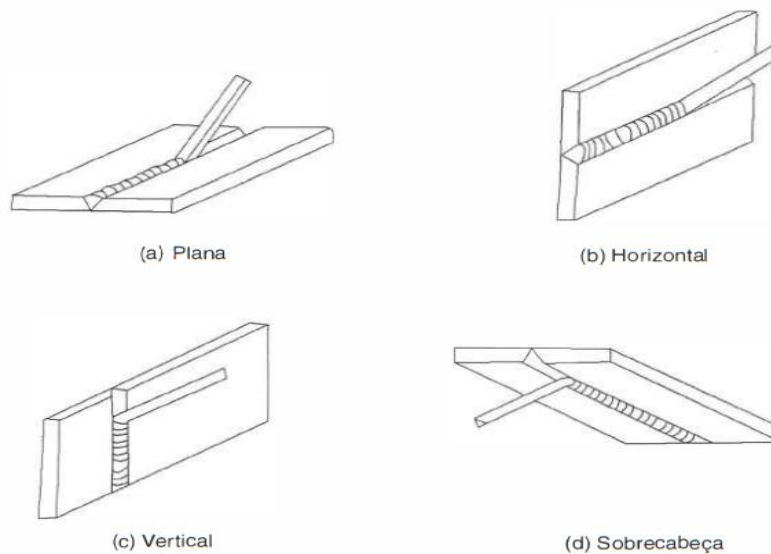
Para Dias (1997) e Bellei (2010), as vantagens dessa técnica estão na economia de material, pois garante o aproveitamento total do material, na rigidez nas ligações, na redução de custo de fabricação, e na estética do acabamento final.

Figura 48 - Tipos de ligações soldadas, segundo a posição relativa das peças



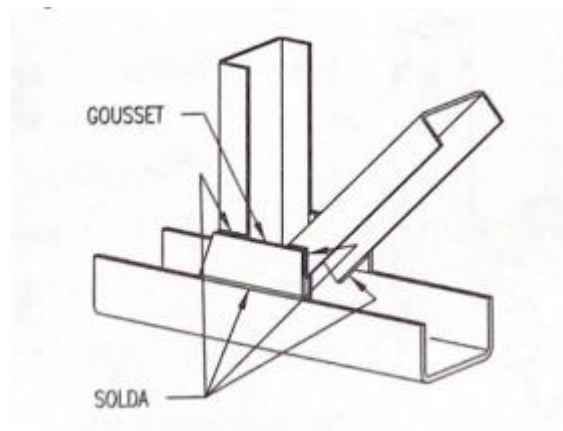
Fonte: Dias (1997).

Figura 49 - Posição de soldagem com eletrodos



Fonte: Dias (1997).

Figura 50 - Nó de treliça com ligação soldada



Fonte: Volpato (2022).

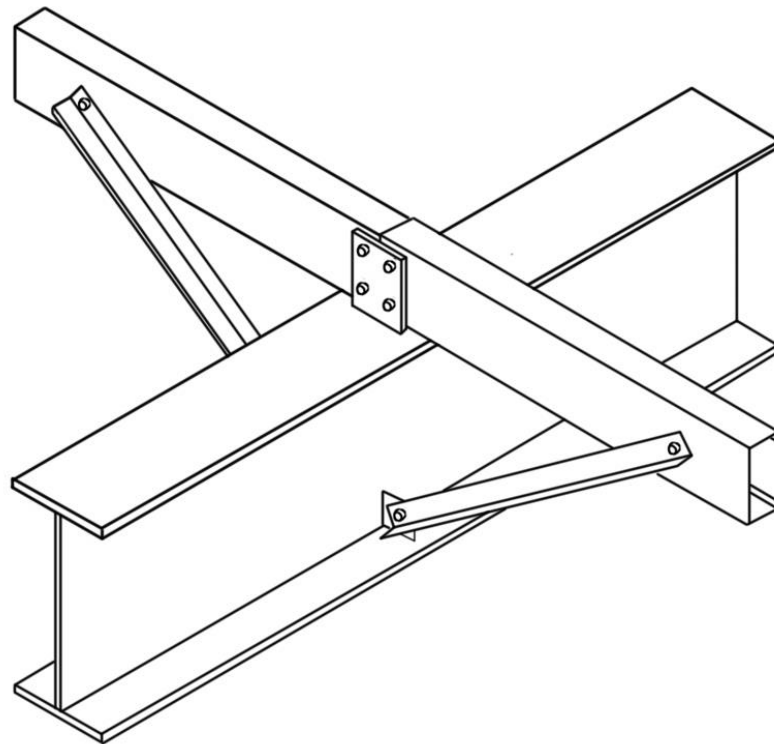
2.11.1.2 Ligações Parafusadas

As ligações parafusadas, são empregadas em grande escala nas ligações de partes das estruturas nas montagens finais de campo e nas de fábrica. Os parafusos são componentes dessa ligação, e são formados por três partes, cabeça, fuste e rosca. apesar de serem identificados pelo diâmetro nominal. a sua resistência à tração é função do diâmetro efetivo, sendo a área da seção transversal que passa pela rosca, valendo cerca de 75% da área nominal. (DIAS, 1997).

Bellei (2010), acrescenta que a vantagem dessas ligações está na rapidez nas ligações em campo, economia em relação ao consumo de energia, uso de poucas pessoas em relação às ligações de solda, e melhor resposta às tensões de fadiga. Os tipos de parafusos utilizados são os comuns ASTM A307, e os de alta resistência tipo atrito e contato.

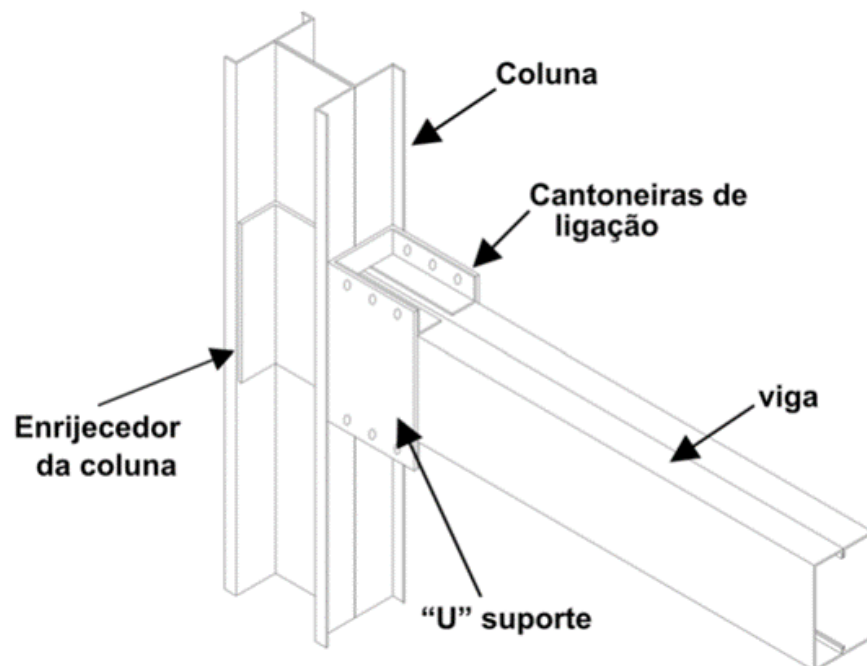
As conexões parafusadas podem ser classificadas pela forma de transmissão dos esforços aos parafusos, ligação à tração, ligação a força cortante e sujeita aos esforços combinados de tração e força cortante. As ligações a força cortante podem ser divididas ainda em ligações por atrito e contato. (DIAS, 1997). As figuras 51 e 552 apresentam as ligações parafusadas comumente feitas nos perfis.

Figura 51 – Ligação parafusada de terças e mão francesa



Fonte: Próprio autor (2023).

Figura 52 – Ligação parafusada de viga e coluna



Fonte: Ribeiro Neto (2016).

2.11.1.3 Ligações Rebitadas

Para Volpato (2022), as ligações rebitadas eram muito utilizadas antigamente, quando o processo de instalação era obtido a partir de componentes forjados e instalados sob efeitos de impactos de marretas. Nos dias atuais essa técnica está em desuso, devido a praticidade das ligações com parafusos.

Pfiel e Pfiel (2008), definem os rebites como

conectores instalados a quente, o produto final apresentando duas cabeças. Pelo resfriamento, o rebite aperta as chapas entre si, o esforço de aperto é, entretanto, muito variável, não se podendo garantir um valor mínimo a considerar nos cálculos. Consequentemente, os rebites eram calculados pelos esforços transmitidos por apoio do fuste nas chapas e por corte na seção transversal do fuste.

2.11.2 Ligações de peças metálicas e concreto

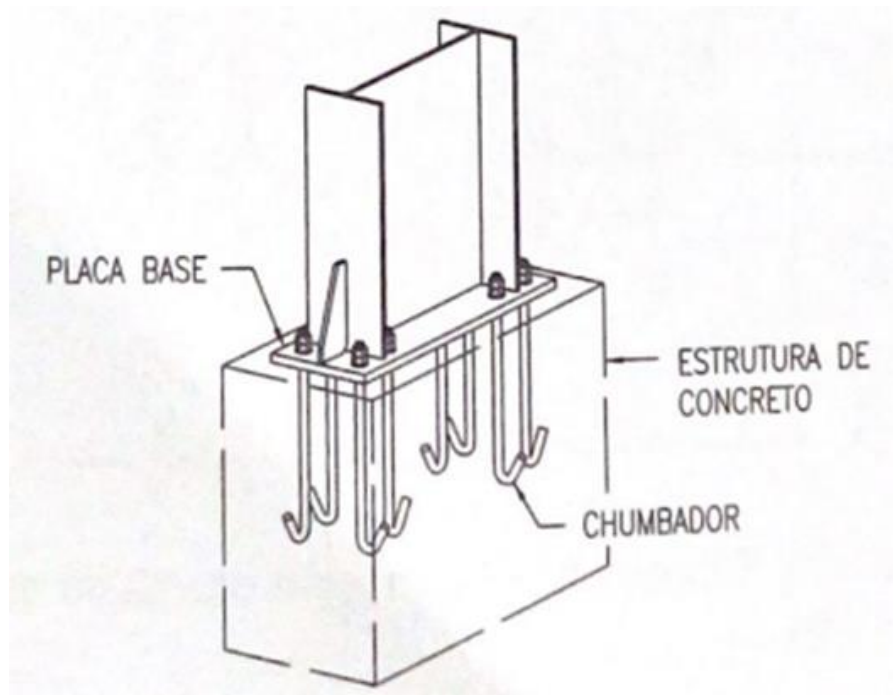
Segundo Volpato (2022), essas ligações são responsáveis pela fixação da estrutura metálica aos seus apoios em conjuntos estruturais em concreto armado. Esses sistemas podem ser pré ou pós instalados à concretagem.

2.11.2.1 Chumbadores

Dias (1997), assevera que chumbadores são barras redondas rosqueadas que servem de ligação entre pilares e fundações de concreto.

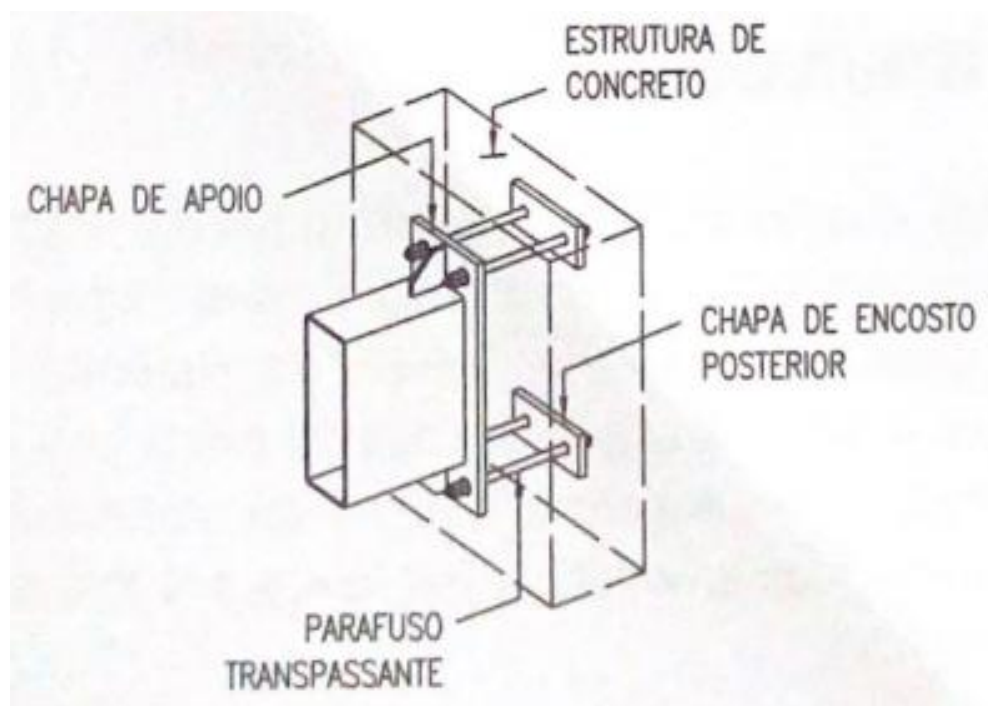
Os chumbadores pré instalados, como o nome já diz, são fixados nas armaduras de concreto antes do preenchimento das formas com concreto. A desvantagem desse tipo de chumbação é a rigidez no controle dos posicionamentos dos fixadores, que em caso dos conjuntos a serem instalados na obra, faz-se necessário o auxílio de equipamentos topográficos. Já os chumbadores pós instalados, são fixados após a cura da peça de concreto. Esses tipos de chumbadores dão grande facilidade para as montagens de conjuntos metálicos e possibilitam maior velocidade na produção de peças de concreto. (VOLPATO, 2022). A exemplo dos chumbadores as figuras 53 e 54 a seguir.

Figura 53 – Chumbador pré-concreto



Fonte: Volpato (2022).

Figura 54 – Chumbador com parafusos transpassantes



Fonte: Volpato (2022).

2.12 Desenhos

Santos (1977) aborda a divisão dos desenhos em estrutura metálica em duas partes distintas: desenho de projeto e desenhos de detalhes para fabricação. O desenho de projeto é independente do projeto de fabricação, pois não é utilizado para a fabricação das peças. Esses desenhos podem ser elaborados em escritórios por calculistas. Por outro lado, os desenhos de detalhes têm como objetivo a fabricação das peças e são desenvolvidos no departamento de desenho. O autor estabelece uma rotina de desenvolvimento de uma estrutura metálica, composta por três etapas: anteprojeto, projetos e desenhos de detalhes para fabricação.

Por sua vez, Pravia (2018) considera os desenhos como projetos, que são conjuntos de especificações, cálculos estruturais, desenhos de projeto, de fabricação e de montagem dos elementos de aço.

Em relação à fase de anteprojeto, Santos (1977) enfatiza a importância de levar em consideração critérios de projeto, como carregamento, localização, técnicas de trabalho, duração, materiais disponíveis, características do solo, clima, entre outros aspectos. A continuidade do processo envolve o pré-projeto ou projeto preliminar, no qual são desenvolvidas a memória de cálculo e a análise das especificações, deformações e esforços secundários, bem como a definição da proteção das estruturas para incêndio. A fase seguinte consiste nos procedimentos para a elaboração dos projetos. Os desenhos de projeto, como a segunda fase, devem fornecer ao desenhista de detalhes todas as informações necessárias para o detalhamento da fabricação. Eles devem incluir dimensões, perfis, materiais, cortes, ligações e outras informações relevantes para a execução.

Os desenhos e detalhes da fabricação devem seguir os mais modernos sistemas para agilizar e economizar na fabricação e montagem. É essencial que contenham todas as informações necessárias para a fabricação dos componentes da estrutura, incluindo a locação, tipos e diâmetros dos parafusos e soldas, que devem ser indicados antes da fabricação.

2.13 Análise estrutural

Em conformidade com Argenta (2020), análise estrutural visa definir os efeitos das ações como esforço normais, cortantes, fletores, torsões e deslocamentos na edificação. Verificando os estados limites últimos e de serviço. “A análise estrutural deve ser feita com um modelo que permita representar a resposta da estrutura e dos materiais estruturais, levando-se em conta todos os esforços solicitantes relevantes.”

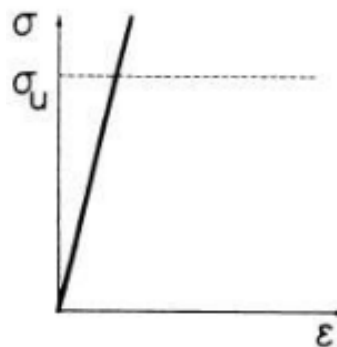
A NBR 8800 (ABNT, 2008), classifica os tipos de análise quanto o comportamento do material e quanto os efeitos dos deslocamentos.

2.13.1 Análise quanto ao material

Segundo Argenta (2020), o tipo de análise estrutural em referência ao material pode ser determinado pelos esforços internos do mesmo, sendo classificados por análise global elástica e análise global plástica.

De acordo com Suruceanu (2015), o diagrama elástico explica o comportamento do material em seu estado elástico. É apresentado quando a relação da “tensão- extensão” do material apresenta uma linearidade em toda a sua estrutura e as tensões existentes no material devem ser menores que a tensão de cedência do mesmo. Como mostrado na figura 55.

Figura 55: Diagrama elástico

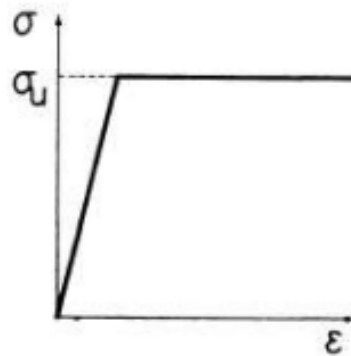


Fonte: Suruceanu (2015).

Segundo o mesmo autor, caso em que a relação “tensão-extensão” do material não é linear (ver figura 56 - Diagrama elastoplástico), este apresenta uma não

linearidade material (efeitos fisicamente não lineares) que ocorre quando as tensões do material atingem a tensão de cedência deste, provocando a sua plastificação.

Figura 56 – Diagrama elastoplástico



Fonte: Suruceanu (2015).

2.13.2 Análise quanto ao efeito dos deslocamentos

Quanto aos deslocamentos, os esforços internos podem ser determinados por análise linear (teoria de primeira ordem), com base na geometria indeformada da estrutura ou por análise não linear (teoria de segunda ordem), com base na geometria deformada da estrutura.

De acordo com Bellei e Bellei (2011), uma estrutura é considerada indeslocável quando a influência dos efeitos de segunda ordem puder ser desprezada. Isto pode ser avaliado pela razão entre os deslocamentos de segunda ordem e primeira ordem ou pela razão entre os deslocamentos relativos entre pavimentos e a altura do pavimento.

2.13.3 Classificação das estruturas quanto a sensibilidade a deslocamentos laterais

A NBR 8800 (ABNT, 2008), classifica a estrutura em estrutura de pequena, media e grande deslocabilidade.

Para a classificação utiliza-se uma relação entre o deslocamento lateral do andar relativo a base (deslocamento interpavimento, do teto do andar em relação ao piso do andar) obtido na análise de segunda ordem, Δ_2 , e aquele obtido na análise de primeira ordem, Δ_1 , considerando todos os andares, verificado para cada um, e todas as combinações ultimas de ações (Normais, Especiais e Excepcionais). (ARGENTA, 2020).

2.13.3.1 Considerações para estrutura de pequena deslocabilidade

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008) a estrutura é considerada de pequena deslocabilidade quando apresenta o deslocamento de segunda ordem dividido pelo deslocamento de primeira ordem menor que 1,1.

Quando essa estrutura apresenta a solicitação de cálculo menor que 50% da resistência de cálculo, são necessárias somente as seguintes ponderações:

- Análise de 1º ordem;
- Não é necessário considerar os efeitos de imperfeição dos materiais
- Considerar os efeitos das imperfeições geométricas ($FN = 0,2 \% \Sigma FV$);
- Considerar os efeitos de segunda ordem local

Quando essa estrutura apresenta a solicitação de cálculo maior que 50% da força axial de escoamento, são necessárias as seguintes ponderações:

- Análise de 2º ordem;
- Não precisa se considerar a imperfeição do material;
- Considerar os efeitos das imperfeições geométricas ($FN = 0,3 \% \Sigma FV$).

2.13.3.2 Considerações para estrutura de média deslocabilidade

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008) a estrutura é considerada de média deslocabilidade quando apresenta o deslocamento de segunda ordem (Δ_2) dividido pelo deslocamento de primeira ordem (Δ_1) menor ou igual a 1,4. Para esse caso deve-se fazer as seguintes considerações:

- Análise de segunda ordem (pelo método simplificado MAES);
- Considerar imperfeições do material (80%E.I. e 80% E.A.);
- Considerar imperfeições geométricas ($FN = 0,3\% \Sigma' FV$).

2.13.3.3 Considerações para estrutura de grande deslocabilidade

Consoante a NBR 8800 (ABNT, 2008), a estrutura é considerada de grande deslocabilidade quando apresenta o deslocamento de segunda ordem (Δ_2) dividido pelo deslocamento de primeira ordem (Δ_1) maior a 1,4.

Nas estruturas de grande deslocabilidade, deve ser feita uma análise rigorosa, levando-se em conta as não-linearidades geométricas e de material. Opcionalmente, a critério do responsável técnico pelo projeto estrutural, pode ser utilizado o procedimento de análise para as estruturas de média deslocabilidade, desde que os efeitos das imperfeições geométricas iniciais sejam adicionados as combinações últimas de ações em que atuem ações variáveis devidas ao vento. As considerações para esse caso são:

- Análise de segunda ordem pelo método exato;
- Considerar todas as imperfeições de material e geométrico.

2.14 Métodos de dimensionamento ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 14672:2010

Conforme as normas NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 14762 (ABNT, 2010), o método de dimensionamento adotado deve ser o método dos estados-limites. Esse método, segundo Fakury et al. (2016), avalia a estrutura em diversas situações extremas, considerando os estados limite últimos (ELU) e os estados limites de serviço (ELS), o que justifica o objetivo do projeto estrutural.

O autor também destaca que os coeficientes de ponderação e os fatores de combinação das ações são cuidadosamente selecionados, minimizando as chances de ruína da estrutura por meio de uma abordagem probabilística baseada nos limites estabelecidos nas normas técnicas.

Consequentemente, de acordo com as normas mencionadas, os estados limites últimos são aqueles relacionados à ruína completa ou parcial da estrutura, abrangendo falhas nos materiais, instabilidades significativas de elementos ou conjunto de elementos e movimentações excessivas de estruturas rígidas.

Por outro lado, o estado limite de serviço está associado ao desempenho estrutural, e sua ocorrência diz respeito à funcionalidade, conforto, aparência e

funcionamento dos equipamentos. Geralmente, o estado limite de segurança é identificado pela detecção de rachaduras e fissuras nas alvenarias, bem como danos em esquadrias e acabamentos. Por outro lado, o estado limite de serviço está relacionado ao desempenho estrutural e sua manifestação afeta a funcionalidade, o conforto, a estética e o funcionamento dos equipamentos. Nesse caso, também é determinado pela presença de rachaduras e fissuras nas alvenarias, juntamente com danos nas esquadrias e acabamentos.

2.14.1 Ações

Ao definir as ações, compreendemos que são todas as influências externas que uma edificação sofre, gerando deformações, tensões diversas e promovendo o deslocamento da estrutura, o que é de extrema importância no dimensionamento (FAKURY et al., 2016). As ações são categorizadas em três grupos, de acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2004): ações permanentes, ações variáveis e ações excepcionais.

As ações permanentes ocorrem com valores praticamente constantes durante a vida útil da construção e podem ser classificadas como diretas ou indiretas. As ações diretas referem-se aos pesos próprios da estrutura e aos empuxos de terra, ambos permanentes. As ações indiretas estão relacionadas aos deslocamentos de apoios e imperfeições geométricas. Os valores característicos de peso próprio devem seguir as diretrizes da norma NBR 6120 (ABNT, 2019).

Por sua vez, as ações variáveis ocorrem com valores não constantes ao longo da vida útil da edificação e são causadas pelo uso e ocupação da estrutura. Elas incluem ações como sobrecargas em pisos e coberturas, pesos de equipamentos, pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas, ações de vento e variação de temperatura. A NBR 6120 (ABNT, 2019) e a NBR 8800 (ABNT, 2008) tratam das ações variáveis de uso e ocupação, enquanto os esforços causados pela ação do vento nas estruturas são determinados pelos procedimentos de cálculo da NBR 6123 (ABNT, 1988).

Por fim, as ações excepcionais ocorrem com duração extremamente curta e têm pequena probabilidade de ocorrer durante a vida útil da edificação. Elas são causadas por eventos como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos. A necessidade de cálculo dessas ações de acordo com as normas depende da efetividade dos mecanismos de controle da própria estrutura.

2.14.1.1 Cálculo de ações de vento

A influência do vento na estrutura pode resultar em dois efeitos distintos: pressão externa, na forma de sobrepressão e sucção. Na primeira, as cargas de vento se somam às cargas gravitacionais, uma vez que têm a mesma direção. No caso da sucção, como observado por Fakury et al. (2016), o vento exerce uma força superior às cargas de peso próprio (gravitacionais), atuando na direção oposta e podendo causar a deslocamento de telhas e até mesmo a ruptura da estrutura.

Além da pressão externa, o vento também pode criar pressão interna, dependendo das dimensões das aberturas na construção. Em grande parte, essa pressão é considerada uniforme em toda a superfície do interior do galpão e pode manifestar-se como sobrepressão ou sucção, conforme descrito por Fakury et al. (2016).

Portanto, a ação do vento é categorizada como uma ação variável e é calculada de acordo com as diretrizes estabelecidas na NBR 6123 (ABNT, 1988). Para determinar essa ação, é necessário primeiro identificar a velocidade característica do vento, o que permite o cálculo da pressão dinâmica conforme as fórmulas apresentadas nas equações 1 e 2.

$$V_k = V_0 S_1 S_2 S_3 \quad (1)$$

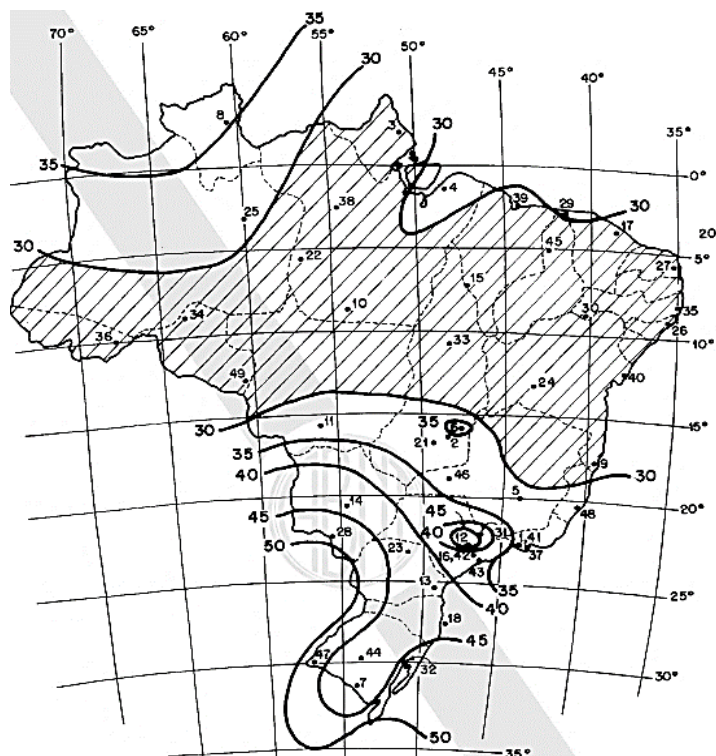
$$q = 0,613 v_k^2 \quad (2)$$

Na equação 1 a velocidade característica do vento é dada por V_k , a velocidade básica do vento é dada por V_0 , e os fatores S_1 , S_2 e S_3 são os fatores que correspondem respectivamente a: topografia do terreno; rugosidade do terreno com as dimensões da edificação e o último um fator estatístico.

A equação 2 terá como resultado a pressão dinâmica do vento (q), que é obtida pelo quadrado da velocidade característica (V_k).

Inicialmente, deve-se determinar a velocidade básica do vento (V_0), que é a velocidade de uma rajada de 3 segundos de duração, a 10 metros de altura, em campo aberto e plano, sendo excedida em média uma vez dentro de um intervalo de 50 anos. Dessa forma, a velocidade básica dependerá da localidade no país, sendo determinado pelas isopletras que serão apresentadas na Figura 57 a seguir.

Figura 57 - Mapa das velocidades básicas de vento limitados por isopletas



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988).

Portanto, neste projeto, optou-se por utilizar uma velocidade básica de 30 m/s, considerando a região de origem do trabalho (Tocantins). A determinação dos valores dos fatores S1 (relativos à topografia), S2 (que abrange a rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura acima do solo), e S3 (de natureza estatística) dependerá das características do local do terreno, da construção e dos riscos probabilísticos associados. Esses fatores serão calculados utilizando o software Visual Ventos, desenvolvido pelo Engenheiro Zacarias M. Chamberlain Pravia, da Universidade de Passo Fundo, em conformidade com as diretrizes estabelecidas na NBR 6123 (ABNT, 1988).

2.14.2 Combinações

As combinações de ações determinam os carregamentos a serem considerados no dimensionamento, levando em conta as ações que têm maior probabilidade de atuar simultaneamente sobre a estrutura durante um período

específico (Bellei, 1998). Nos galpões, é comum que as cargas atuem isoladamente em alguns momentos e combinadas em outros.

As normas utilizadas neste trabalho definem as seguintes combinações de ações para a verificação dos estados limites últimos: combinação normal, combinação de construção, combinação especial e combinação excepcional. Para os estados limites de serviço, são consideradas as combinações quase permanentes, frequentes e raras, relacionadas ao tempo de permanência na estrutura.

A combinação última normal é derivada dos carregamentos previstos para o uso normal da edificação, enquanto a combinação última construtiva surge a partir dos possíveis carregamentos durante a construção ou montagem da estrutura. Ambas as combinações são abordadas pela Equação 3.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (3)$$

Onde:

F_d é a combinação última;

$F_{Gi,k}$ é a ação permanente característica;

$F_{Q1,k}$ é a ação variável principal característica;

$F_{Qj,k}$ são as ações variáveis secundárias características;

γ_g é o coeficiente de majoração de ações permanentes;

γ_q são os coeficientes de majoração de ações variáveis.

ψ_{0j} é o fator de combinação.

Adicionalmente, combinações ultimas especiais resultam da influência de ações variáveis de natureza ou intensidade especial, que são breves e transitórias, e cujos efeitos superam as influências das ações consideradas nas combinações normais definidas pela Equação 3. O $\psi_{0j,ef}$ será o elemento alterado da equação 3 para compor a Equação 4 e representa os fatores de combinação efetivos.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (4)$$

Além disso, é importante mencionar que combinações finais excepcionais surgem devido à ocorrência de ações extraordinárias que têm o potencial de

desencadear efeitos extremamente danosos. O carregamento excepcional é transitório e descrito por $F_{Q,exc}$, considerado de duração extremamente curta e é descrito na Equação 5.

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + F_{Q,exc} + \sum_{j=1}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (5)$$

Por outro lado, adentrando as combinações de serviço (F_{ser}), as quase permanentes são aquelas que podem atuar durante grande parte da vida útil da estrutura, da ordem de metade (50%) desse período. Essas combinações são utilizadas para os efeitos de longa duração para a aparência da construção onde as ações variáveis são consideradas quase permanentes em $\psi_{2j} F_{Qj,k}$, no qual ψ_{2j} é o fator de redução contido na Equação 6.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (6)$$

Ademais, combinações frequentes de serviço são aquelas que se repetem muitas vezes durante a vida útil da estrutura, da ordem de 105 vezes em 50 anos, ou que tenham duração total igual a uma parte não desprezável desse período, da ordem de 5%. São utilizadas para os estados limites que são reversíveis. Também se relacionam com vibrações excessivas, movimentos laterais excessivos que comprometem a vedação, empoçamentos em coberturas e aberturas de fissuras. É descrita pela Equação 7 onde a primeira ação variável é tomada como frequente descrita por: $\psi_1 F_{Q1,k}$, sendo ψ_1 um fator de redução.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{2j} F_{Qj,k}) \quad (7)$$

Por último, combinações raras são aquelas que podem atuar algumas horas durante a vida útil da estrutura. Essas combinações são utilizadas para os estados limites irreversíveis, que causam danos permanentes à construção como um todo, tais como formação de fissuras e danos aos fechamentos. A ação variável

principal possui valor característico $F_{Q1,k}$ e as demais são frequentes $\psi_{1j} \cdot F_{Qj,k}$ e estão contidas na Equação 8.

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{1j} F_{Qj,k}) \quad (8)$$

Os fatores de combinação e redução para ações variáveis (ψ) juntamente com os coeficientes de majoração de cargas permanentes e variáveis (γ) estão contidos nas normas NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 14672 (ABNT, 2010) e serão descritos nas Figuras 58, 59 e 60 a seguir.

Figura 58 - Valores dos coeficientes de ponderação para ações permanentes

Combinações	Ações permanentes (γ) ^{a c}					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i>	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

Figura 59 - Valores dos coeficientes de ponderação para ações variáveis

	Ações variáveis (%) ^{a,d}			
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação
Normais	1,20	1,40	1,20	1,50

	Ações variáveis (%) ^{a,d}			
	Efeito da temperatura ^b	Ação do vento	Ações truncadas ^e	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação
Especiais ou de construção	1,00	1,20	1,10	1,30
Excepcionais	1,00	1,00	1,00	1,00

^a Os valores entre parênteses correspondem aos coeficientes para as ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não devem ser incluídas nas combinações.

^b O efeito de temperatura citado não inclui o gerado por equipamentos, o qual deve ser considerado ação decorrente do uso e ocupação da edificação.

^c Nas combinações normais, as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,35 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer. Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,25 e 1,30, e nas combinações excepcionais, 1,15 e 1,20.

^d Nas combinações normais, se as ações permanentes diretas que não são favoráveis à segurança forem agrupadas, as ações variáveis que não são favoráveis à segurança podem, opcionalmente, ser consideradas também todas agrupadas, com coeficiente de ponderação igual a 1,50 quando as ações variáveis decorrentes do uso e ocupação forem superiores a 5 kN/m², ou 1,40 quando isso não ocorrer (mesmo nesse caso, o efeito da temperatura pode ser considerado isoladamente, com o seu próprio coeficiente de ponderação). Nas combinações especiais ou de construção, os coeficientes de ponderação são respectivamente 1,30 e 1,20, e nas combinações excepcionais, sempre 1,00.

^e Ações truncadas são consideradas ações variáveis cuja distribuição de máximos é truncada por um dispositivo físico, de modo que o valor dessa ação não possa superar o limite correspondente. O coeficiente de ponderação mostrado nesta Tabela se aplica a esse valor-limite.

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

Figura 60 - Valores dos fatores de combinação e redução

Ações		γ_{f2}^a		
		ψ_0	ψ_1	ψ_2^d
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4
^a Ver alínea c) de 6.5.3. ^b Edificações residenciais de acesso restrito. ^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ^d Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.				

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

2.15 Dimensionamento da estrutura de cobertura

Para dimensionar estruturas de cobertura em galpões metálicos utilizando perfis formados a frio, os requisitos fundamentais foram estabelecidos na norma NBR 14672 (ABNT, 2010), a qual foi desenvolvida em conformidade com a norma NBR 8800 (ABNT, 2008). Portanto, a utilização simultânea dessas duas normas é necessária para o dimensionamento eficaz desse tipo de estrutura metálica. Abaixo, descreve-se a seção relacionada ao dimensionamento de estruturas metálicas de acordo com a NBR 14672 (ABNT, 2010) para perfis formados a frio.

2.15.1 Barras tracionadas

Conforme as orientações estabelecidas na norma NBR 14672 (ABNT, 2010), a determinação das dimensões das barras submetidas à força de tração deve seguir a condição estipulada na Equação 9 abaixo:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (9)$$

Na qual $N_{t,Sd}$ representa a força axial de tração solicitante de cálculo e $N_{t,Rd}$ a força axial de tração resistente de cálculo.

O valor de resistência calculado será determinado como o mínimo entre os resultados fornecidos pelas Equações 10, 11 e 12, que correspondem, respectivamente, ao escoamento na seção bruta, ruptura na seção líquida fora da zona de conexão e ruptura na seção líquida dentro da zona de conexão, todos relacionados ao estado limite último.

$$N_{t,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (10)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_{no}f_u}{\gamma} \quad (\gamma = 1,35) \quad (11)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n f_u}{\gamma} \quad (\gamma = 1,65) \quad (12)$$

Nas quais o "A" é a área bruta de seção transversal da barra; A_{no} é a área líquida da seção transversal da barra fora da região de ligação; A_n é a área líquida da seção transversal da barra na região de ligação; f_y é a resistência ao escoamento do aço; f_u é a resistência a ruptura do aço e o C_t remete-se ao coeficiente de redução da área líquida. Já o coeficiente γ é determinado como coeficiente de ponderação das resistências, seu valor é dado de acordo com o tipo de resistência analisado.

No que diz respeito ao índice de esbeltez na tração (L/r), a norma aconselha que esse valor não exceda 300, sendo "L" o comprimento desimpedido e "r" o raio de giração da peça.

2.15.2 Barras comprimidas

Continuando com o processo de dimensionamento, a norma NBR 14672 (ABNT, 2010) estabelece que as barras sujeitas à compressão devem satisfazer a condição especificada na Equação 13 abaixo:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (13)$$

Sendo $N_{c,Sd}$ a força axial de compressão solicitante de cálculo e $N_{c,Rd}$ a força axial de compressão resistente de cálculo resultante do menor valor entre a força obtida pela análise de Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção e também pela análise de flambagem distorcional.

2.15.2.1 Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção

Nesta situação, a força axial de compressão resistente de cálculo ($N_{c,Rd}$) deve ser calculada conforme está descrito na Equação 14 determinada na norma NBR 14672 (ABNT, 2010).

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,20) \quad (14)$$

O termo A_{ef} refere-se a área efetiva da seção transversal da barra, já o χ se refere ao fator de redução da força axial de compressão resistente, o qual tem sua magnitude dependente ao índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global (λ_0) da barra escolhida, que está presente nas Equações 15 e 16 a seguir.

$$\text{Para: } \lambda_0 \leq 1,5 \quad , \text{ adota-se: } 0,658^{\lambda_0^2} \quad (15)$$

$$\text{ou } \lambda_0 > 1,5 \quad , \text{ adota-se: } \frac{0,877}{\lambda_0^2}$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{A f_y}{N_e} \right)^{0,5} \quad (16)$$

O valor de N_e representa a força axial de flambagem global elástica, a qual está sujeita às características do perfil utilizado, incluindo sua simetria. Isso pode abranger perfis com dupla simetria ou simetria em relação a um ponto, perfis monossimétricos e perfis assimétricos.

2.15.2.2 Flambagem distorcional

Conforme mencionado anteriormente, os perfis formados a frio que têm uma seção aberta podem ser afetados pela flambagem distorcional, a qual é abordada na norma NBR 14672 (ABNT, 2010) e é representada pela Equação 17 a seguir.

$$N_{C,Rd} = \frac{\chi_{dist} A f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,20) \quad (17)$$

O χ_{dist} é o fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem distorcional, que é calculado de acordo com a Equação 18, onde temos também um λ_{dist} que se remete ao índice de esbeltez reduzido associado à flambagem distorcional que é calculado pela Equação 19.

Para:

$$\lambda_{dist} \leq 0,561 \quad , adota - se: 1 \quad (18)$$

$$\lambda_{dist} > 0,561, adota - se: \left(1 - \left(\frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}} \right) \right) \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}} \right)$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{A f_y}{N_{dist}} \right)^{0,5} \quad (19)$$

O termo N_{dist} denota a força axial de flambagem distorcional elástica em um elemento estrutural, a qual deve ser determinada por meio de uma análise de estabilidade elástica. A flambagem distorcional é um fenômeno que se manifesta em elementos submetidos a compressão, como colunas, resultando em deformações laterais consideráveis que podem afetar a estabilidade da estrutura.

A força axial de flambagem distorcional elástica (N_{dist}) é de suma importância, pois representa a carga máxima que a estrutura pode suportar antes de entrar em flambagem distorcional elástica. Calcular esse valor requer a realização de uma análise de estabilidade elástica que considera as propriedades do material, as dimensões do elemento estrutural e as condições de apoio.

A análise de estabilidade elástica permite determinar se a estrutura é suficientemente robusta para suportar as cargas aplicadas sem entrar em flambagem. Caso o valor da força axial de flambagem distorcional elástica seja inferior à carga aplicada, será necessário fazer ajustes no projeto a fim de garantir a estabilidade da estrutura. É fundamental destacar que a flambagem é um fenômeno crítico em elementos estruturais submetidos a compressão e deve ser devidamente considerada no projeto para evitar falhas e assegurar a segurança da construção.

Por fim, é importante observar que o índice de esbeltez L/r para as barras comprimidas não deve ultrapassar o valor de 200.

2.15.3 Barras submetidas à flexão

No que diz respeito ao processo de dimensionamento, a norma NBR 14672 (ABNT, 2010) estabelece que as barras sujeitas a esforços de flexão devem atender às condições estipuladas nas Equações 20 e 21 a seguir. Estas equações se relacionam, respectivamente, ao momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}) e ao esforço cortante solicitante de cálculo (V_{Sd}), que são esforços que induzem a flexão, mas atuam de maneiras distintas na estrutura e podem ocasionar diferentes tipos de falhas.

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (20)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (21)$$

Ao considerar a Equação 20 o M_{Rd} (momento fletor resistente de cálculo), deve ser escolhido como o valor mínimo entre aqueles resultantes das análises estipuladas pela norma, englobando o início do escoamento da seção efetiva, a flambagem lateral com torção e a flambagem distorcional. Já na Equação 21 o V_{Rd} (esforço cortante resistente de cálculo) é calculado com base nas características geométricas e nas propriedades do material especificadas no projeto.

2.15.3.1 Início de escoamento da seção efetiva

O " MRd " que descreve o início do escoamento da seção efetiva é obtido a partir da Equação 22.

$$M_{Rd} = \frac{W_{ef} f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (22)$$

O W_{ef} (módulo de resistência elástico da seção efetiva relativo à fibra extrema que escoar) é obtido pelas Equações 23 e 24 a seguir, onde opta-se pelo método da seção efetiva (MSE).

Se: $\lambda_p \leq 0,673$, adota-se: $W_{ef} = W$ (23)
 , ou

$$\lambda_p > 0,673 \quad , \text{ adota-se: } W_{ef} = W \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right) \frac{1}{\lambda_p}$$

$$\lambda_p = \left(\frac{W f_y}{M_l} \right)^{0,5} \quad (24)$$

O " W " corresponde ao módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra extrema que atinge o escoamento, sendo geralmente obtido a partir das informações fornecidas pelos manuais dos fabricantes de perfis. O " M_l " representa o momento fletor de flambagem local elástica, o qual é determinado por meio de uma análise de estabilidade elástica.

2.15.3.2 Flambagem lateral com torção

O " MRd " que descreve a flambagem lateral com torção é obtido a partir da Equação (25).

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{FLT} \cdot W_{c,ef} \cdot f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (25)$$

O " $W_{c,ef}$ " (módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação à fibra extrema comprimida), pode também ser calculado usando o método da seção efetiva

(MSE), conforme definido na Equação 26, que está relacionado ao índice de esbeltez reduzido, conforme indicado na Equação 27. O “ χ_{FLT} ” é um fator de redução do momento fletor resistente de cálculo que depende do índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global por flexão (λ_{0f}) do perfil, Esses valores podem ser obtidos através das Equações 28 e 29.

$$\text{Se: } \lambda_p \leq 0,673 \text{ , adota-se: } W_{c,ef} = W_c \quad (26)$$

, ou

$$\lambda_p > 0,673 \text{ , adota-se: } W_{c,ef} = W_c \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \frac{1}{\lambda_p}$$

$$\lambda_p = \left(\frac{\chi_{FLT} W_c f_y}{M_l} \right)^{0,5} \quad (27)$$

$$\text{Para o } \chi_{FLT} : \lambda_0 \leq 0,6 \text{ , adota-se: } \chi_{FLT} = 1,0 \quad (28)$$

, ou

$$0,6 < \lambda_0 < 1,336 \text{ , adota-se: } \chi_{FLT} = 1,11 (1 - 0,278 \lambda_0^2)$$

, ou

$$\lambda_0 \geq 1,336 \text{ , adota-se: } \chi_{FLT} = \frac{1}{\lambda_0^2}$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{W_c f_y}{M_e} \right)^{0,5} \quad (29)$$

O “ W_c ” corresponde ao módulo de resistência elástica da seção bruta em relação à fibra da extremidade comprimida. Por sua vez “ M_e ” representa o momento fletor de flambagem lateral com torção no regime elástico.

2.15.3.3 Flambagem distorcional

Para as barras que possuem seção transversal aberta e estão sujeitas à flambagem distorcional, o valor de “ MR_d ” que descreve a flambagem distorcional, é calculado de acordo com a Equação 30.

$$M_{Rd} = \frac{\chi_{dist} \cdot W f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10) \quad (30)$$

Na equação 30, o “ χ_{dist} ” na Equação 30 é o fator de redução do momento fletor resistente relacionado à flambagem distorcional. Este valor é determinado pela Equação 31, a qual incorpora o índice de esbeltez reduzido específico para a flambagem distorcional (λ_{dist}) que, por sua vez, é calculado de acordo com a Equação 32.

$$\text{Se: } \lambda_{dist} \leq 0,673 \text{ , adota-se: } \chi_{dist} = 1 \quad (31)$$

, ou

$$\lambda_{dist} > 0,673 \text{ , adota-se: } \chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}}$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{W f_y}{M_{dist}}\right)^{0,5} \quad (32)$$

O “ M_{dist} ” na Equação 32 representa o momento fletor de flambagem distorcional elástica, o qual deve ser determinado por meio de uma análise de estabilidade elástica.

2.15.4 Esforço cortante

Após a análise do momento fletor sob flexão, é essencial também avaliar os esforços de cisalhamento que atuam no perfil. O esforço cortante resistente de cálculo (V_{Rd}) é definido na Equação 33 e deve ser comparado com o esforço solicitante de cálculo (V_{Sd}), levando em consideração os momentos fletores resistentes e solicitantes (M_{Rd} e M_{Sd}), conforme demonstrado nas Equações 34 (para perfis sem enrijecedores de borda) ou 35 (para perfis enrijecidos). Esta comparação desempenha um papel crucial na garantia da segurança estrutural.

$$\text{para: } h/t \leq 1,08(Ek_v/f_y)^{0,5} \text{ , adota-se:} \quad (33)$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6f_y h t}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10), \text{ ou}$$

para: $1,08(Ek_v/f_y)^{0,5} < h/t \leq 1,4(Ek_v/f_y)^{0,5}$, adota-se:

$$V_{Rd} = \frac{0,65t^2(k_v f_y E)^{0,5}}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10), \text{ ou}$$

para: $h/t > 1,4(Ek_v/f_y)^{0,5}$, adota-se:

$$V_{Rd} = \frac{[0,905Ek_v t^3/h]}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$

Os termos t , h , E e k_v correspondem, respectivamente, à espessura da alma, à altura da alma, ao módulo de elasticidade (Young) e ao coeficiente de flambagem local, todos relacionados ao perfil selecionado e ao material utilizado no projeto.

$$\left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (34)$$

$$0,6 \left(\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}}\right)^1 + \left(\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}}\right)^1 \leq 1,3 \quad (35)$$

Lembre-se de que a Equação 34 é aplicável a perfis sem enrijecedores, enquanto a Equação 35 deve ser utilizada apenas quando há enrijecedores e atende à proporção de determinados critérios específicos: $\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} > 0,5$ e $\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} > 0,7$.

2.15.5 Deslocamentos

Conforme a NBR 14672 (ABNT, 2010), o cálculo dos deslocamentos deve levar em consideração a redução da rigidez devido à flambagem local, utilizando o momento de inércia efetivo da seção (I_{ef}). Ao adotar o método da seção efetiva (MSE), a Equação 36 descreve esse processo, dependendo do momento de inércia da seção bruta (I_g) e do índice de esbelteza reduzido do elemento (λ_{pd}) obtido na Equação 37. M_n representa o momento fletor solicitante de cálculo, levando em consideração as combinações de ações para os estados limites de serviço.

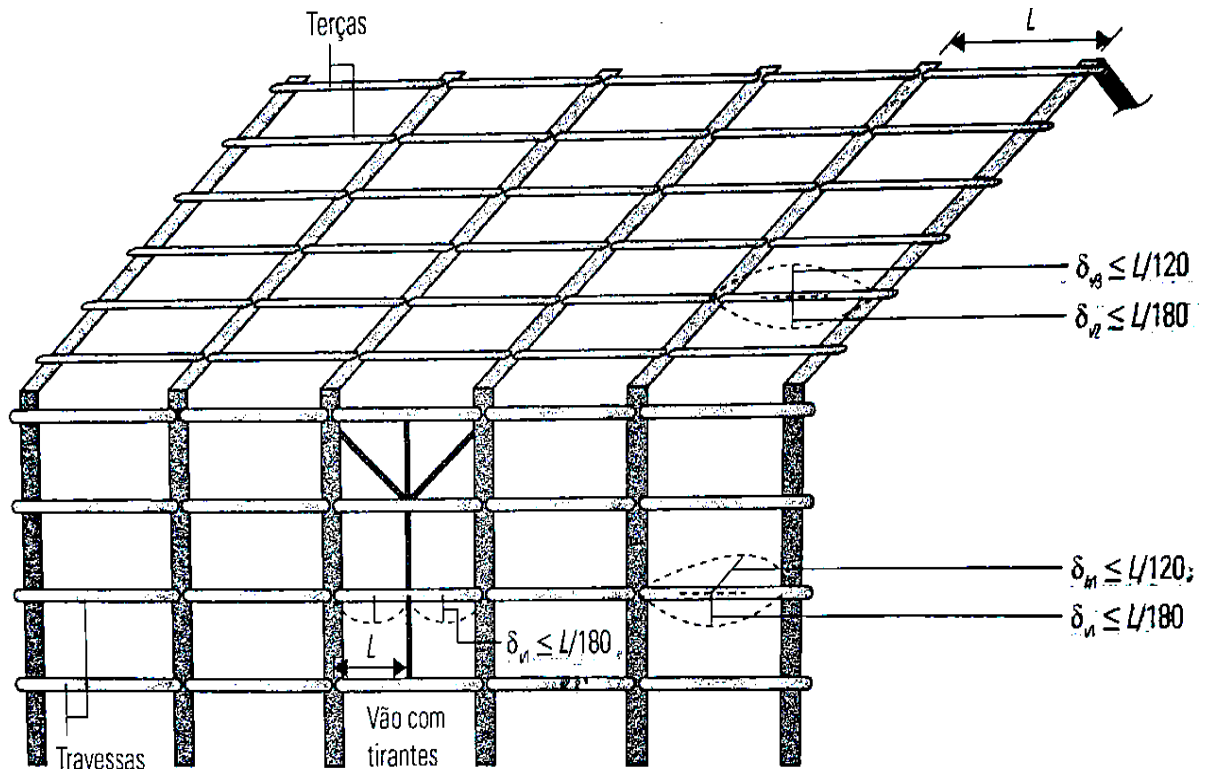
Se: $\lambda_{pd} \leq 0,673$, adota – se: $I_{ef} = I_g$ (36)
 , ou

$$\lambda_{pd} > 0,673 \text{ , adota – se : } I_{ef} = I_g \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{pd}} \right) \frac{1}{\lambda_{pd}}$$

$$\lambda_{pd} = \left(\frac{M_n}{M_l} \right)^{0,5} \quad (37)$$

Portanto, é fundamental verificar se as barras utilizadas não excedem os deslocamentos máximos permitidos, conforme exemplificado na Figura 61.

Figura 61 - Deslocamentos máximos em terças e travessas de fechamento



Fonte: Fakury, et al. (2016).

Finalmente, para complementar, o Anexo A da norma NBR 14762 (ABNT, 2010) apresenta os deslocamentos máximos permitidos para cada componente da estrutura. Esses valores estão ilustrados na Figura 62.

Figura 62 - Anexo A da NBR 14672– Tabela A.1–Deslocamentos máximos

Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L / 180^b$
	$L / 120^{c d}$
Terças de cobertura ^g	$L / 180^e$
	$L / 120^f$
Vigas de cobertura ^g	$L / 250^h$
Vigas de piso	$L / 350^h$
Vigas que suportam pilares	$L / 500^h$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento:	$H / 300$
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H / 400^i$
— Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	
Edifícios de dois ou mais pavimentos:	
— Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base	$H / 400$
— Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	$H / 500^j$
^a L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar). ^b Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso eles existam). ^c Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento. ^d Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico. ^e Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente. ^f Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico. ^g Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade. ^h Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm. ⁱ O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm. ^j Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.	

Fonte: NBR 14672 (ABNT, 2010).

2.16 Introdução aos softwares cype 3d e Visual Ventos

O Cype 3D é um software desenvolvido pela empresa espanhola Cype Ingenieros é um software para projeto de Estruturas Metálicas, Alumínio e Madeira que engloba as etapas de cálculo estrutural e dimensionamento de elementos estruturais metálicos, estruturas de alumínio e estruturas de madeira. Sendo possível desenhar e dimensionar as estruturas, incluindo suas ligações entre barras e fundações, seguindo os critérios das suas respectivas normas. Ademais, esse programa conta uma grande biblioteca de perfis brasileiros. (HERMES, 2020).

O Visual Ventos é um programa de cálculo de ação de ventos em edificações gratuito disponibilizado pelo site da plataforma *etools* da Universidade de Passo Fundo. Através dele é possível calcular as cargas de ventos em cada estado brasileiro, com base na estrutura e suas dimensões conforme a ABNT NBR 6123.

2.17 Orçamento

Após a etapa de dimensionamento, torna-se essencial uma avaliação da viabilidade econômica das diferentes concepções estruturais estudadas. De acordo com Paludo, Brum e Ramires (2021), nos processos de orçamentação de estruturas de aço, o parâmetro do peso é intrinsecamente ligado a todas as etapas envolvidas, abrangendo aspectos como custos de insumos, projeto, produção e serviços de fabricação e montagem.

Esses mesmos autores destacam que ao introduzir variáveis como o vão livre, surgem diversas alternativas de concepções a serem analisadas, proporcionando um embasamento econômico sólido para as decisões. Isso ocorre porque essas variações fornecem parâmetros claros sobre o consumo de aço por unidade de produto. Essa abordagem permite identificar de maneira criteriosa quais produtos demandam uma análise mais aprofundada em relação ao consumo de aço, visando aprimorar a alocação de recursos no ‘.

O orçamento, portanto, reflete diretamente as modificações realizadas no projeto e na escolha da concepção estrutural, tendo o peso como fator de comparação preponderante. Reforçando essa perspectiva, Nogueira et al. (2015) afirmam que a taxa de consumo de aço é a variável de destaque no processo inicial de tomada de decisão ao comparar diferentes tipologias de galpões de uso geral.

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho teve como base o cumprimento do segundo objetivo específico, que era realizar o pré-dimensionamento de diferentes concepções estruturais de galpões utilizando um programa computacional de cálculo estrutural. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma pesquisa de caráter aplicado, envolvendo a prática do dimensionamento de estruturas metálicas.

Conforme apontado por Kauark, Manhães e Medeiros (2010), as pesquisas aplicadas visam produzir teses a partir de análises e direcionar possíveis soluções relacionadas ao problema estudado. Nesse contexto, a abordagem aplicada neste estudo buscou resultados concretos e relevantes para a área de estudo, contribuindo para o dimensionamento de coberturas de galpões em estruturas metálicas.

Além disso, essa pesquisa apresenta uma natureza quali-quantitativa, ou seja, mista. Isso significa que serão realizadas comparações relacionadas à qualidade, com base em análises de dados quantitativos acerca dos elementos que compõem a estrutura, conforme definido por Moretti (2020). A pesquisa também possui caráter exploratório e descritivo, uma vez que inicia com uma pesquisa bibliográfica para agregar conhecimento ao tema, tornando-se exploratória. Posteriormente, é possível realizar um estudo de caso, conforme explicado por Pereira et al. (2018), que consiste na análise de casos individualizados ou um conjunto deles, compreendendo estudos exploratórios, analíticos ou descritivos como forma de investigação. Neste contexto, o método hipotético-dedutivo estará presente para responder às hipóteses levantadas.

O programa computacional escolhido para o cálculo e dimensionamento dos galpões será o Cype 3D, que fará as combinações últimas e de serviço e verificará as peças tanto para o Estado Limite Último quanto para o Estado Limite de serviço, seguindo as diretrizes das normas ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR 8800:2008.

As ações permanentes consideradas serão: cargas de peso próprio dos perfis utilizados no galpão; das estruturas de forro; dos painéis solares e das telhas termoacústicas tipo “sanduíche”. Todas as cargas de peso próprio serão adquiridas na ABNT NBR 6120:2019 ou nos catálogos comerciais de fabricantes. As ações variáveis consideradas serão: cargas de vento, conforme a ABNT NBR 6123:1998, e as sobrecargas de cobertura adquiridas na ABNT NBR 6120:2019. Em relação ao

cálculo das cargas de vento, será calculado com o auxílio do programa computacional Visual Ventos, um programa de cálculo de ação de ventos em edificações gratuito disponibilizado pelo site da plataforma *etools* da Universidade de Passo Fundo – RS.

3.1 Objeto de estudo

De acordo com Nogueira (2015), os estudos sobre estruturas de galpões metálicos podem ser conduzidos através de alterações em diversas particularidades que afetam o comportamento da estrutura. Entre os principais pontos destacados estão:

- O formato do pórtico (treliça) transversal;
- O tamanho do vão livre transversal;
- A inclinação da cobertura analisada;
- A altura dos pilares;
- O tipo de vinculação do pilar com a treliça;
- As distâncias entre os pórticos transversais;
- A flecha relativa aos estados limites de serviço;
- As variações nos esforços de vento.

Esses parâmetros são fundamentais, pois geram mudanças significativas no peso total da estrutura e no seu comportamento em relação aos esforços atuantes, estabelecendo uma correlação direta com a carga estrutural.

Com o objetivo de avaliar o desempenho de diferentes estruturas de coberturas em galpões metálicos de pequeno e médio porte, uma variedade de parâmetros poderia ser adotada como variáveis. No entanto, considerando a complexidade e o tempo necessário para analisar cada parâmetro individualmente, optou-se por selecionar apenas as características mais frequentemente modificadas nesse tipo de edificação. Essa abordagem resultou em um número menor de amostras, possibilitando uma comparação mais eficiente e abrangente das diferentes soluções. Apresenta-se a seguir os parâmetros estabelecidos para esse estudo:

- Tipologia de treliça de cobertura sua interação com a estrutura;
- Tipologia de pilar e sua interação com a estrutura;
- Variação no comprimento longitudinal do galpão;

- Variação no vão livre transversal;
- Variação na altura dos pilares para um mesmo vão livre transversal;
- Variações na quantidade e distâncias dos banzos, montantes e diagonais das treliças para adequação ao vão pretendido;
- Variações nos perfis da estrutura de forma geral;
- Alterações nas cargas de vento conforme feitas as alterações de dimensão da estrutura (largura, comprimento e altura).

Juntamente com parâmetros alteráveis, os seguintes parâmetros foram comuns a todas as tipologias analisadas, baseados em parâmetros usuais de projetos de galpões de uso geral:

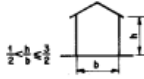
1. Perfis formados a frio em todas as peças componentes da cobertura, menos nos contraventamentos e tirantes;
2. Galpões com tapamentos laterais, compostos por pilares, elementos de cobertura e contraventamentos;
3. Galpões com plantas retangulares e coberturas em telhado tipo duas águas;
4. Cálculo de cargas de vento efetuado para coberturas fechadas e de mesma cobertura, com coeficientes de pressão interna $+0,2$ e $-0,3$, tanto para vento 0° como para vento 90° ;
5. Cargas de vento consideradas com os coeficientes de pressão externas, presentes nas tabelas 4 e 5 da NBR 6123 (ABNT, 1988), que estão demonstrados na Figura 63 a seguir:

Figura 63 – Coeficientes de pressão e formas externos

Tabela 4 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

Altura relativa		Valores de C_{pe} para								C_{pe} médio 	
		$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$					
		A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2		
 0,2 b ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 0,8	- 0,5	+ 0,7	- 0,4	+ 0,7	- 0,4	- 0,8	- 0,4	- 0,9	
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 0,8	- 0,4	+ 0,7	- 0,3	+ 0,7	- 0,5	- 0,9	- 0,5	- 1,0	
 $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 0,9	- 0,5	+ 0,7	- 0,5	+ 0,7	- 0,5	- 0,9	- 0,5	- 1,1	
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 0,9	- 0,4	+ 0,7	- 0,3	+ 0,7	- 0,6	- 0,9	- 0,5	- 1,1	
 $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$	- 1,0	- 0,6	+ 0,8	- 0,6	+ 0,8	- 0,6	- 1,0	- 0,6	- 1,2	
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	- 1,0	- 0,5	+ 0,8	- 0,3	+ 0,8	- 0,6	- 1,0	- 0,6	- 1,2	

Tabela 5 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados com duas águas, simétricos, em edificações de planta retangular

Altura relativa	θ	Valores de C_{pe} para				C_{pe} médio			
		$\alpha = 90^\circ$ (A)		$\alpha = 0^\circ$					
		EF	GH	EG	FH				
	0°	-0,8	-0,4	-0,8	-0,4	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,4	-0,8	-0,4	-1,4	-1,2	-1,2	-1,0
	10°	-1,2	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,4	-1,2	-1,2
	15°	-1,0	-0,4	-0,8	-0,6	-1,4	-1,2	-1,2	-1,2
	20°	-0,4	-0,4	-0,7	-0,6	-1,0	-1,0	-1,0	-1,2
	30°	0	-0,4	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-1,1
	45°	+0,3	-0,5	-0,7	-0,6				-1,1
	60°	+0,7	-0,6	-0,7	-0,6				-1,1
	75°								
	90°								
	0°	-0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,9	-0,6	-0,9	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-1,1	-0,6	-0,8	-0,6	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-1,0	-0,6	-0,8	-0,6	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,7	-0,5	-0,8	-0,6	-1,5	-1,5	-1,5	-1,0
	30°	-0,2	-0,5	-0,8	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
	45°	+0,2	-0,5	-0,8	-0,8				
	60°	+0,6	-0,5	-0,8	-0,8				
	75°								
	90°								
	0°	-0,8	-0,6	-0,9	-0,7	-2,0	-2,0	-2,0	--
	5°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,0
	10°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-2,0	-2,0	-1,5	-1,2
	15°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,8	-1,5	-1,5	-1,2
	20°	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	30°	-1,0	-0,5	-0,8	-0,7	-1,5	-1,5	-1,5	-1,2
	45°								
	60°								
	75°								
	90°								

Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988).

- Espaçamento entre pórticos de 6m para aproveitamento total das terças (perfis comercialmente vendidos de 6m).
- Todos os perfis serão padronizados de acordo com o pior caso de solicitação em alguma parte da estrutura. Evitando grande variabilidade de perfis nas peças da mesma e facilitando a geração de uma variável de comparação mais simples entre os galpões analisados;

8. As terças de cobertura foram consideradas como peças não contínuas, apoiadas nos banzos superiores e nos montantes das treliças. Os comprimentos de flambagem em Y foram determinados considerando a distância entre os banzos e as mãos francesas, enquanto os comprimentos de flambagem em X e FLT foram calculados com base na distância entre as linhas de corrente.
9. Em todas as terças da cobertura, foram incorporadas mãos francesas fixadas ao banzo inferior da treliça, visando o travamento do banzo inferior e a diminuição dos comprimentos de flambagem das terças.
10. As terças do fechamento lateral foram consideradas como peças não contínuas, fixadas na lateral dos pilares. Os comprimentos de flambagem em Y foram determinados considerando a distância entre pilares, enquanto os comprimentos de flambagem em X e FLT foram calculados com base na distância entre as linhas de corrente.
11. No modelo 1, foram adicionados montantes nos locais que possuem mãos francesas para a composição de nós de distribuição de carga no sistema treliçado.
12. No modelo 1, foram inseridos tirantes entre pilares, abaixo da treliça, com o objetivo de proporcionar um travamento extra e redução dos deslocamentos.
13. Foram utilizados contraventamentos horizontais em formato de "X", dispostos entre as terças, garantindo que não haja mais que 2 pórticos sem contraventamentos.
14. Contraventamentos verticais em formato de "X" foram dispostos nos pilares, com ou sem vigas de travamento auxiliares, evitando que haja mais que 2 pórticos sem contraventamentos. Esses elementos podem ser observados na Figura 31 previamente apresentada.
15. Os pilares foram projetados em três materiais distintos, para os galpões de perfis em alma cheia, foi utilizando pilar com perfis do tipo "U" enrijecido duplo soldado, para galpões com pilares treliçados foi utilizado perfis U simples, e para os galpões com pilares de concreto, como o próprio já sugere, foi utilizado

concreto com fck 25. Todos com dimensões e espessura variáveis de acordo com as solicitações específicas de cada concepção analisada.

16. Nos pilares treliçados foram inseridos contraventamentos em “x” no ponto médio do perfil do pilar para contribuir com a diminuição dos comprimentos destravados.
17. Para os pilares treliçados, foi preciso acrescentar um elemento de mão francesa ligando o pilar à cobertura, a fim de reduzir os efeitos de flexo compressão nos banzos internos no topo do pilar.
18. Às terças foram configuradas com perfis do tipo "U" enrijecido, dispostos com inclinação igual à do banzo superior da treliça. As dimensões e espessura dos perfis foram ajustadas conforme as demandas de cada concepção estudada.
19. Mãos francesas foram aplicadas utilizando perfis de cantoneiras de abas iguais "L", com dimensões e espessura variáveis de acordo com as necessidades específicas de cada concepção analisada.
20. As linhas de corrente foram implementadas com perfis de cantoneiras de abas iguais "L", cujas dimensões e espessura foram padrões para todos os modelos para se alcançasse melhor rigidez dos perfis.
21. Para os tirantes e contraventamentos, foram utilizados perfis de barras de aço redondas trefiladas, com diâmetro mínimo de 10 mm, sendo o diâmetro ajustado conforme as demandas específicas de cada concepção analisada.
22. Os banzos foram configurados utilizando perfis do tipo "U" simples, com dimensões e espessura variáveis de acordo com as necessidades específicas de cada concepção analisada. Eles foram projetados obrigatoriamente com dimensões maiores que os perfis das diagonais e montantes, permitindo o encaixe adequado.

23. As diagonais e montantes foram configuradas utilizando perfis do tipo "U" simples, com dimensões e espessura variáveis de acordo com as necessidades específicas de cada concepção analisada. Esses perfis foram projetados obrigatoriamente com dimensões menores do que os perfis dos banzos, para permitir o encaixe adequado entre as peças.
24. Para simplificar a variabilidade de perfis nas peças da estrutura e facilitar a comparação entre os galpões analisados, todos os perfis foram padronizados de acordo com o pior caso de solicitação em alguma parte da estrutura.
25. Os perfis estruturais foram selecionados de acordo com as dimensões e espessuras estabelecidas na norma NBR 6355 - Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização (ABNT, 2012).
26. Os comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção do banzo superior foram determinados considerando a distância entre os montantes em Y e a distância entre os contraventamentos em X.
27. Os comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção do banzo inferior foram calculados considerando a distância entre as mãos francesas em Y e a distância entre os montantes em X.
28. Os comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção dos pilares foram dimensionados de acordo com o Anexo "E" da norma NBR 8800 (ABNT, 2008), que trata dos coeficientes de flambagem.

3.2 Justificativa dos parâmetros

Para selecionar os perfis a serem utilizados, a escolha dos PFFs dependerá principalmente da disponibilidade de mercado e da minimização do peso estrutural, levando em consideração a esbeltez. A decisão sobre o tipo de perfil a ser utilizado em cada elemento da estrutura é baseada na análise das demandas de ações e das características geométricas de cada elemento, seguindo as diretrizes estabelecidas na NBR 6355 - Perfis estruturais de aço formados a frio (ABNT, 2012).

Em relação ao vão transversal dos modelos analisados, foram considerados valores usuais hipotéticos, variando de 5 em 5 metros, abrangendo distâncias de 15, 20, 25, 30 e 35 metros. O comprimento longitudinal foi limitado para galpões de pequeno e médio porte, onde os vãos de 15, 20 e 25 metros contaram com 30 metros de comprimento longitudinal (6 pórticos), e os vãos de 30 e 35 metros contaram com 54 metros de comprimento longitudinal (10 pórticos).

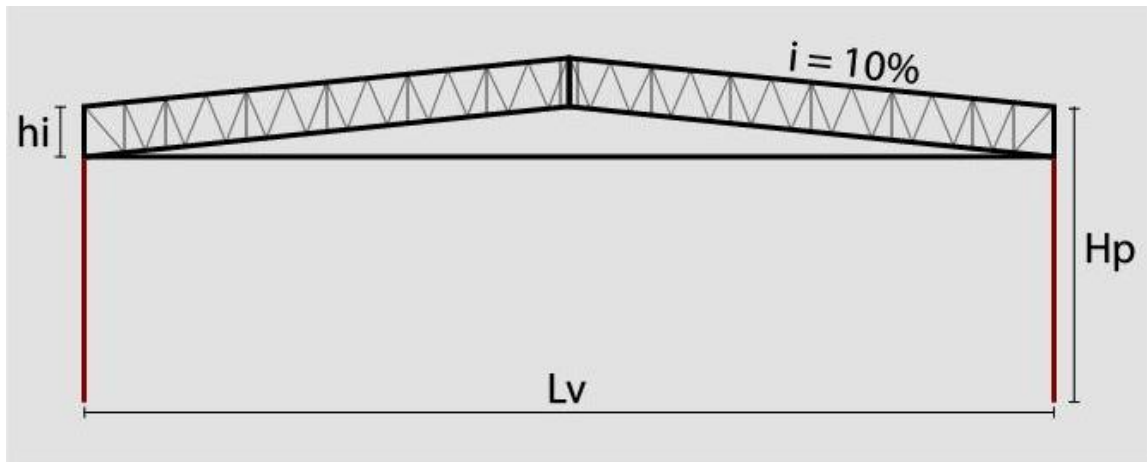
Além disso, foram feitas variações na tipologia dos pilares, entre pilares treliçados, pilares de alma cheia e pilares de concreto, com alturas de 6 metros e 9 metros para cada vão. Essa variação permitiu demonstrar o impacto da altura do pilar na estrutura.

As treliças foram dispostas com uma inclinação de 10%, e as alturas das treliças foram escolhidas com valores usuais. O número de montantes e diagonais variou de acordo com cada modelo analisado, e os detalhes de cada modelo podem ser encontrados no tópico a seguir.

3.3 Tipologias a serem analisadas

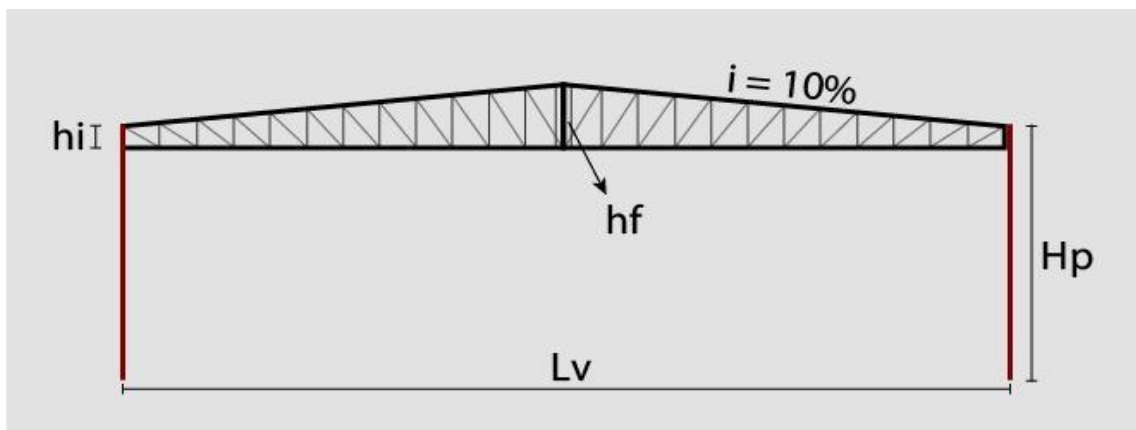
As treliças foram projetadas em três modelos de pórtico, como ilustrado nas Figuras 64, 65 e 66, com especificações detalhadas apresentadas nas Tabelas 01, 02 e 03. Cada modelo possui 30 variações, numeradas de 0 a 30, que diferem em diversos aspectos, como o vão livre transversal, o comprimento longitudinal do galpão, a altura e tipo dos pilares, e a altura das treliças. Isso resulta em um total de 90 tipologias diferentes que foram dimensionadas e posteriormente comparadas entre si.

Figura 64 - Modelo 01 - Trelça especial de banzos paralelos engastada no pilar



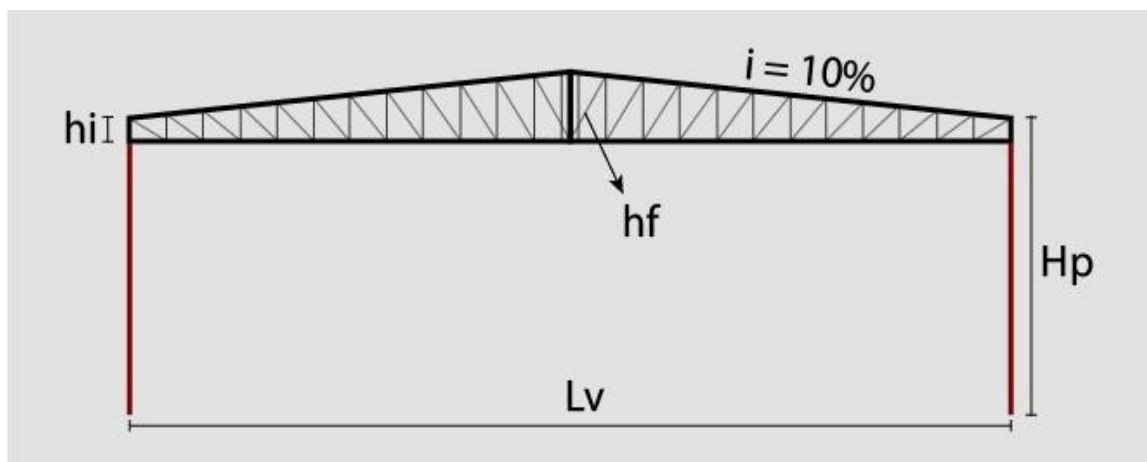
Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 65 - Modelo 02 – Trelça trapezoidal engastada no pilar



Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 66 - Modelo 03 - Trelça trapezoidal apoiada no pilar



Fonte: Próprio Autor (2023).

Tabela 1 – Modelo 1 - Treliza especial de banzos paralelos engastada no pilar

Nº	MODELO DE PILAR	Dados do Galpão			Dados da Treliza	
		Largura Lv (m)	Comprimento (m)	Altura Hp (m)	hi (m)	hf
1	TRELIÇADO	15	30	6	0,9	0
2	TRELIÇADO	20	30	6	1	0
3	TRELIÇADO	25	30	6	1,4	0
4	TRELIÇADO	30	54	6	1,5	0
5	TRELIÇADO	35	54	6	1,9	0
6	TRELIÇADO	15	30	9	0,9	0
7	TRELIÇADO	20	30	9	1	0
8	TRELIÇADO	25	30	9	1,4	0
9	TRELIÇADO	30	54	9	1,5	0
10	TRELIÇADO	35	54	9	1,9	0
11	CONCRETO ARMADO	15	30	6	0,9	0
12	CONCRETO ARMADO	20	30	6	1	0
13	CONCRETO ARMADO	25	30	6	1,4	0
14	CONCRETO ARMADO	30	54	6	1,5	0
15	CONCRETO ARMADO	35	54	6	1,9	0
16	CONCRETO ARMADO	15	30	9	0,9	0
17	CONCRETO ARMADO	20	30	9	1	0
18	CONCRETO ARMADO	25	30	9	1,4	0
19	CONCRETO ARMADO	30	54	9	1,5	0
20	CONCRETO ARMADO	35	54	9	1,9	0
21	UE DUPLO SOLDADO	15	30	6	0,9	0
22	UE DUPLO SOLDADO	20	30	6	1	0
23	UE DUPLO SOLDADO	25	30	6	1,4	0
24	UE DUPLO SOLDADO	30	54	6	1,5	0
25	UE DUPLO SOLDADO	35	54	6	1,9	0
26	UE DUPLO SOLDADO	15	30	9	0,9	0
27	UE DUPLO SOLDADO	20	30	9	1	0
28	UE DUPLO SOLDADO	25	30	9	1,4	0
29	UE DUPLO SOLDADO	30	54	9	1,5	0
30	UE DUPLO SOLDADO	35	54	9	1,9	0

Fonte: Próprio Autor (2023).

Tabela 2 - Modelo 2 - Treliza trapezoidal engastada no pilar

Nº	MODELO DE PILAR	Dados do Galpão			Dados da Treliza	
		Largura Lv (m)	Comprimento (m)	Altura Hp (m)	hi (m)	hf
1	TRELIÇADO	15	30	6	0.5	1.3
2	TRELIÇADO	20	30	6	0.5	1.5
3	TRELIÇADO	25	30	6	0.7	2.0
4	TRELIÇADO	30	54	6	0.7	2.2
5	TRELIÇADO	35	54	6	1.0	2.8
6	TRELIÇADO	15	30	9	0.5	1.3
7	TRELIÇADO	20	30	9	0.5	1.5
8	TRELIÇADO	25	30	9	0.7	2.0
9	TRELIÇADO	30	54	9	0.7	2.2
10	TRELIÇADO	35	54	9	1.0	2.8
11	CONCRETO ARMADO	15	30	6	0.5	1.3
12	CONCRETO ARMADO	20	30	6	0.5	1.5
13	CONCRETO ARMADO	25	30	6	0.7	2.0
14	CONCRETO ARMADO	30	54	6	0.7	2.2
15	CONCRETO ARMADO	35	54	6	1.0	2.8
16	CONCRETO ARMADO	15	30	9	0.5	1.3
17	CONCRETO ARMADO	20	30	9	0.5	1.5
18	CONCRETO ARMADO	25	30	9	0.7	2.0
19	CONCRETO ARMADO	30	54	9	0.7	2.2
20	CONCRETO ARMADO	35	54	9	1.0	2.8
21	UE DUPLO SOLDADO	15	30	6	0.5	1.3
22	UE DUPLO SOLDADO	20	30	6	0.5	1.5
23	UE DUPLO SOLDADO	25	30	6	0.7	2.0
24	UE DUPLO SOLDADO	30	54	6	0.7	2.2
25	UE DUPLO SOLDADO	35	54	6	1.0	2.8
26	UE DUPLO SOLDADO	15	30	9	0.5	1.3
27	UE DUPLO SOLDADO	20	30	9	0.5	1.5
28	UE DUPLO SOLDADO	25	30	9	0.7	2.0
29	UE DUPLO SOLDADO	30	54	9	0.7	2.2
30	UE DUPLO SOLDADO	35	54	9	1.0	2.8

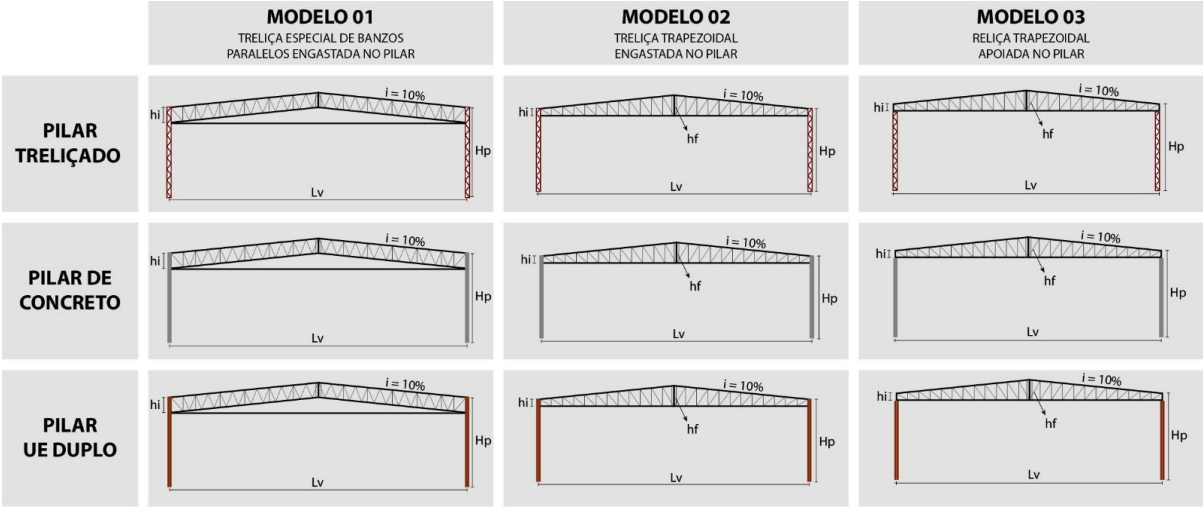
Fonte: Próprio Autor (2023).

Tabela 3 - Modelo 3 - Treliza trapezoidal apoiada no pilar

Nº	MODELO DE PILAR	Dados do Galpão			Dados da Treliza	
		Largura Lv (m)	Comprimento (m)	Altura Hp (m)	hi (m)	hf
1	TRELIÇADO	15	30	6	0.5	1.3
2	TRELIÇADO	20	30	6	0.5	1.5
3	TRELIÇADO	25	30	6	0.7	2.0
4	TRELIÇADO	30	54	6	0.7	2.2
5	TRELIÇADO	35	54	6	1.0	2.8
6	TRELIÇADO	15	30	9	0.5	1.3
7	TRELIÇADO	20	30	9	0.5	1.5
8	TRELIÇADO	25	30	9	0.7	2.0
9	TRELIÇADO	30	54	9	0.7	2.2
10	TRELIÇADO	35	54	9	1.0	2.8
11	CONCRETO ARMADO	15	30	6	0.5	1.3
12	CONCRETO ARMADO	20	30	6	0.5	1.5
13	CONCRETO ARMADO	25	30	6	0.7	2.0
14	CONCRETO ARMADO	30	54	6	0.7	2.2
15	CONCRETO ARMADO	35	54	6	1.0	2.8
16	CONCRETO ARMADO	15	30	9	0.5	1.3
17	CONCRETO ARMADO	20	30	9	0.5	1.5
18	CONCRETO ARMADO	25	30	9	0.7	2.0
19	CONCRETO ARMADO	30	54	9	0.7	2.2
20	CONCRETO ARMADO	35	54	9	1.0	2.8
21	UE DUPLO SOLDADO	15	30	6	0.5	1.3
22	UE DUPLO SOLDADO	20	30	6	0.5	1.5
23	UE DUPLO SOLDADO	25	30	6	0.7	2.0
24	UE DUPLO SOLDADO	30	54	6	0.7	2.2
25	UE DUPLO SOLDADO	35	54	6	1.0	2.8
26	UE DUPLO SOLDADO	15	30	9	0.5	1.3
27	UE DUPLO SOLDADO	20	30	9	0.5	1.5
28	UE DUPLO SOLDADO	25	30	9	0.7	2.0
29	UE DUPLO SOLDADO	30	54	9	0.7	2.2
30	UE DUPLO SOLDADO	35	54	9	1.0	2.8

Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 67 - Diagrama resumo de modelos analisados



Fonte: Próprio Autor (2023).

3.4 Ações e Cargas consideradas

A fim de criar os modelos de estudo desejados, foram utilizadas as ações relevantes nas estruturas, com os seguintes valores de entrada no programa para as ações permanentes:

- Cargas de peso próprio da própria estrutura, geradas pelo programa;
- Estruturas de forro, consideradas $0,10 \text{ kN/m}^2$ segundo a NBR 6120 (ABNT, 2019);
- Painéis solares, considerados $0,15 \text{ kN/m}^2$;
- Telha termo acústica tipo sanduíche, considerada $0,12 \text{ kN/m}^2$.

Para as cargas permanentes nos fechamentos laterais foram consideradas apenas cargas de peso próprio e telha termo acústica tipo sanduíche.

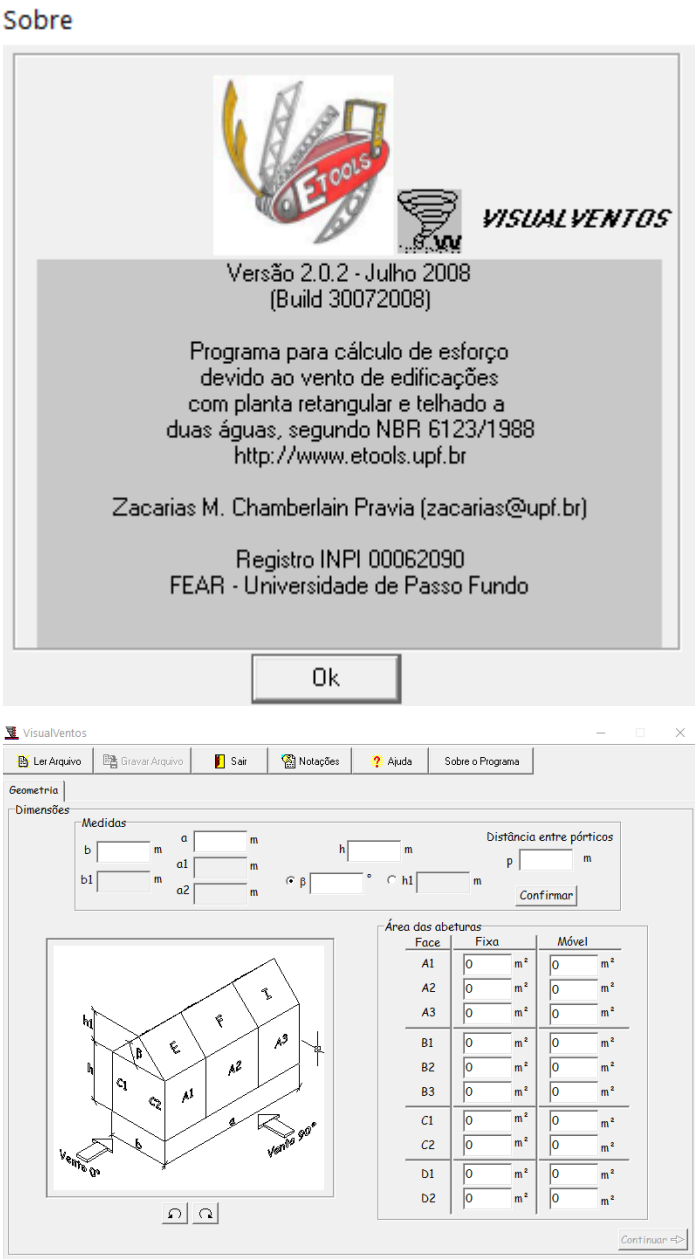
Todas as cargas de peso próprio foram adquiridas na NBR 6120 (ABNT, 2019) ou nos catálogos comerciais de fabricantes variados. Já as ações variáveis foram consideradas as seguintes ações:

- Sobrecarga de cobertura de $0,25 \text{ kN/m}^2$, conforme na NBR 6120 (ABNT, 2019).
- Cargas de vento, conforme na NBR 6123 (ABNT, 1988) e calculadas pelo software Visual Ventos (*etools*, 2008).

As cargas de vento foram calculadas com base na velocidade básica de vento de 30 m/s (Estado do Tocantins), levando em consideração os seguintes fatores: S1 - terreno plano, S2 - zona industrial e S3 - instalação industrial de baixa taxa de ocupação.

Como dito anteriormente o cálculo de cargas de ventos foi realizado com o auxílio do programa Visual Ventos (figura 68)

Figura 68 – Interface inicial do programa



Fonte: Próprio Autor (2023).

O primeiro passo no software é na aba “geometria”, onde são fornecidos os dados da geometria da edificação; observa-se que para o telhado é possível dar ou o ângulo de inclinação do mesmo, ou a altura em relação a parte superior da parede; figura 69.

Figura 69 – Aba de dados relacionadas a geometria da estrutura

VisualVentos

Geometria | Velocidade Básica

Dimensões

Medidas

b 15 m a 30 m h 6 m Distância entre pórticos

b1 7,50 m a1 7,50 m c β 9,83 ° h1 1,3 m p 6 m

a2 7,50 m

Confirmar

Área das aberturas

Face	Fixa	Móvel
A1	0 m²	0 m²
A2	0 m²	0 m²
A3	0 m²	0 m²
B1	0 m²	0 m²
B2	0 m²	0 m²
B3	0 m²	0 m²
C1	0 m²	0 m²
C2	0 m²	0 m²
D1	0 m²	0 m²
D2	0 m²	0 m²

Continuar

Fonte: Próprio Autor (2023).

Ao clicar em “continuar”, o programa direciona para a aba “velocidade básica”, figura 70 onde é preenchido os dados de velocidade dos ventos: Com base na Norma Brasileira NBR-6123:1988, a velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de três segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano. A Norma coloca à disposição valores de velocidades básicas, da região brasileira, na forma de isoietas. Para esse caso a velocidade básica do vento foi 30m/s.

Figura 70 – Aba de dados relacionada a velocidade básica do vento

VisualVentos

Geometria | Velocidade Básica

Análise das Isoietas de Vento

Velocidade Básica

V_0 30 m/s

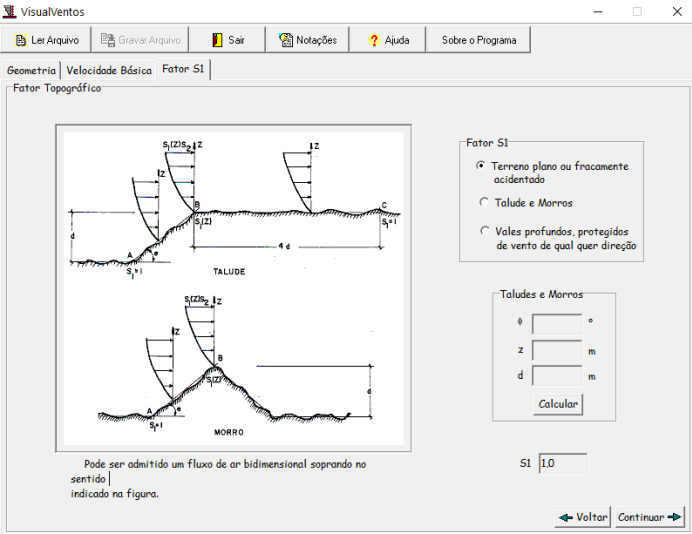
V_0 : Máxima velocidade média sobre 3 segundos, que pode ser estendida em média uma vez em 50 anos, a 10m sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano.

Voltar Continuar

Fonte: Próprio Autor (2023).

Após inserção dos dados de geometria e velocidade básica do vento, é pedido na aba “fator S1”, dado esse que leva em consideração o aumento ou a diminuição da velocidade básica de acordo com a topografia do terreno. Para esse caso o fator S1 foi de 1,0 terreno plano ou pouco ondulado. Figura 71.

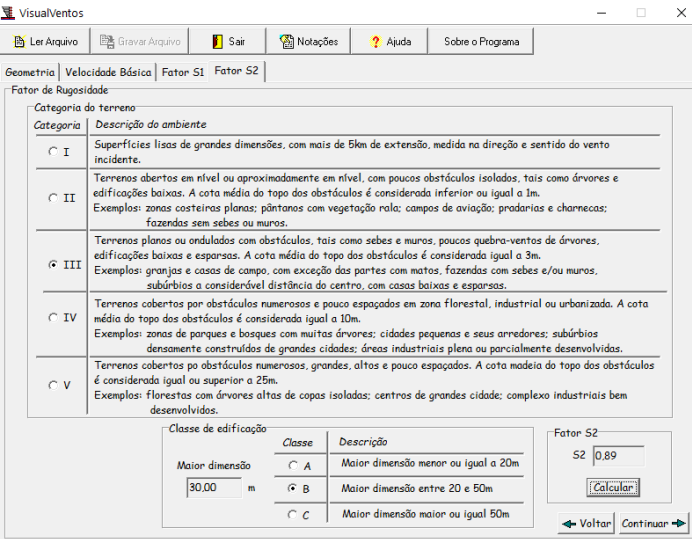
Figura 71 – Aba de dados de fator topográfico “S1”



Fonte: Próprio Autor (2023).

Por diante, o passo seguinte foi gerar os dados na aba “Fator S2” presentes na Figura 72, que foi calculado a partir dos parâmetros “Categoria do terreno” e a “Classe da edificação”.

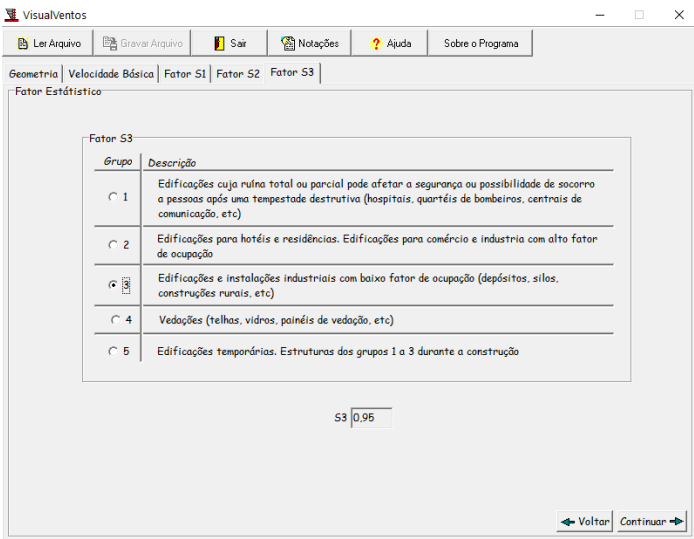
Figura 72 – Fator de rugosidade o terreno e dimensões da edificação



Fonte: Próprio Autor (2023).

Após preencher os dados do fator S2, o último passo consiste em determinar o fator estatístico da edificação o Fator “S3”. Consoante figura 73.

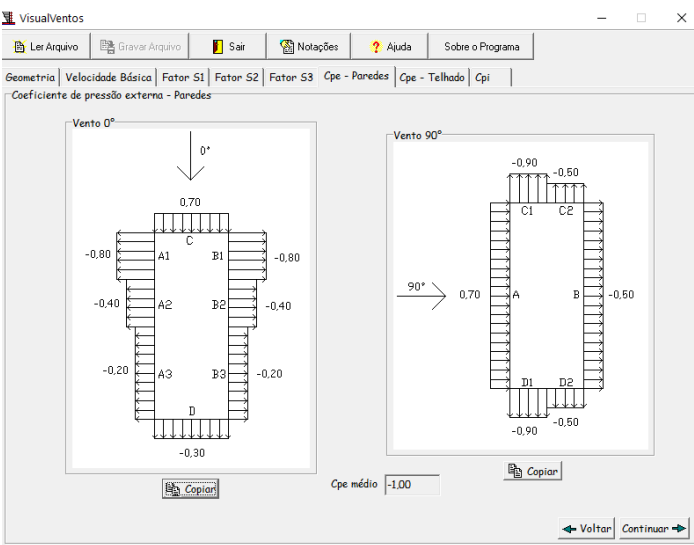
Figura 73 – Aba fator estatístico

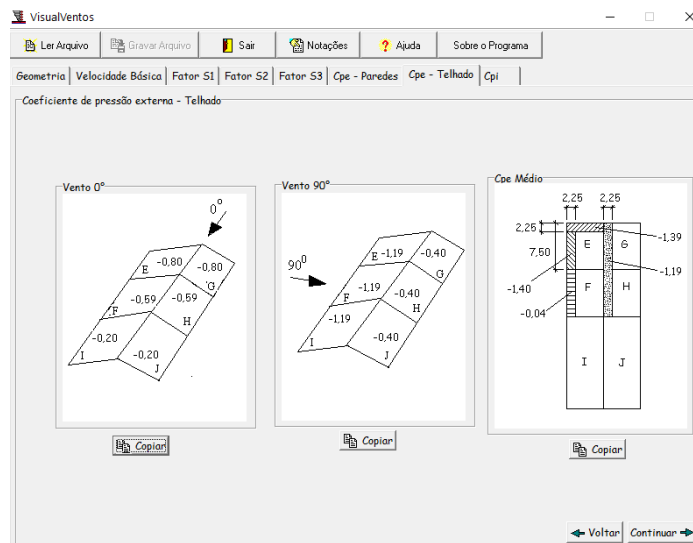


Fonte: Próprio Autor (2023).

Logo após concluir, o programa direcionará para a páginas de resultados de pressão externa nas paredes e telhado tanto para vento 0° e vento 90°, como de acordo com a figura 73.

Figura 74 – Aba Cpe – Parede e Cpe - Telhado

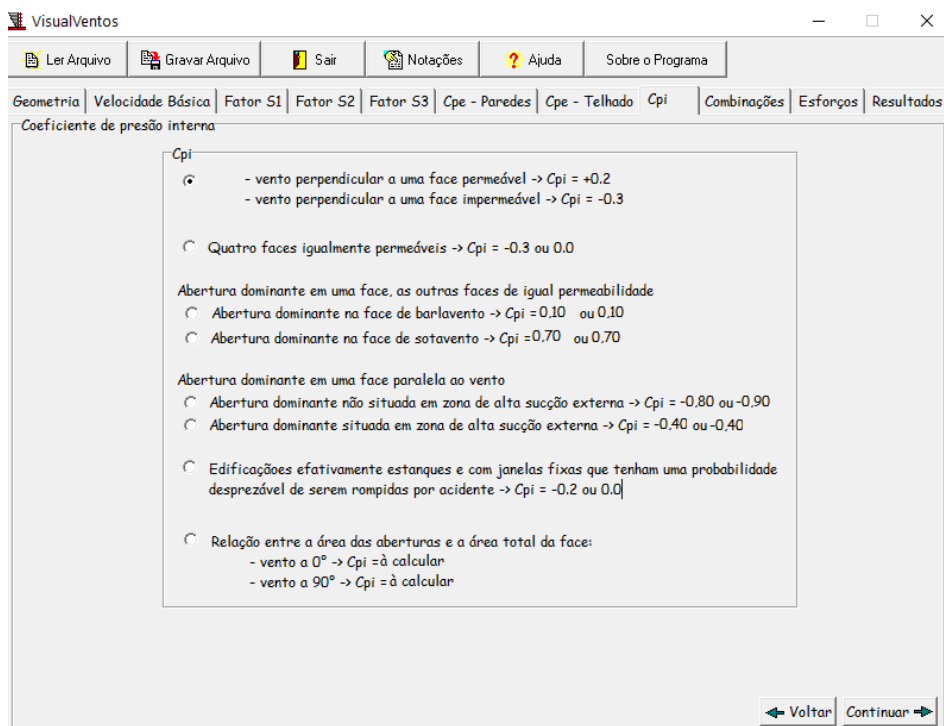




Fonte: Próprio Autor (2023).

Para finalizar o processo, o último passo consiste em determinar os fatores de coeficientes internos. Para esse estudo foi considerado um galpão com duas faces opostas igualmente permeáveis, as outras faces impermeáveis, sendo vento perpendicular a uma face permeável $C_{pi} = +0.2$ e vento perpendicular a uma face impermeável $C_{pi} = -0.3$. Consoante figura 75.

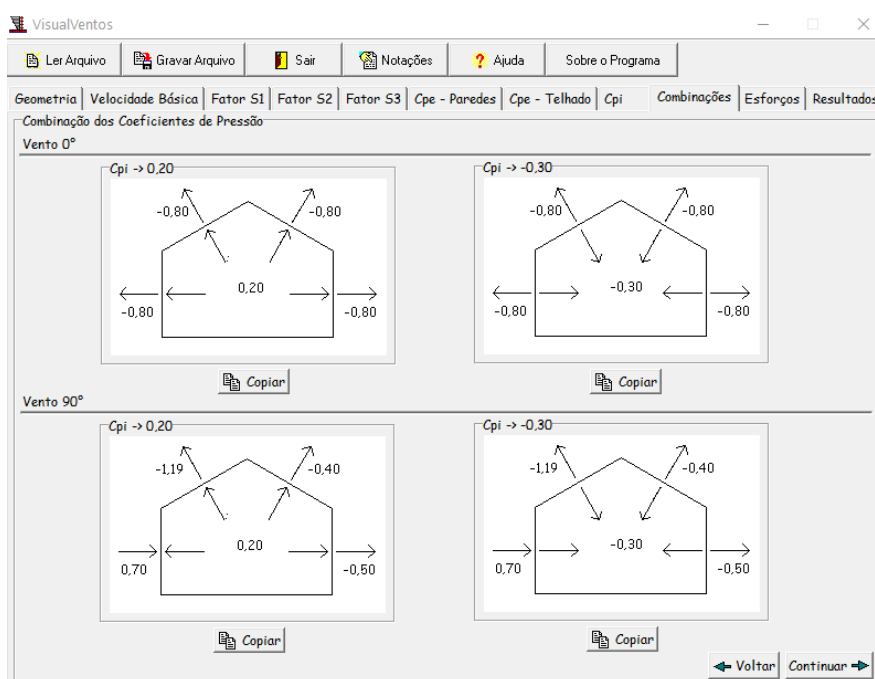
Figura 75 – Aba Cpe – Parede e Cpe - Telhado



Fonte: Próprio Autor (2023).

Logo após concluir, o programa direcionará para as páginas de resultados de combinações que são os dados encontrados pela combinação entre os coeficientes de pressão externa e interna. Figura 76.

Figura 76 – Aba Cpe – Parede e Cpe - Telhado



Fonte: Próprio Autor (2023).

Após conseguir as combinações de pressões, estas foram dispostas e multiplicadas pelo coeficiente de pressão dinâmica, sendo assim tendo o resultado da pressão do vento por m^2 na estrutura. E assim compuseram as cargas de vento que foram utilizadas para o cálculo das estruturas.

3.5 Programa e Calculo das Estruturas analisadas

O programa Cype 3D (CYPE Ingenieros, 2017) envolve várias etapas em seu processo, no entanto, essas etapas não são de relevância central no presente trabalho. O objetivo não é demonstrar o passo a passo de como utilizar o programa, mas sim comparar os resultados que ele gera.

Portanto, para resumir as etapas utilizadas no programa e alcançar os objetivos de modelagem e dimensionamento das estruturas, a lista a seguir apresenta

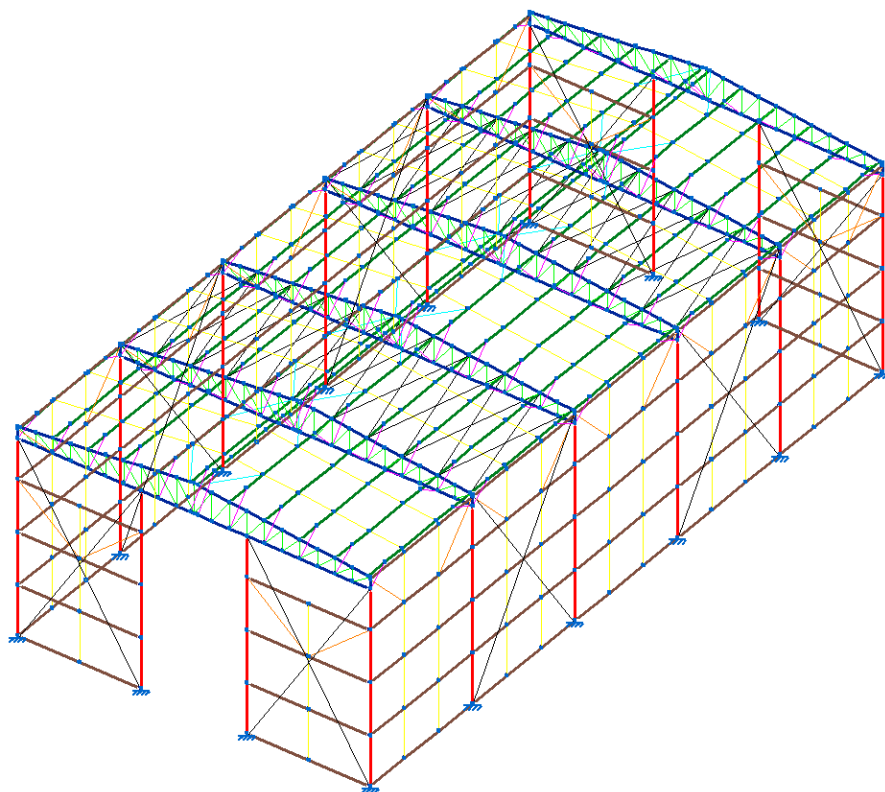
o que foi realizado. As Figuras 78, 79 e 80 demonstram um exemplo de estrutura modelada, já a Figura 81 demonstra as verificações feitas pelo programa.

O processo consistiu em:

- Selecionar as normas que o programa deve utilizar no dimensionamento das estruturas desejadas;
- Definição do tipo de aço dobrado utilizado (CF-28);
- Inserção das ações que a estrutura estará submetida;
- Criação de cores para as diferentes peças componentes do galpão;
- Modelagem da estrutura conforme as Tabela 01,02 e 03 e as treliças pré determinadas nas Figuras 63, 64 e 65;
- Definição dos nós (articulado ou engastado);
- Descrição dos perfis das barras;
- Descrição dos sentidos de disposição dos perfis das barras;
- Inserção dos comprimentos de flambagem e flambagem lateral por torção para todos os elementos que sofrerão flambagem;
- Inserção dos elementos de contraventamento;
- Inserção das flechas limites, conforme Anexo A da NBR 14672 (ABNT, 2010);
- Inserção dos planos de carga distribuída com as cargas definidas no tópico anterior, cargas que atuaram inicialmente nas terças;
- Cálculo da estrutura feito pelo programa;
- Geração de relatórios de aprovação ou reprovação da estrutura, conforme ELU e ELS;
- Por fim, no caso de não aprovação dos perfis inseridos, troca dos perfis com cálculo da estrutura novamente, até adequação dos perfis à estrutura.

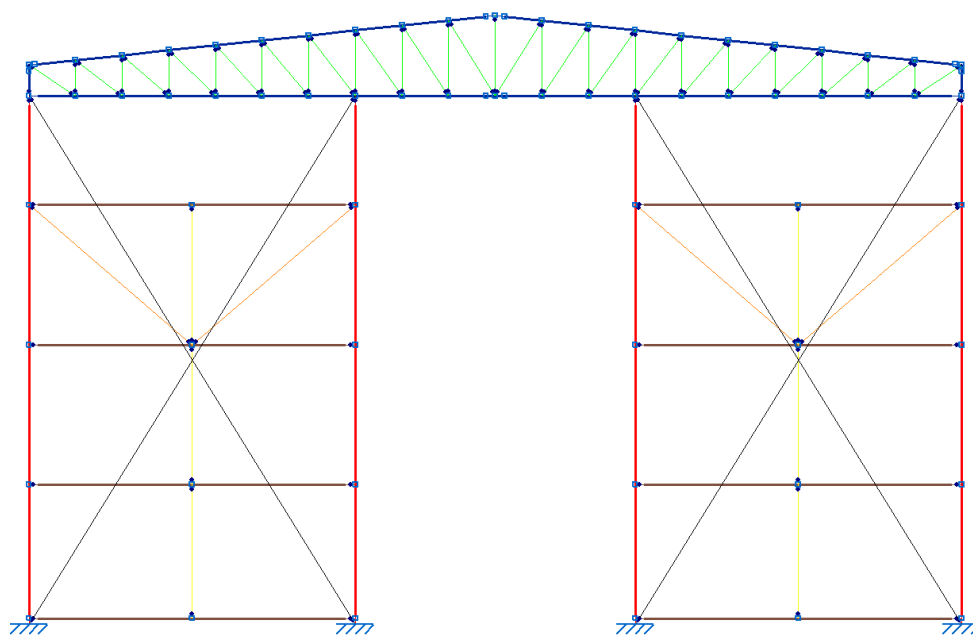
Para exemplificar os objetos de estudo, as figuras 76 a 78, são o lançamento e as verificações do galpão 15x30x9, modelo 3, com pilares de alma cheia. Nota-se que a treliça é trapezoidal e apoiada sobre os pilares.

Figura 77 – Vista 3D do galpão 15x30x9m modelada no programa



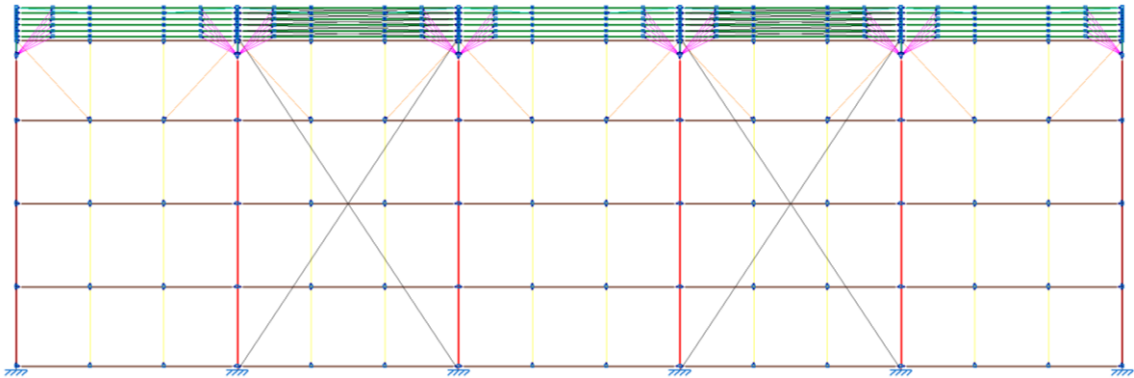
Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 78 – Vista frontal galpão 15x30x9m



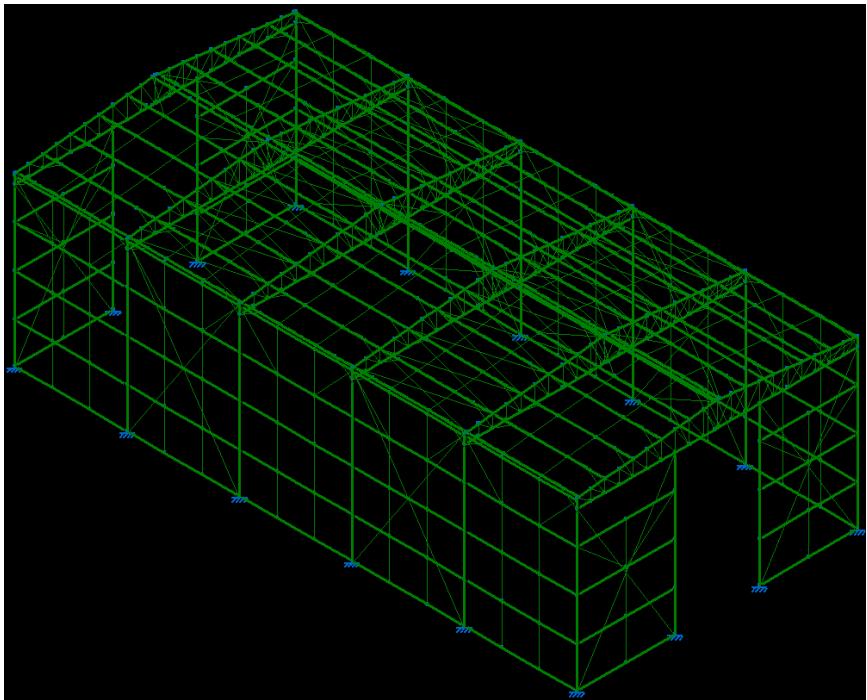
Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 79 – Vista Lateral do galpão 15x30x9m modelada no programa



Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 80 – Verificações feitas pelo programa

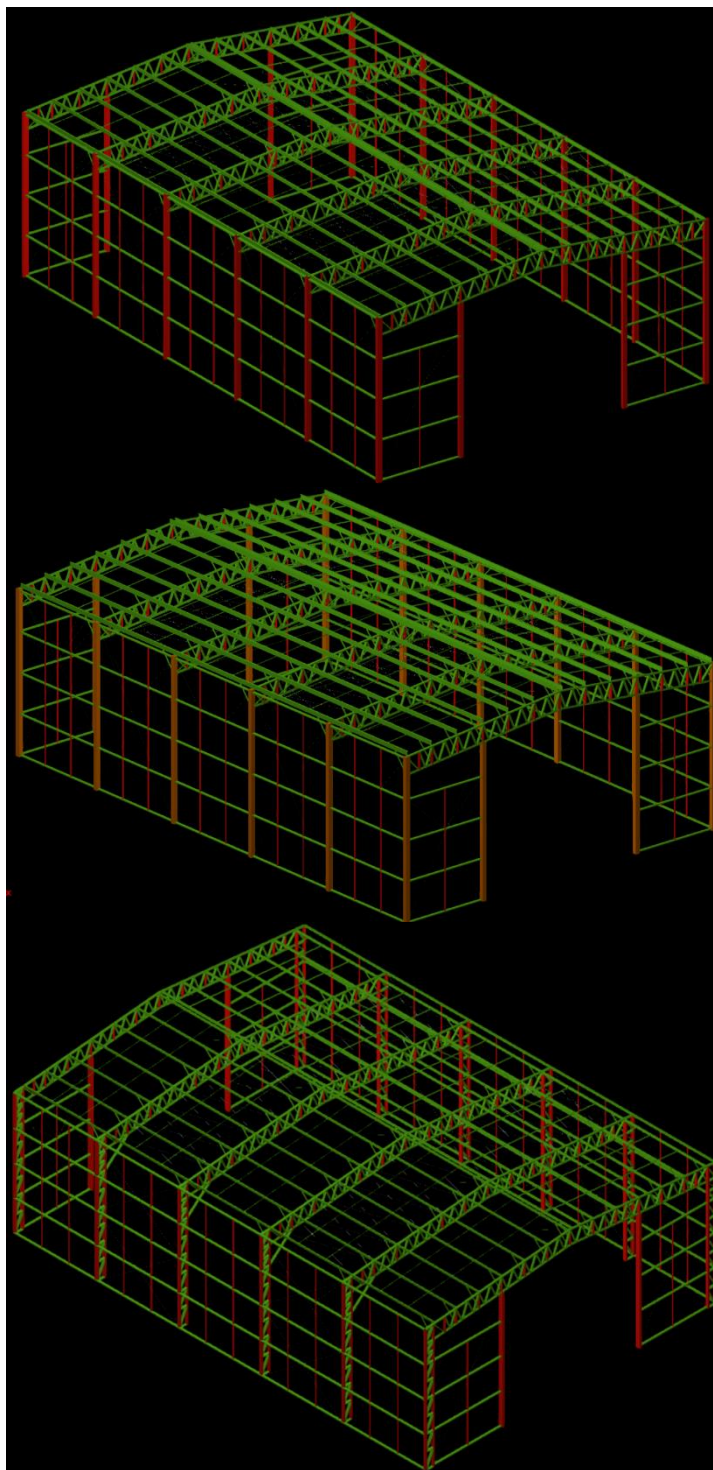


Estado	Verificação
✓ Passa	Valores máximos da relação comprimento-espessura (ABNT NBR 14762:2010 Artigo 9.1.2 Tabela 4)
✓ Passa	Limitação de esbelteza (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7.4)
✓ Passa	Resistência à tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.6)
✓ Passa	Resistência à compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.7)
✓ Passa	Resistência à flexão eixo U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)
✓ Passa	Resistência à flexão eixo V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.2)
✓ Passa	Resistência ao esforço cortante U (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)
✓ Passa	Resistência ao esforço cortante V (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.3)
✓ Passa	Resistência ao momento fletor U e esforço cortante V combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)
✓ Passa	Resistência ao momento fletor V e esforço cortante U combinados (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.8.4)
✓ Passa	Resistência à flexo-compressão (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)
✓ Passa	Resistência à flexo-tração (ABNT NBR 14762:2010, Artigo 9.9)
✓ Passa	Resistência à torção (Critério da CYPE Ingenieros)

Fonte: Próprio Autor (2023).

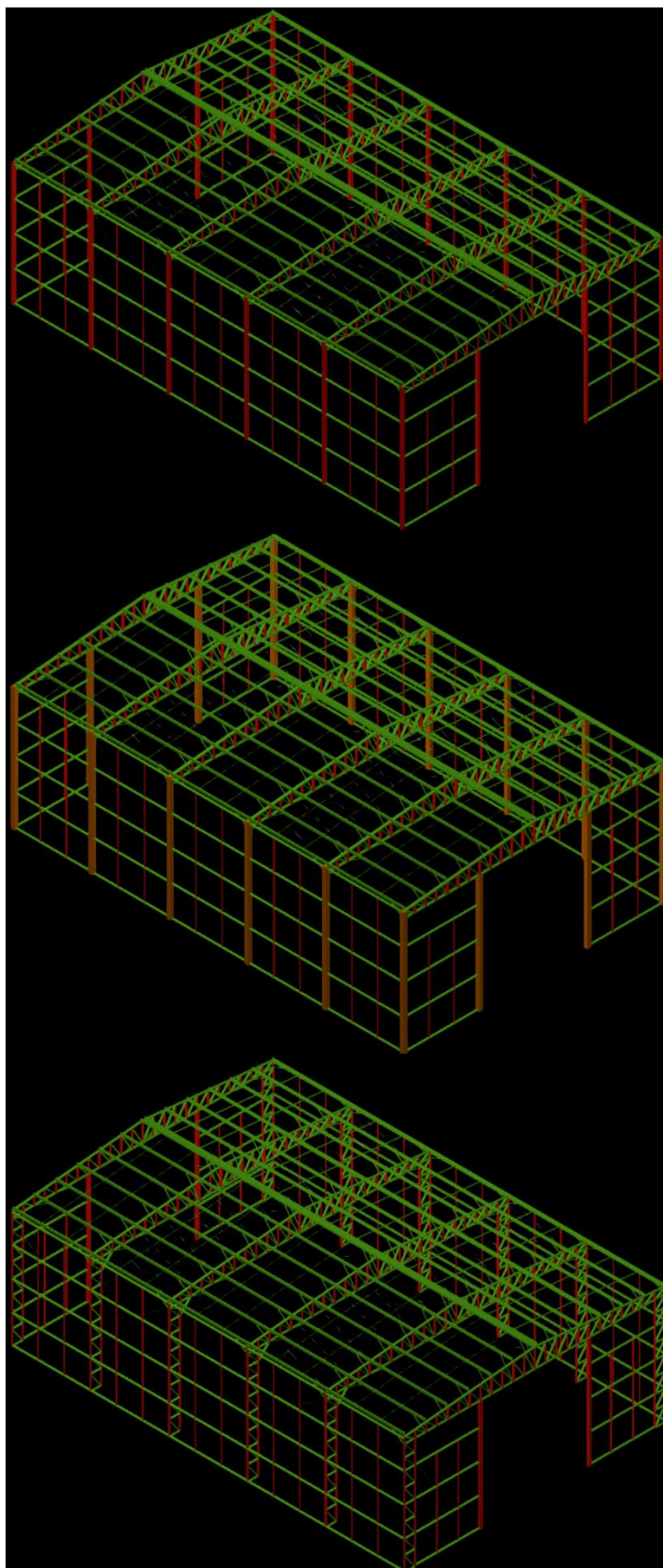
As figuras 81, 82 e 83 apresentam os modelos 1, 2 e 3, bem como as variações dos pilares, com o objetivo de aprimorar a explicação do estudo realizado.

Figura 81 – Modelo 1 e suas variações em pilares de alma cheia, concreto e treliçado respectivamente



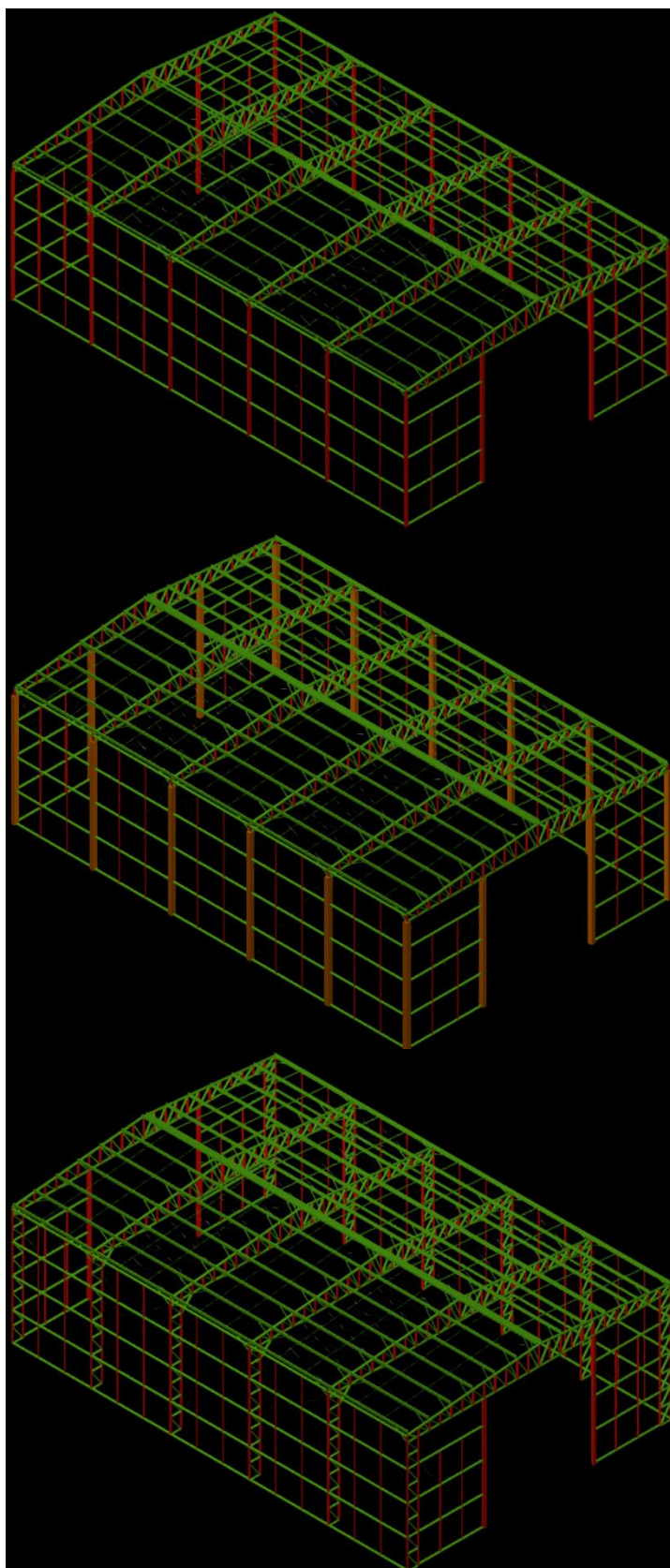
Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 82 - Modelo 2 e suas variações em pilares de alma cheia, concreto e treliçado respectivamente



Fonte: Próprio Autor (2023).

Figura 83 - Modelo 3 e suas variações em pilares de alma cheia, concreto e treliçado respectivamente



Fonte: Próprio Autor (2023).

Após a conclusão do estudo prático das estruturas que foram analisadas, atendendo ao ELU e ELS, os seguintes pontos foram analisados para gerar as comparações:

- Cargas de vento;
- Peso dos componentes do galpão isoladamente;
- Peso da estrutura global por metro quadrado (m^2);
- As particularidades percebidas nas diferentes concepções analisadas.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste segmento, serão apresentados os resultados obtidos e as análises realizadas com base neles. Serão feitas avaliações críticas e comparativas das estruturas que foram modeladas e calculadas.

Inicialmente, determinou-se a carga de vento que estaria agindo nas estruturas analisadas conforme as dimensões do galpão pretendido, os valores obtidos ficaram de acordo com a norma NBR 6123 (ABNT, 1988). Podendo ser conferidos no Apêndice “D”, desse trabalho.

Após realizar o dimensionamento das estruturas e o levantamento quantitativo de peso das peças, incluindo o peso total por metro quadrado, como detalhado nos apêndices A, B e C deste trabalho, foram obtidas as seguintes conclusões:

No modelo 1, após as comparações entre os três pilares e os 30 modelos, conforme apresentado no Anexo A, chegou-se à conclusão de que o pilar em alma cheia, representado pelos perfis dobrados formados a frio, apresentou o menor peso estrutural em relação ao pilar treliçado, em apenas três casos desse modelo com vãos até 20 metros e altura de 6 metros, se conseguiu um peso menor com pilar treliçado, mas levando em consideração que a diferença de peso, é bem pequena, o perfil em alma cheia ainda pode ser a solução mais viável para essa tipologia. Contudo, não foi possível fazer uma comparação com o pilar de concreto nesta análise pois o concreto não é mensurado pelo peso. A Tabela 4 resume os menores pesos encontrados para cada galpão analisado no modelo 1.

Tabela 4 – Resultados dos menores pesos encontrados para o Modelo 1

Galpão	Pilar	Peso global kg/m²
15x30x6	treliçado	18,44
15x30x9	treliçado	24,24
20x30x6	treliçado	22,77
20x30x9	alma cheia	23,93
25x30x6	alma cheia	23,81
25x30x9	alma cheia	28,48
30x54x6	alma cheia	26
30x54x9	alma cheia	36,54
35x54x6	alma cheia	28,45
35x54x9	alma cheia	33,47

Fonte: Próprio Autor (2023).

O modelo 2 corroborou as conclusões do modelo 1, porém obteve resultados com pesos ainda menores podendo ser analisado melhor no apêndice “B” desse trabalho. A Tabela 5 apresenta os detalhes do galpão e do pilar que melhor se adequou à solução e apresentou o menor peso global em kg/m² da estrutura.

Tabela 5 – Resultados dos menores pesos encontrados para o Modelo 2

Galpão	Pilar	Peso global kg/m²
15x30x6	treliçado	23,12
15x30x9	alma cheia	30,48
20x30x6	treliçado	23,65
20x30x9	alma cheia	24,34
25x30x6	treliçado	22,49
25x30x9	alma cheia	25,11
30x54x6	alma cheia	22,87
30x54x9	alma cheia	25,01
35x54x6	alma cheia	25,17
35x54x9	alma cheia	28,93

Fonte: Próprio Autor (2023).

As conclusões para o modelo 3 não diferiram dos demais modelos. Como pode ser visto na tabela 6. Além disso, esse modelo se destacou ao apresentar os menores pesos entre as três tipologias, corroborando a hipótese deste trabalho. Todo levantamento de dados desse modelo, se encontra no apêndice “C”, desse estudo.

Tabela 6 – Resultado do Modelo 3

Galpão	Pilar	Peso global kg/m²
15x30x6	Treliçado	17,03
15x30x9	Treliçado	24,96
20x30x6	Treliçado	18,79
20x30x9	Treliçado	20,73
25x30x6	alma cheia	20,75
25x30x9	alma cheia	22,60
30x54x6	alma cheia	21,05
30x54x9	alma cheia	22,83
35x54x6	alma cheia	24,39
35x54x9	alma cheia	26,76

Fonte: Próprio Autor (2023).

Analogamente, ao analisar os 90 modelos, chegou-se à seguinte conclusão: O modelo 3 sobressaiu-se ao apresentar menor peso global da estrutura em comparação com os modelos 1 e 2. Já em relação aos pilares, pilares treliçados apresentam menor peso global com vãos de até 20 metros. Para vãos maiores que 20 metros, os pilares em alma cheia apresentam menor peso global, conforme evidenciado na tabela 7, que apresenta o galpão, o modelo, o pilar e o menor peso obtido. Vale ressaltar que não foi possível realizar uma comparação por peso dos modelos com pilares de concreto.

Tabela 7 – Comprovação da Hipótese

Resultados			
Galpão	Modelo	Pilar	Peso global (kg/m²)
15x30x6	3	Treliçado	17,83
15x30x9	3	Treliçado	24,96
20x30x6	3	Treliçado	18,79
20x30x9	3	Treliçado	20,73
25x30x6	3	alma cheia	20,75
25x30x9	3	alma cheia	22,60
30x54x6	3	alma cheia	21,05
30x54x9	3	alma cheia	22,83
35x54x6	3	alma cheia	24,39
35x54x9	3	alma cheia	26,76

Fonte: Próprio Autor (2023).

Embora não tenha sido viável comparar o pilar de concreto com os demais tipos de pilares, todo o dimensionamento com pilares de concreto foi realizado. Observou-se que o pilar exerce influência direta no peso da cobertura. Diante disso, optou-se por isolar as coberturas/fechamento lateral e analisá-las separadamente para melhor observar a influência do pilar na cobertura, considerando apenas o peso da cobertura/fechamento lateral, conforme apresentado nas tabelas 8, 9 e 10, que exibe o galpão, o pilar que independentemente do seu peso, tornou a cobertura/fechamento lateral mais leve, e o peso da cobertura/fechamento encontrado em kg/m². Os apêndices A, B e C, exibem de forma mais elaborada e detalhada as comparações das coberturas de cada modelo.

Tabela 8 – Resultados das coberturas/fechamentos laterais modelo 1

Galpão	Pilar	Peso cobertura/fechamento lateral kg/m²
15x30x6	Treliçado	13,58
15x30x9	Treliçado /Concreto	17,72
20x30x6	Treliçado	16,89
20x30x9	Treliçado	15,94
25x30x6	Concreto Armado	20
25x30x9	Treliçado	20,28
30x54x6	Treliçado	21,86
30x54x9	Concreto Armado	24,76
35x54x6	Concreto Armado	25,79
35x54x9	Concreto Armado	26,9

Fonte: Próprio Autor (2023).

Tabela 9 - Resultados das coberturas/fechamentos laterais modelo 2

Galpão	Pilar	Peso cobertura/fechamento lateral kg/m²
15x30x6	Treliçado	17,20
15x30x9	Treliçado	18,94
20x30x6	Treliçado	18,64
20x30x9	Concreto Armado/Alma Cheia	17,57
25x30x6	Treliçado	17,60
25x30x9	Concreto Armado	16,58
30x54x6	Treliçado	18,07
30x54x9	Concreto Armado	17,95
35x54x6	Concreto Armado/Treliçado/ Alma Cheia	21,4
35x54x9	Treliçado	22,45

Fonte: Próprio Autor (2023).

Após analisar as coberturas dos 90 galpões, os resultados encontrados referentes ao menor peso da cobertura para cada galpão individualmente, bem como o pilar que proporcionou essa eficiência, são apresentados na tabela 10.

Tabela 10 - Resultados das coberturas/fechamentos laterais modelo 3

Galpão	Pilar	Galpão
15x30x6	Treliçado	13,62
15x30x9	Treliçado	17,30
20x30x6	Treliçado	15,60
20x30x9	Concreto Armado	16,02
25x30x6	Treliçado	17,41
25x30x9	Concreto Armado	18,17
30x54x6	Treliçado	17,62
30x54x9	Concreto Armado/Alma cheia	18,74
35x54x6	Treliçado	21,97
35x54x9	Concreto Armado/Alma cheia	22,77

Fonte: Próprio Autor (2023).

4.1 Principais descobertas

No início da pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico que confirmou a eficiência das estruturas metálicas para espaços com grandes vãos. Os componentes dos galpões foram detalhados e serviram como base para compor os modelos analisados. Dentre os elementos dos galpões, foram descritas as particularidades de cada um, com o aumento dos perfis à medida que o vão transversal crescia, culminando na análise do peso global da estrutura.

O primeiro elemento analisado foram os pilares que como já previsto independentemente do modelo (alma cheia, concreto armado e treliçado), o peso aumentou gradualmente com o aumento do vão transversal.

Quanto aos pilares treliçados, independentemente do modelo de treliça, os esforços de flexo-compressão nos banzos internos dos pilares eram muito grandes, fazendo com que a taxa de aço para os pilares fossem muito altas. Com isso, fez-se necessário acrescentar um elemento de mão francesa ligando a treliça ao pilar. Dessa forma, o peso da treliça e os esforços de flexo-compressão no topo dos banzos internos dos pilares são reduzidos por conta de haver um apoio adicional.

No Modelo 3, onde as treliças apenas se apoiam sobre os pilares, geram cargas majoritariamente normais de compressão ou tração, já os demais modelos, por estarem engastados nos pilares, geraram, além dos esforços normais, momentos devido ao engastamento. Os perfis dos banzos da treliça também aumentaram de peso conforme o vão transversal crescia. Nos vãos maiores, o modelo 1 teve os banzos das treliças mais pesados devido à maior solicitação a flexo-compressão dos banzos inferiores.

As diagonais e montantes tiveram seus pesos aumentados proporcionalmente ao vão. O Modelo 1 apresentou diagonais e montantes mais pesados devido à predominância de elementos diagonais em sua concepção estrutural.

Os tirantes entre pilares, utilizados apenas no Modelo 1, proporcionam maior estabilidade e redução de deslocamentos. Os mesmos tiveram aumento de peso com o aumento do vão transversal. Já nos pilares de concreto armado tirantes entre pilares apresentaram uma taxa de aço menor, por conta de seus deslocamentos serem menores em comparação aos pilares puramente em aço.

Para os elementos de fechamento lateral, os perfis se mantiveram praticamente os mesmos no decorrer do aumento dos vãos transversais e longitudinais dos galpões. A taxa de aço aumentaria para os fechamentos laterais se a distância entre pórticos e linhas de correntes fossem maiores, mas optou-se por manter o mesmo distanciamento garantindo possível comparar todos os modelos.

As mãos francesas no vão de 35m, devido ao aumento das alturas das treliças nos Modelos 02 e 03, e o consequente aumento do comprimento das mãos francesas, foi necessário adotar um perfil de maiores dimensões e espessura para adequar-se à esbeltez mínima, por conta disso as cantoneiras adotadas tornaram-se mais pesadas que as utilizadas no Modelo 1 por serem maiores e de maior espessura.

Os modelos engastados mostraram maior solicitação nos pilares, o que aumentou o peso estrutural nesses elementos. Consequentemente, os pilares do modelo 3 se tornaram mais esbeltos e de menores dimensões em comparação aos modelos 1 e 2.

As variações identificadas entre os modelos de 6 metros e 9 metros de altura para os mesmos vãos transversais abrangeram diversas modificações. A carga de vento foi ajustada devido à mudança na geometria do galpão, refletindo a influência da altura sobre a pressão do vento na estrutura. Além disso, houve um aumento nos comprimentos dos contraventamentos e dos pilares, o que se mostrou essencial para manter a estabilidade da construção com a elevação da altura do galpão. Também foi necessário ampliar as dimensões e espessuras dos perfis dos pilares, uma vez que esses componentes foram mais exigidos, principalmente devido à esbeltez resultante da maior altura do galpão e ao acréscimo das cargas de vento associadas. Essas adaptações foram fundamentais para garantir a segurança e a estabilidade da estrutura em diferentes configurações e condições.

A hipótese que sugeria que os pilares em alma cheia e as coberturas trapezoidais apoiadas nos pilares apresentariam um menor peso global da estrutura foi comprovada, mas com uma ressalva, para vãos transversais de até 20 metros e altura de 6 metros, pilares treliçados tiveram um peso global menor em comparação com pilares em alma cheia. Em Vãos transversais maiores que 20 metros, pilares em alma cheia mostram menor peso global.

A determinação das concepções estruturais enfrentou dificuldades na escassez de bibliografias específicas para PFF's, sobre tamanhos ideais ou usuais de

treliças e posicionamento de elementos. Além disso, os longos tempos de processamento computacional para testar diversas hipóteses de perfis foram uma limitação. No entanto, os resultados dos dimensionamentos permitiram gerar uma base de dados de perfis para comparação entre as coberturas metálicas de galpões, sendo uma referência para futuros dimensionamentos.

Por fim, os resultados relativos aos pesos totais das estruturas dimensionadas, considerando cargas como o peso próprio dos elementos, vento em coberturas isoladas, telha termoacústica tipo sanduíche, forro, painéis solares e sobrecargas de cobertura, devidamente combinadas para situações de Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS), e posteriormente aplicadas aos perfis para dimensionamento, de acordo com as Normas NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 8800 (ABNT, 2008), indicaram que as coberturas do Modelo 3, com pilares em alma cheia, apresentaram um desempenho superior em quase todos os vãos. Isso se traduziu em valores menores de peso estrutural total e por metro quadrado, com os pilares desempenhando um papel variável na redução do peso global em quase todos os cenários analisados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No início deste trabalho, a pesquisa foi considerada relevante para apontar uma tipologia de galpão considerada leve e auxiliar a comunidade acadêmica e profissional no dimensionamento de coberturas metálicas de galpões. Após a conclusão da pesquisa, ficou evidente que a relevância do estudo foi percebida, pois a análise das diferentes concepções estruturais proporcionou resultados que podem servir como base para a adoção de soluções estruturais com menor peso, mas mantendo a segurança e durabilidade conforme os resultados apresentados.

Os objetivos estabelecidos foram alcançados com sucesso. O primeiro objetivo, que consistia em descrever e detalhar as particularidades, foi abordado na parte do referencial teórico. O segundo objetivo, que envolvia determinar e dimensionar diferentes concepções estruturais de galpões, através de programa computacional de cálculo estrutural e análise dos modelos propostos, foi concluído e os resultados foram apresentados na análise de resultados. O terceiro objetivo,

relacionado à avaliação e conclusões dos objetos de estudo em relação ao aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural, também foi cumprido.

A hipótese inicial de que o Modelo 3, com treliça trapezoidal apoiada no pilar, apresentaria o maior aproveitamento dos perfis e menor peso estrutural foi aprovada, mas com a ressalva de que para vãos transversais de até 20 metros e altura de 6 metros, pilares treliçados tiveram um peso global menor em comparação com pilares em alma cheia. Para vãos maiores que 20 metros e pilares mais altos que 6 metros, pilares em alma cheia tornam-se a opção mais vantajosa em termos de custo-benefício, desde que dimensionada de acordo com as normas vigentes.

A pergunta de pesquisa levantada foi a partir da vasta variedade de opções de arranjo estrutural e diversas soluções de estruturas metálicas para galpões industriais, surge a questão de qual tipologia de galpão, com fechamento lateral, é mais adequada para os galpões considerados pequenos e médios, levando em conta critérios de segurança e custo-benefício. A pesquisa concluiu que, a tipologia 3, com treliças trapezoidais e com pilares em alma cheia, se sobressaem em relações aos modelos analisados, e que com esses modelos analisados, foi possível gerar uma base de consulta com um banco de dados comparativo que demonstra estruturas variadas com os perfis e pesos utilizados, mostrando as que tiveram melhor desempenho.

Durante o desenvolvimento deste estudo, diversas dificuldades foram enfrentadas. Isso incluiu a escassez de literatura relacionada a modelos de concepção estrutural mais comuns na construção civil, o grande número de galpões que precisaram ser modelados e calculados, o que demandou um tempo considerável para realizar as etapas de modelagem e adaptação às cargas propostas, bem como o longo período de cálculo necessário para estruturas maiores, que exigiu um desempenho significativo do computador utilizado para os cálculos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Fazer uma análise dos modelos dos galpões do estudo, comparando o dimensionamento em perfis laminados e em chapa dobrada, analisando a viabilidade do peso da cobertura e pilares.

Elaboração de projeto completo de fabricação da estrutura metálica, analisando questões orçamentarias.

Buscar variar os softwares de dimensionamento a fim de comparar as memórias de cálculo geradas por esses programas e fazer um paralelo com as normas NBR 14762 (ABNT, 2010) e NBR 8800 (ABNT, 2008).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Wanderley Ribeiro. **Utilização de sistemas estruturais metálicos no atual cenário da construção civil brasileira: estudo de caso para a montagem de estrutura e cobertura de galpão industrial de médio porte**. 2017. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/19172/1/CT_GEOB_XXIII_2017_35.pdf. Acesso em: 04 mar. 2023.

AMORIM, Bruno Rodrigues. **Estudo de treliças espaciais de aço ou mistas para vigamentos principais de galpões de grandes dimensões**. Orientador: Prof. Sebastião Arthur Lopes de Andrade. 2018. 133 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/36901/36901.PDF>. Acesso em: 02 fev. 2023.

ANDERSON BENITE (Rio de Janeiro). Instituto Aço Brasil Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Manual da Sustentabilidade da Construção em aço**. 2019. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca/?et=0&emsg=E0010&#item-102605>. Acesso em: 04 mar. 2023.

ANUNCIAÇÃO, N. da C.; ABRANTES PEREIRA, A.; BARBOSA RIBEIRO, C. .; DOMINGUEZ SILVA BARBOZA, M. **Análise comparativa de sistemas de contraventamentos em galpão metálico através do SAP2000**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 1–17, 2020. DOI: 10.26512/ripe.v5i2.28617. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/28617>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ARGENTA, Marcos Andre. **Estabilidade e Analise Estrutural**. 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/sabri/Downloads/ANALISE%20MATERIAL%20E%20ANALISE%20EFITO%20DOS%20DESLOCAMENTOS.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004.

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

BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. Fundamentos de metodologia científica. 3.ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2014.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **PILARES DE CONCRETO ARMADO**. 2015. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/08/apostila-pilares-unesp-prof-paulo-sergio.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2023.

BATISTA, Aline. **Espaço Cultural**. 2017. Disponível em: https://portalantigo.palmas.to.gov.br/conheca_palmas/cultura/espaco-cultural/. Acesso em: 03 mar. 2023.

BELLEI, ILDONY H.; BELLEI, HUMBERTO N. Edifícios de pequeno porte estruturados em Aço. 4ª edição. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2011.

BELLEI, Ildony H.. **Edifícios Industriais em aço**: projeto e cálculo. 6. ed. São Paulo: Pini, 2010. 500 p.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios industriais em aço**: projeto e cálculo. 2. ed. São Paulo: Pini, 1998.

BUFFONI, SALETE SOUZA DE OLIVEIRA. Propriedades Mecânicas dos Materiais. **UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**, 2015. Disponível em: <http://www.cartografica.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2015/09/Propriedades-Mecanicas-dos-Materiais.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2023.

CAMARGO, Lynyker Brendon Silva de. **Dimensionamento e verificação de pilares metálicos treliçados e de alma cheia em substituição a um pilar de concreto armado**, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/1224/1/Trabalho%20de%20Conclus%3%a3o%20de%20Curso%20-%20FINAL.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2023.

CANTUSIO NETO, Augusto. **Estruturas metálicas**. 2008. Disponível em: coursehero.com/file/16658204/PUC-CAMPINAS-ESTRUTURAS-METÁLICAS-II/. Acesso em: 02 fev. 2023.

CBCA. **Curso Dimensionamento de Estruturas de Aço**. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15116/material/Introdução%20Galpão.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2023.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Estruturas compostas por perfis formados a frio**. Disponível em: https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/api/lib/_download.php?now=0&tmp=0&auth=1&arq=produtos/2014-10-22-manual_estruturas-compostas-perfis-formados-frio-final.zip. Acesso em: 28 fev. 2023.

CHAMBERLAIN, Zacarias; FICANHA, Ricardo; FABEANE, Ricardo. **Projeto e cálculo de estruturas de aço**: edifício industrial detalhado. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CHAVES, Michel Roque. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais para galpões industriais leves**. 2007. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6037/1/DISSERTA%3%87%3%83O_Avalia%3%a7%3%a3oDesempenhoSolu%3%a7%3%b5es%20.pdf. Acesso em: 01 fev. 2023.

CICLONE: Ação do vento nas edificações. BETA. Universidade de São Paulo: Departamento de Engenharia de Estruturas de São Carlos - USP, 2014?. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br>. Acesso em: 16 fev. 2023.

CYPE 3D. 2017. [S. l.]: CYPE Ingenieros, S.A, 2017. Disponível em: <http://www.cype.com>. Acesso em: 16 fev. 2021.
FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia R. Castro e; CALDAS, Rodrigo B.. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016. 496 p.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. 9. ed. São Paulo: Ziguarte, 1997. 316 p.

FEDERAL DE SANTA MARIA: [s. n.], 2018. 119 p. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 16 fev. 2023.

FERNANDO OTTOBONI PINHO (Rio de Janeiro). Instituto Aço Brasil Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Manual de Pontes e Viadutos em Vigas Mistas**. 2020. Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca/?&et=0&emsg=E0010&#item-102605>. Acesso em: 04 mar. 2023.

GARCIA, João Pedro M.; BATISTA, Eduardo de M.; FRANCO, Juarez M. S.. **Estabilidade e resistência estrutural de perfis de aço formados a frio com seções enrijecidas**. Florianópolis: Cilandia, 2017. 21 p. Disponível em: PEREIRA, A.A. et al. Análise comparativa de sistemas de contraventamentos em galpão metálico através do SAP2000. Brasília: Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia, 2020. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/28617>. Acesso em: 16 ago. 2021. Acesso em: 10 fev. 2023.

GOMES, Emerson Faria. **Soldagem em reservatórios metálicos para armazenamento de água**. 2017. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-ARFGF3/1/trabalho_de_conclus_o_de_curso_rev03.pdf. Acesso em: 04 mar. 2023.

GOMES, Maria Idália da Silva (Portugal). Instituto Politécnico de Lisboa. **Estudo e análise de treliças**. Lisboa: Instituto Superior Engenharia de Lisboa, 2016. 34 p. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt/document/instituto-politecnico-de-lisboa>

lisboa/estatistica-aplicada-a-engenharia/estudo-e-analise-de-trelicas/5493446. Acesso em: 15 fev. 2023.

HERMES, Matheus José. **Estudos comparativos entre o programa cype 3d e o dimensionamento manual de estruturas em aço**. 2020. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/218035/001121617.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 mar. 2023.

INSON, Nathalia. **Pilar de concreto**. 2022. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/pilar-de-concreto/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

INSTITUTO AÇO BRASIL (São Paulo). Instituto Aço Brasil (org.). **ANÁLISE SETORIAL E REGIONAL SÉRIES HISTÓRICAS ATÉ 2020**. São Paulo: Instituto Aço Brasil, 2021a. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/08/MBA_Edição-2021.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

INSTITUTO AÇO BRASIL (São Paulo). Instituto Aço Brasil (org.). **Estatística mensal de julho/2021**. São Paulo: Instituto Aço Brasil, 2021b. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/08/EM_Julho_2021_948351533.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa**: guia prático. Itabuna: Via Litteratum, 2010. 88 p. Disponível em: http://www.pgcl.uenf.br/arquivos/livrode Metodologia da pesquisa 2010_011120181549.pdf. Acesso em: 18 fev. 2023.

LEET, Kenneth M.. **Fundamentos de análise estrutural**. 3. ed. São Paulo: McGraw Hill Interamericana do Brasil, 2009. 790 p. João Eduardo Nóbrega Tortello.

MAURO SANCHEZ (Rio de Janeiro). Farmazen. **Portal dos galpões**. 2023. Disponível em: <https://www.farmazen.com.br/>. Acesso em: 03 mar. 2023.

MORETTI, Isabella. **Pesquisa Quali-Quantitativa**. 2020. Disponível em: <https://regrasparatcc.com.br/primeiros-passos/pesquisa-quali-quantitativa/#:~:text=Um%20estudo%20adquire%20mais%20credibilidade,um%20quali%20est%C3%A1%20na%20%C3%AAfase..> Acesso em: 03 mar. 2023.

NOGUEIRA, Gilcimar; PAULA, Geraldo; PAES, J.L.R.. **AVALIAÇÃO DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS PARA GALPÕES COMPOSTOS**. 07. ed. Belo Horizonte: Fumec, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/3951>. Acesso em: 03 mar. 2023.

PALUDO, Juliano; BRUM, Eduardo Madeira; RAMIRES, Fernando Busato. Elaboração de sistema de composição orçamentária para projeto de galpões industriais de aço. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], ano 2021, v. 7, n. 1, p. 3341-3359, 10 jan. 2021. DOI <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-226>. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/22911/18390>. Acesso em: 02 mar. 2023.

PEREIRA, Adriana Soares; SHITSUKA, Dorlivete Moreira; PARREIRA, Fabio José; SHITSUKA, Ricardo. **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. UNIVERSIDADE

PEREIRA, Vitor Faustino. **Integração entre sistemas de cobertura metálica e estrutura de concreto em galpões. Aplicações em sistemas pré-moldados e tilt-up**. 2017. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot4172.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2023.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com nbr 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: Gen - Ltc, 2009. 380 p.

RIBEIRO NETO, Juliano Geraldo. **Estruturas metálicas**: ligações. Ligações. 2016. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17448/material/9%20-%20LIGA%C3%87%C3%95ES%20-%20parte%201.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2023.

PINHO, Fernando Ottoboni. **Viabilidade Econômica** – Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008.

RODRIGO CIRIELLO (São Paulo). Mf Rural. **Galpão metálico**. 2014. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/>. Acesso em: 10 fev. 2023

RODRIGUES, Auro de Jesus; GONÇALVES, Hortência de Abreu; MENEZES, Maria Balbina de Carvalho; NASCIMENTO, Maria de Fátima. **Metodologia científica**. 4. ed. rev. Aracaju: [s. n.], 2011. 212 p.

SACCHI, Caio César; SOUZA, Alex Sander Clemente de. **Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas**. Goiânia: Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/41216>. Acesso em: 20 jan. 2023.

SANTOS, Arthur Ferreira dos. **Estrutura metálicas**: projeto e detalhes para fabricação. 3. ed. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1977.

SCALABRIN, Luciano Argenta. **DIMENSIONAMENTO DE SILOS METÁLICOS PARA ARMAZENAGEM DE GRÃOS**. 2008. 156 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Cap. 8.

SCHMITT, Eduardo Rodrigues. **ANÁLISE COMPARATIVA DE COBERTURAS EM AÇO, SEGUINDO O DIMENSIONAMENTO DAS NORMAS ABNT NBR 14762:2010 E ABNT NBR 8800:2008**. 2022. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Técnica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2022. Cap. 6.

SILVA, Mauro César de Brito e. **Estruturas de cobertura**. Goiânia: Departamento de Artes e Arquitetura, Puc Goiás, 2010. 32 p. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/centro-universitario-de-brasilia/sistemas-estruturais-iii/estruturas-de-cobertura/11703767>. Acesso em: 15 jan. 2022.

SOARES, Ana Luiza *et al.* **Análise comparativa de galpões em aço e concreto pré-fabricado.** 2018. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/06/analise-comparativa-de-galpoes-em-aco-e-concreto-pra-fabricado.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2023.

SOUZA, Djaniró Álvaro de. **Estruturas mistas de aço e concreto.** 2014. Disponível em: http://www.ibracon.org.br/eventos/56cbc/Djaniró_Alvaro.pdf. Acesso em: 01 fev. 2023.

SOUZA, Leonardo Batista. **Estudo comparativo entre pórticos de alma cheia e banzos 2 paralelos fabricados com estrutura de aço.** 2017. Disponível em: <https://www.ecv.crp.ufv.camargcamargobr/wp-content/uploads/2020/06/Leonardo-Batista-Leonardo-Mesquita.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2023.

SURUCEANU, Iulia. **Métodos de análise em estruturas metálicas.** 2015. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/8081/1/Iulia_Suruceanu_marco2015.pdf. Acesso em: 10 fev. 2023.

TERRA, Maria Fernanda Medina. **Perfis z & u enrijecidos sistemas de terças para cobertura e fechamento.** 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/18557213-Perfis-z-u-enrijecidos-sistemas-de-tercas-para-cobertura-e-fechamento.html>. Acesso em: 21 fev. 2023.

VASCONCELLOS, Alexandre Luiz. **Ligações em estrutura metálicas.** 2011. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2016/07/ligacoes-cbca-1.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2023.

Virginia Polytechnic Institute e State University (2011). Structure and form analysis system. <http://www.setareh.arch.vt.edu/safas/>. Acesso em: 28 fev. 2023.

VOLPATO, Olidio Renato. **Curso básico de concepção estrutural para estruturas metálicas.** Porto Alegre: Evangraf, 2022. 193 p.

ZACARIAS M. CHAMBERLAIN PRAVIA (Rio de Janeiro). Instituto Aço Brasil. **Galpões pra uso geral.** 2018. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/403078685/112-2018-manual-galpoes-para-usos-gerais-cbca-pdf#>. Acesso em: 01 mar. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Coberturas com banzos paralelos engastadas nos pilares – Modelo 1

Tabela 11 – Taxa de aço do modelo 1 para o galpão 15x30x6m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 15M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	15
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO ARMADO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x100x25#3mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 100x50x17#2mm, Caixa dupla soldada	Perfil U - 150x60#3.75mm e Perfil UE 100x50x17#2mm, Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25X25
	1968 kg	1370,74 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 135x40#3.75mm	-
	-	-	-
	-	812,89 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 150x60#4.25mm	Usimples - 150x60#3mm	U simples - 150x60#4.25mm
	1581,95 kg	1117,19 kg	1581,95 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 135x50#2mm	Usimples - 135x40#2mm	U simples - 135x50#2mm
	1022,73 kg	933,67 kg	1022,73 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 127x50x17#2mm	Perfil UE - 127x50x17#2mm	Perfil UE - 127x50x17#2mm
	1415,06 kg	1415,06 kg	1415,06 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm
	1257,18 kg	1257,18 kg	1257,18 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	360,25 kg	360,25 kg	360,25 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	695,85 kg	695,85 kg	695,85 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R12	-	R12
	53,27 kg	-	53,27 kg
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	308,93 kg	333,46 kg	308,93 kg
Peso global (kg)	8663,22 kg	8296,29 kg	6695,22 kg
Peso global (kg/m²)	19,25 kg/m²	18,44 kg/m²	14,88 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	6695,22 kg	6112,66 kg	6695,22 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	14,88 kg/m²	13,58 kg/m²	14,88 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 12 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 15x30x9m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 15M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	15
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 120x75x20#2mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x75#4.75mm e Perfil UE 200x75x20#2.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25X25
	3854,37 kg	2061,55 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x50#2mm	-
	-	871,27 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 150x75#4,25mm	U simples - 150x50#4.75mm	U simples - 150x75#4,25mm
	1745,34 kg	1605,19 kg	1745,34 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 135x40#2mm	U simples - 135x50#2.25mm	U simples - 135x40#2mm
	929,22 kg	1147,52 kg	929,22 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm
	1895,75 kg	1895,75 kg	1895,75 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1741,67 kg	1741,67 kg	1741,67 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	553,5 kg	553,5 kg	553,5 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	695,85 kg	695,85 kg	695,85 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R16		R14
	94,7 kg		72,5 kg
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	335,92 kg	333,46 kg	335,92 kg
Peso global (kg)	11846,32 kg	10905,76 kg	7969,75 kg
Peso global (kg/m²)	26,33 kg/m²	24,24 kg/m²	17,71 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	7991,95 kg	7972,94 kg	7969,75 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	17,76 kg/m²	17,72 kg/m²	17,71 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 13 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 20x30x6m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 20M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	20
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x75x25#3.75mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 150x60x20#2mm, Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x75#6.3mm e Perfil UE 200x75x25#2.25mm, Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25X25
	2219 kg	2661,45 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x50#3	-
	-	865,79 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x100#3.75mm	U simples - 200x75#4.75mm
	4582,81 kg	2772,03 kg	3039,62 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 135x40#3mm	Usimples - 185x60#2	U simples - 135x40#3mm
	1849,24 kg	1760,35 kg	1849,24 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2.65mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	2550,09 kg	2587,86 kg	2550,09 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x50x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm
	1397,59 kg	1397,59 kg	1397,59 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	360,25 kg	360,25 kg	360,25 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	886,21 kg	886,21 kg	886,21 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R14	-	R14
	96,67 kg	-	96,67 kg
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	342,94 kg	367,48 kg	342,94 kg
Peso global (kg)	14284,80 kg	13659,01 kg	10522,61 kg
Peso global (kg/m²)	23,81 kg/m²	22,77 kg/m²	17,54 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	12065,80 kg	10131,77 kg	10522,61 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	20,11 kg/m²	16,89 kg/m²	17,54 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 14 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 20x30x9m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 20M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	20
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x85x25# 4.75mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U 200x100#6.3mm e Perfil UE 300x75x25#2mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25X25
	4690,21 kg	4612,83 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185X50#3mm	-
	-	1296,28 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 150x60#4.75mm	Usimples - 150x60#4.75mm	U simples - 150x60#4.75mm
	2320,13 kg	2490,97 kg	2320,13 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 135x50#2.25mm	Usimples - 185X50#3mm	U simples - 135x60#2mm
	1500,65 kg	1296,28 kg	1453,92 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 250x75x25#2mm
	2567,47 kg	1974,01 kg	2567,47 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2.25mm	Perfil UE 150x60x20#2mm
	1410,01 kg	2001,07 kg	1410,01 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	553,5 kg	555,68 kg	553,5 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	835 kg	854,42 kg	835,34 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R15	-	R15
	110,98 kg	-	110,98 kg
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	371,19 kg	392,02 kg	371,19 kg
Peso global (kg)	14359,14 kg	15473,56 kg	9622,54 kg
Peso global (kg/m²)	23,93 kg/m²	25,79 kg/m²	16,04 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	9668,93 kg	9564,45 kg	9622,54 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	16,11 kg/m²	15,94 kg/m²	16,04 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 15 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 25x30x6m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 25M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	25
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x100x25#3.35mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 150x50x17#2.65mm Caixa dupla soldada	Perfil U 200x100#6.30mm e Perfil UE 150x60x20#3mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30x30
	2503,46 kg	3321,9 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x50#3.75mm	-
	-	1091,53 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 200x75#6.30mm	Usimples - 200x75#6.30mm	U simples - - 200x75#6.3mm
	4982,99 kg	4982,99 kg	4982,99 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 185x50#2.65mm	Usimples - 185x50#2.65mm	U simples - 185x50#2.65mm
	3694,88 kg	3694,88 kg	3694,88 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	2843,63 kg	2843,63 kg	2538,01 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x50x17#2mm
	1512,87 kg	1656,76 kg	1512,87 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	401,81 kg	404 kg	401,81 kg
TIRANTES TERÇAS	R12		
	43,56 kg		
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1298 kg	1298 kg	1298 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R16	-	R14
	157,83 kg	-	120,84 kg
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	421,82 kg	476,6 kg	452,07 kg
Peso global (kg)	17860,85 kg	19770,29 kg	15001,47 kg
Peso global (kg/m²)	23,81 kg/m²	26,36 kg/m²	20,00 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	15357,39 kg	15356,86 kg	15001,47 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	20,48 kg/m²	20,48 kg/m²	20,00 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 16 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 25x30x9m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 25M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	25
	Hp	9 m	m
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 200x150x25#2,65mm Caixa dupla soldada e 200x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U200x75#6.3mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30x30
	3626,7 kg	4837,79 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x60#3mm	-
	-	1311,05 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 200x75#6.30mm	Usimples - 200x100#4.25mm	U simples - - 200x75#6.3mm
	4982,99 kg	3910,35 kg	4982,99 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 185x50#2.65mm	Usimples - 185x50#2.65mm	U simples - 185x50#2.65mm
	3694,88 kg	3694,88 kg	3694,88 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - - 200x75x25#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	3702,03 kg	2538,01 kg	2538,01 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm
	2115,01 kg	2115,01 kg	2115,01 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	625,69 kg	625,69 kg	625,69 kg
TIRANTES TERÇAS	R12	R12	R12
	77,43 kg	77,43 kg	77,43 kg
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	-
	1217,42 kg	1217,42 kg	-
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	553,6 kg	553,6 kg	1298 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R 22.25	-	R14
	305,22 kg	-	120,84 kg
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	461,86 kg	476,6 kg	461,86 kg
Peso global (kg)	21362,83 kg	21357,83 kg	15914,71 kg
Peso global (kg/m²)	28,48 kg/m²	28,48 kg/m²	21,22 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	17736,13 kg	15208,99 kg	15914,71 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	23,65 kg/m²	20,28 kg/m²	21,22 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 17 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 30x54x6m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 30M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	30
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x85x25#6.3mm Caixa dupla soldada e 300x75x25#2mm Caixa dupla soldada	Perfil U250x100#8mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 300x75x25#2mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 35X35
	6460,57 kg	7113,06 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240x75#3mm	-
	-	2356,42 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x100#6.3mm	U simples - 200x75#6.3mm
	11457,03 kg	11988,82 kg	9965,98 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 185x50#3mm	Usimples - 180x50#3mm	U simples - 185x75#3
	9569,46 kg	9396,88 kg	11295,29 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm
	5098,68 kg	5098,68 kg	5098,68 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm
	3214,81 kg	3214,81 kg	3214,81 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	697,89 kg	697,89 kg	697,89 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	3089,79 kg	3089,79 kg	3089,79 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1199,82 kg	1199,82 kg	1199,82 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R 20		R 20
	591,88 kg		591,88 kg
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	732,43 kg	732,43 kg	732,43 kg
Peso global (kg)	42112,36 kg	44888,60 kg	35886,57 kg
Peso global (kg/m²)	26,00 kg/m²	27,71 kg/m²	22,15 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	35651,79 kg	35419,12 kg	35886,57 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	22,01 kg/m²	21,86 kg/m²	22,15 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 18 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 30x54x9m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 30M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	30
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x85x25#6.3mm Caixa dupla soldada e 200x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Perfil U250x100#8mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 200x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 35X35
	10391,8 kg	11365,14 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240x60#4.25mm	-
	-	3640,66 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 250x100#8mm	U simples - 250x100#8mm	U simples - 200x100#8mm
	16284,97 kg	16284,97 kg	14391,58 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 240x75#3mm	U simples - 240x75#3mm	U simples - 185x75#3mm
	13193,7 kg	13193,7 kg	11295,29 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	8144,46 kg	6255,99 kg	5583,62 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm
	3440,41 kg	3440,41 kg	2538,01 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	1155,12 kg	1155,12 kg	1155,12 kg
TIRANTES TERÇAS	R 20		
	214,6 kg		
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	3089,79 kg	3089,79 kg	3089,79 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1199,82 kg	1199,82 kg	1199,82 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R 32		
	1515,2 kg		
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	732,43 kg	856,97 kg	856,97 kg
Peso global (kg)	59362,30 kg	60482,57 kg	40110,20 kg
Peso global (kg/m²)	36,64 kg/m²	37,33 kg/m²	24,76 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	48970,50 kg	45476,77 kg	40110,20 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	30,23 kg/m²	28,07 kg/m²	24,76 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 19 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 35x54x6m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 35M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	35
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 200x75x25#4.25mm	Perfil U 250x100#8mm e Perfil UE 200x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 40x40
	4561,15 kg	7980,65 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240x100#4.75mm	-
	-	3575,19 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 250x100#6,3mm	U simples - 250x100#6,35mm	U simples - 200x100#8mm
	15106,09 kg	15221,70 kg	16790,17 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 235x85#2.65mm	U simples - 240x100#3mm	U simples - 185x60#3.35
	16555,57 kg	20349,74 kg	15581,77 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 127x50x17#2mm
	5562,20 kg	6091,23 kg	5094,21 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm
	2837,96 kg	2837,96 kg	2837,96 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	702,26 kg	702,26 kg	702,26 kg
TIRANTES TERÇAS	R 20		
	214,6 kg		
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	4249,17 kg	4249,17 kg	4249,17 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1403,16 kg	1403,16 kg	1403,16 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R 32		R 32
	1740,22 kg		1740,22 kg
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	832,74 kg	856,97 kg	338,36 kg
Peso global (kg)	53765,12 kg	63268,03 kg	48737,28 kg
Peso global (kg/m²)	28,45 kg/m²	33,48 kg/m²	25,79 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	49203,97 kg	51712,19 kg	48737,28 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	26,03 kg/m²	27,36 kg/m²	25,79 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 20 - Taxa de aço do modelo 1 para o galpão de 35x54x9m

MODELO 1 - COBERTURA COM BANZOS PARALELOS ENGASTADA NO PILAR - 35M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	35
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x85x25# 4.75 mm Caixa dupla soldada e 250x75x25#3mm, Caixa dupla soldada	Perfil U 250x100#8mm e Perfil UE 250x75x25#3mm, Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 40x40
	8635,33 kg	11668,05 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240x100#3.35mm	-
	-	3575,19 kg	-
COBERTURA (Banzos)	U simples - 200x100#8mm	U simples - 250x100#6,35mm	U simples - 200x100#8mm
	16790,17 kg	16393,31 kg	16790,17 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	U simples - 180x75#3mm	U simples - 240x100#3mm	U simples - 180x75#3mm
	15171,01 kg	20349,74 kg	15171,01 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm
	8884,86 kg	6091,23 kg	5094,21 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm
	4391,53 kg	4391,53 kg	4391,53 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	1096,05 kg	1096,05 kg	1096,05 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	4268,99 kg	4268,99 kg	4268,99 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1403,16 kg	1403,16 kg	1403,16 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	R 32		R 32
	1740,22 kg		1740,22 kg
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	882,04 kg	882,04 kg	882,04 kg
Peso global (kg)	63263,36 kg	70119,29 kg	50837,38 kg
Peso global (kg/m²)	33,47 kg/m²	37,10 kg/m²	26,90 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	54628,03 kg	54876,05 kg	50837,38 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	28,90 kg/m²	29,03 kg/m²	26,90 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

APÊNDICEB – Coberturas trapezoidais engastadas nos pilares – Modelo 2

Tabela 21 – Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 15x30x6m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 15M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	15
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x100x25# 3.75 mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 150x60x20#2mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x75#3.75mm e Perfil UE 150x60x20#2mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25x25
	2456,98 kg	1642,12 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x60#3mm	-
	-	1022,17 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 150x60#4.75mm	Usimples - 150x50#3.75mm	Usimples - 150x60#4.25mm
	1736,37 kg	1392,71 kg	1578,56 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 135x40#2.65mm	Usimples - 135x50#3mm	Usimples - 135x40#2.65mm
	1048,43 kg	1339,84 kg	1048,43 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 250x75x25#2mm	Perfil UE - 250x75x25#2mm	Perfil UE - 250x75x25#2mm
	2483,29 kg	2483,29 kg	2483,29 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 127x50x17#2mm	Perfil UE 127x50x17#2mm	Perfil UE - 127x50x17#2.00mm
	1415,06 kg	1155,63 kg	1415,06 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	360,25 kg	360,25 kg	360,25 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	674,75 kg	674,75 kg	695,85 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	307,7 kg	333,97 kg	307,7 kg
Peso global (kg)	10482,83 kg	10404,73 kg	7889,14 kg
Peso global (kg/m²)	23,30 kg/m²	23,12 kg/m²	17,53 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	8025,85 kg	7740,44 kg	7889,14 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	17,84 kg/m²	17,20 kg/m²	17,53 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 22 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 15x30x9m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 15M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	15
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x100x25# 4.75 mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x75#6,3mm e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30x30
	4931,83 kg	4253,04 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185X50#3mm	-
	-	1290,07 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 150x60#4.75mm	150x60#3.75mm	Usimples - 150x60#4.75mm
	1736,37 kg	1491,06 kg	1736,37 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 135x40#2.65mm	Usimples - 135x50#3mm	Usimples - 135x40#2.65mm
	1052,67 kg	1339,84 kg	1052,67 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 250x75x25#2mm	Perfil UE - 250x75x25#2mm	Perfil UE - 250x75x25#2mm
	2483,29 kg	2483,29 kg	2483,29 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m
	1958,94 kg	1958,94 kg	1958,94 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	553,5 kg	553,5 kg	553,5 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	695,85 kg	695,85 kg	695,85 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	303,95 kg	324,72 kg	303,95 kg
Peso global (kg)	13716,40 kg	14065,59 kg	8784,57 kg
Peso global (kg/m²)	30,48 kg/m²	31,26 kg/m²	19,52 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	8784,57 kg	8522,48 kg	8784,57 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	19,52 kg/m²	18,94 kg/m²	19,52 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 23 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 20x30x6m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 20M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	20
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x100x25# 4.75 mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x100#6.3mm e Perfil UE 200x75x25#2.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30X30
	3691,72 kg	3024,01 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185X60#3mm	-
	-	1022,13 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x75#4.75mm	Usimples - 150x75#3.75mm	Usimples - 200x75#4.75mm
	3790,86 kg	2251,43 kg	3790,86 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples -185 x50#2.25mm	Usimples - 135x50#3mm	Usimples -185 x50#2.25mm
	2712,22 kg	1744,51 kg	2712,22 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2.25mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	3301,03 kg	2879,35 kg	3301,03 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1656,76 kg	1656,76 kg	1656,76 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	401.71 kg	401.71 kg	401.71 kg
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	1233,89 kg	733,44 kg	1233,89 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	551,28 kg	551,28 kg	551,28 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	345,13 kg	345,13 kg	345,13 kg
Peso global (kg)	17282,89 kg	14208,04 kg	13591,17 kg
Peso global (kg/m²)	28,80 kg/m²	23,68 kg/m²	22,65 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	13591,17 kg	11184,03 kg	13591,17 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	22,65 kg/m²	18,64 kg/m²	22,65 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 24 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 20x30x9m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 20M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	20
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 250x85x25# 4.25 mm Caixa dupla soldada e Perfil UE200x100x25# 3.65 mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 250x100#4.75mm e Perfil UE 200x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30X30
	4064,05 kg	4620,62 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240X75#3mm	-
	-	1835,43 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x75#4.25mm	Usimples - 150x60#3.35mm	Usimples - 200x75#4.25mm
	2722,70 kg	1759,68 kg	2722,7 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 135x40#2.25mm	Usimples - 135x50#3mm	Usimples - 135x40#2.25mm
	1411,15 kg	1792,3 kg	1411,15 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	2567,47 kg	2567,47 kg	2567,47 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1913,31 kg	1913,31 kg	1913,31 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	657,49 kg	659,66 kg	657,49 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	891,98 kg	891,98 kg	891,98 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	377,17 kg	397,44 kg	377,17 kg
Peso global (kg)	14605,32 kg	16437,89 kg	10541,27 kg
Peso global (kg/m²)	24,34 kg/m²	27,40 kg/m²	17,57 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	10541,27 kg	11817,27 kg	10541,27 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	17,57 kg/m²	19,70 kg/m²	17,57 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 25 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 25x30x6m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 25M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	25
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil U - 300x100x25# 4.75 mm e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U -150 x75#6.3mm e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 35x35
	3691,72 kg	2881,05 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 135 x50#3mm	-
	-	780,65 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x75#4.75mm	Usimples - 150x50#4.25mm	Usimples - 200x75#4.75mm
	3790,86 kg	2531,62 kg	3790,86 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples -185 x50#2.25mm	Usimples - 135x50#3mm	Usimples - 185 x50#2.25mm
	2712,22 kg	2944,67 kg	2712,22 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	3301,03 kg	3301,03 kg	3301,03 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1656,76 kg	1656,76 kg	1656,76 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	539,59 kg	541,63 kg	541,63 kg
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	1233,89 kg	1233,89 kg	1233,89 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	551,28 kg	551,28 kg	551,28 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	442,22 kg	442,22 kg	442,22 kg
Peso global (kg)	17919,57 kg	16864,80 kg	14229,89 kg
Peso global (kg/m²)	23,89 kg/m²	22,49 kg/m²	18,97 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	14227,85 kg	13203,10 kg	14229,89 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	18,97 kg/m²	17,60 kg/m²	18,97 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 26 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 25x30x9m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 25M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	25
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil U - 300x85x25# 4.75 mm e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x100#6.3mm e Perfil UE 250x75x25#3.25mm, Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 35x35
	5353,25 kg	5557,76 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185X50#3mm	-
	-	1295,25 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 150x60#6,3mm	Usimples - 150x75#3.75mm	Usimples - 150x60#4.75mm
	3464,37 kg	2724,58 kg	2893,55 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples -135 x50#2.65mm	Usimples - 135x50#3mm	Usimples - 135 x50#2.65mm
	2610,9 kg	3015,2 kg	2610,9 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	2538,01 kg	2538,01 kg	2538,01 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE 150x50x17#2mm	Perfil UE 150x50x17#2mm	Perfil UE 150x50x17#2mm
	1931,32 kg	1931,32 kg	1931,32 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	625,69 kg	625,69 kg	625,69 kg
TIRANTES TERÇAS	R12	R12	R12
	77,43 kg	77,43 kg	77,43 kg
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	-
	1217,42 kg	1217,42 kg	-
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	553,6 kg	553,6 kg	1298 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	461,86 kg	476,6 kg	461,86 kg
Peso global (kg)	18833,85 kg	20012,86 kg	12436,76 kg
Peso global (kg/m²)	25,11 kg/m²	26,68 kg/m²	16,58 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	13480,60 kg	13159,85 kg	12436,76 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	17,97 kg/m²	17,55 kg/m²	16,58 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 27 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 30x54x6m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 30M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	30
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil U - 300x100x25#4.75mm e Perfil UE 200x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 250x100#8mm e Perfil UE 150x60x20#3.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 35x35
	5777,22 kg	7083,72 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240x75#3mm	-
	-	2508,06 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x100#4.75mm	Usimples - 200x75#6.3mm
	11428,60 kg	9050,70 kg	9941,25 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x50#3mm	Usimples - 185x60#3mm	Usimples - 185x50#3mm
	5222,96 kg	5599,74 kg	5222,96 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm
	6255,99 kg	6255,99 kg	6255,99 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	2640,82 kg	2640,82 kg	2640,82 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	697,89 kg	697,89 kg	697,89 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	3089,79 kg	3089,79 kg	3089,79 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1199,82 kg	1199,82 kg	1199,82 kg
TIRANTES ENTRE PILARES			
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	732,43 kg	732,43 kg	732,43 kg
Peso global (kg)	37045,52 kg	38858,96 kg	29780,95 kg
Peso global (kg/m²)	22,87 kg/m²	23,99 kg/m²	18,38 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	31268,30 kg	29267,18 kg	29780,95 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	19,30 kg/m²	18,07 kg/m²	18,38 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 28 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 30x54x9m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 30M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	30
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil U - 300x100x25#4.75m e Perfil UE 300x75x25#4.75mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x100#8mm e Perfil UE 300x75x25#4.25m Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 45x45
	9416,86 kg	10682,97 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x50#3mm	-
	-	2157,55 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x100#4.75mm	Usimples - 200x100#4.75mm
	11428,60 kg	8022,40 kg	8022,40 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x50#2.65mm	Usimples - 185x50#3mm	Usimples - 185x50#2.65mm
	5057,02 kg	5707,36 kg	5057,02 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m
	6255,99 kg	6255,99 kg	6255,99 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	2640,82 kg	3440,41 kg	3440,41 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	697,89 kg	1155,12 kg	1155,12 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	3089,79 kg	3089,79 kg	3089,79 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1199,82 kg	1199,82 kg	1199,82 kg
TIRANTES ENTRE PILARES			
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	732,43 kg	856,97 kg	856,97 kg
Peso global (kg)	40519,22 kg	42568,38 kg	29077,52 kg
Peso global (kg/m²)	25,01 kg/m²	26,28 kg/m²	17,95 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	31102,36 kg	29727,86 kg	29077,52 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	19,20 kg/m²	18,35 kg/m²	17,95 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 29 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 35x54x6m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 35M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	35
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil U - 250x85x25#6,3mm e Perfil UE 300x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x100#8mm e Perfil UE 300x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 50x50
	7118,52 kg	7828,23 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x60#3.75mm	-
	-	1948,18 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x75#6.3mm	Usimples - 200x75#6.3mm	Usimples - 200x75#6.3mm
	12101,44 kg	12101,44 kg	12101,44 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x50#3mm	Usimples - 185x50#3mm	Usimples - 185x60#3mm
	10254,48 kg	10254,48 kg	10254,48 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	6091,23 kg	6091,23 kg	6091,23 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm
	2591,48 kg	2591,48 kg	2591,48 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	697,89 kg	697,89 kg	697,89 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 100#3.75mm	L 100#3.75mm	L 100#3.75mm
	6479,4 kg	6479,4 kg	6479,4 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1403,57 kg	1403,57 kg	1403,57 kg
TIRANTES ENTRE PILARES			
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	833,62 kg	833,62 kg	833,62 kg
Peso global (kg)	47571,63 kg	50229,52 kg	40453,11 kg
Peso global (kg/m²)	25,17 kg/m²	26,58 kg/m²	21,40 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	40453,11 kg	40453,11 kg	40453,11 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	21,40 kg/m²	21,40 kg/m²	21,40 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 30 - Taxa de aço do modelo 2 para o galpão de 35x54x9m

MODELO 2 - COBERTURA TRAPEZOIDAL ENGASTADA NO PILAR - 35M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	35
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil U - 300x85x25# 6.3 mm, Caixa dupla soldada e Perfil UE 300x85x25# 3.75 mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 250x100#8mm e Perfil UE 300x85x25# 3.75 mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 50x50
	11525,81 kg	12498,87 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240x75#3mm	-
	-	2809,71 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x75#6.3mm	Usimples - 200x100#6.3mm
	13335,28 kg	11867,30 kg	13335,28 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x50#3mm	Usimples - 185x50#3mm	Usimples - 185x50#3mm
	10254,48 kg	10254,48 kg	10254,48 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	6091,23 kg	6824,71 kg	6091,23 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm
	3614,74 kg	3614,74 kg	3300,80 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	1096,05 kg	1096,05 kg	1096,05 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 100#3.75mm	L 100#3.75mm	L 100#3.75mm
	6479,4 kg	6479,4 kg	6479,4 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1403,16 kg	1403,16 kg	1403,16 kg
TIRANTES ENTRE PILARES			
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	882,04 kg	882,04 kg	882,04 kg
Peso global (kg)	54682,19 kg	57730,46 kg	42842,44 kg
Peso global (kg/m²)	28,93 kg/m²	30,55 kg/m²	22,67 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	43156,38 kg	42421,88 kg	42842,44 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	22,83 kg/m²	22,45 kg/m²	22,67 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

APÊNDICE C – Coberturas trapezoidais apoiadas nos pilares – Modelo 3

Tabela 31 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 15x30x6m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 15M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	15
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300X85x25X2.25m m Caixa dupla soldada e Perfil UE 250x75x25#2mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 127x50#3.75mm e Perfil UE 250x75x25#2mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25x25
	1480,03 kg	1148,32 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 120x30#2.25mm	-
	-	428,79 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 127x50#3.75mm	Usimples - 127x50#2.25mm	Usimples - 127x50#3.75mm
	1193,69 kg	757,8 kg	1193,69 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 120x30#2mm	Usimples - 120x30#2mm	Usimples - 120x30#2mm
	666,9 kg	666,9 kg	666,9 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m
	1895,75 kg	1895,75 kg	1895,75 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1424,11 kg	1424,11 kg	1424,11 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	357,3 kg	357,3 kg	357,3 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	694,91 kg	694,91 kg	674,75 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	309,96 kg	330,88 kg	309,96 kg
Peso global (kg)	8022,65 kg	7704,76 kg	6522,46 kg
Peso global (kg/m²)	17,83 kg/m²	17,12 kg/m²	14,49 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	6542,62 kg	6127,65 kg	6522,46 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	14,54 kg/m²	13,62 kg/m²	14,49 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 32 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 15x30x9m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 15M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	15
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 250x85x25#3,75m m Caixa dupla soldada e Perfil UE 300x75x25#2.65m m Caixa dupla soldada	Perfil U - 150x75#4.75mm e Perfil UE 200x75x25#2.65m m Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25x25
	3395,08 kg	2736,82 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 1135x50#2mm	-
	-	710,44 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 150x60#4.25mm	Usimples - 150x60#3.35mm	Usimples - 127x50#3.75mm
	1631,03 kg	1282,05 kg	1193,69 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 135x50#2mm	Usimples - 135x50#2.25mm	Usimples - 120x30#2mm
	876,87 kg	983,86 kg	666,9 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	2714,18 kg	1895,75 kg	2714,18 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m
	1579,79 kg	1958,94 kg	1579,79 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	550,9 kg	550,9 kg	550,9 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	694,91 kg	694,91 kg	694,91 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	418,11 kg	418,11 kg	418,11 kg
Peso global (kg)	11860,87 kg	11231,78 kg	7818,48 kg
Peso global (kg/m²)	26,36 kg/m²	24,96 kg/m²	17,37 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	8465,79 kg	7784,52 kg	7818,48 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	18,81 kg/m²	17,30 kg/m²	17,37 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 33 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 20x30x6m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 20M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	20
	Hp	6 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 200x75x25#3.25mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 300x75x25#2mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 150x75#4.75mm e Perfil UE 300x75x25#2mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25x25
	1776,82 kg	1915,03 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 135x50#2mm	-
	-	554,96 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 150x75#4.75mm	Usimples - 150x50#3.75mm	Usimples - 150x75#4.75mm
	2647,93 kg	1811,94 kg	2647,93 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 135x40#2mm	Usimples - 135x50#2.25mm	Usimples - 135x40#2mm
	1073,14 kg	1318,92 kg	1073,14 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2.25mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	2879,35 kg	2567,47 kg	2567,47 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1457,01 kg	1410,01 kg	1424,11 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	434,7 kg	434,7 kg	434,7 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	891,98 kg	891,98 kg	891,98 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	348,01 kg	368,72 kg	348,01 kg
Peso global (kg)	11508,94 kg	11273,73 kg	9387,34 kg
Peso global (kg/m²)	19,18 kg/m²	18,79 kg/m²	15,65 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	9732,12 kg	9358,70 kg	9387,34 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	16,22 kg/m²	15,60 kg/m²	15,65 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 34 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 20x30x9m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 20M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	20
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 200x75x25#4.75mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 150x60#3mm e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 25x25
	3555,5 kg	2218,74 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 135x50#3mm	-
	-	1122,81 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 150x75#4.75mm	Usimples - 150x60#3mm	Usimples - 150x75#4.75mm
	2647,93 kg	1522,95 kg	2647,93 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 135x40#2mm	Usimples - 135x50#2.25mm	Usimples - 135x40#2mm
	1073,14 kg	1318,92 kg	1073,14 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#3mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	2912,76 kg	2567,47 kg	2567,47 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1410,01 kg	1424,11 kg	1424,11 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	623,23 kg	623,23 kg	623,23 kg
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	891,98 kg	891,98 kg	891,98 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10	R10
	368,09 kg	386,26 kg	386,26 kg
Peso global (kg)	13482,64 kg	12076,47 kg	9614,12 kg
Peso global (kg/m²)	22,47 kg/m²	20,13 kg/m²	16,02 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	9927,14 kg	9857,73 kg	9614,12 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	16,55 kg/m²	16,43 kg/m²	16,02 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 35 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 25x30x6m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 25M				
Perfil/Peso	Comprimento	30	m	25
	Hp	6	m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO		CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x75x25#2mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 300x85x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x75#3.75mm e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada		Pilar retangular de concreto fck 25 - 30x30
	1984,76 kg	3966,25 kg		-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 135x50#2.25mm		-
	-	572,76 kg		-
	-			-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x75#4.75mm	Usimples - 200x100#4.25mm		Usimples - 200x75#4.75mm
	3896,72 kg	1522,95 kg		3896,72 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x50#2mm	Usimples - 185x50#2.65mm		Usimples - 185x50#2mm
	2416,13 kg	3694,88 kg		2416,13 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2.25mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm		Perfil UE - 150x60x20#2.25mm
	2843,63 kg	2843,63 kg		2843,63 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm		Perfil UE - 150x60x20#2mm
	1656,76 kg	1656,76 kg		1656,76 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm		L 60 #3mm
	539,59 kg	541,63 kg		541,63 kg
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm		L 80#3mm
	1233,89 kg	1233,89 kg		1233,89 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm		L 50#3mm
	551,28 kg	551,28 kg		551,28 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-		-
	-	-		-
CONTRAVENTAMENTOS E TIRANTES	R10	R10		R10
	442,22 kg	442,22 kg		442,22 kg
Peso global (kg)	15564,98 kg	17026,25 kg		13582,26 kg
Peso global (kg/m²)	20,75 kg/m²	22,70 kg/m²		18,11 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	13580,22 kg	13060,00 kg		13582,26 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	18,11 kg/m²	17,41 kg/m²		18,11 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 36 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 25x30x9m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 25M			
Perfil/Peso	Comprimento	30 m	25
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 200x75x25#4.75mm Caixa dupla soldada e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x100#4.75mm e Perfil UE 250x75x25#3mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30x30
	2792,42 kg	4230,79 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x60#3mm	-
	-	1400,25 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 150x50#6.3mm	Usimples - 150x60#4.25mm	Usimples - 150x50#6.3mm
	3581,27 kg	2761,76 kg	3581,27 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 135x50#2mm	Usimples - 135x50#3mm	Usimples - 135x50#2mm
	2226,28 kg	2933,44 kg	2226,28 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	3301,03 kg	3301,03 kg	3301,03 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	2115,01 kg	2056,26 kg	2056,26 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	625,69 kg	625,69 kg	625,69 kg
TIRANTES TERÇAS	R12	R12	R12
	77,43 kg	77,43 kg	77,43 kg
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	-
	1217,42 kg	1217,42 kg	-
LINHAS DE CORRENTE e MÃO FRANCESA	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	553,6 kg	553,6 kg	1298 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	461,86 kg	476,6 kg	461,86 kg
Peso global (kg)	16952,01 kg	19634,27 kg	13627,82 kg
Peso global (kg/m²)	22,60 kg/m²	26,18 kg/m²	18,17 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	14159,59 kg	14003,23 kg	13627,82 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	18,88 kg/m²	18,67 kg/m²	18,17 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 37 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 30x54x6m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 30M			
Perfil/Peso	Comprimento	54	m
	Hp	6	m
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x85x25# 2.25mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 250x100#6.3mm e Perfil UE 250x85x25# 2.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30x30
	2663,81 kg	5238,48 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 240x75#3mm	-
	-	2067,84 kg	-
	-	-	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x100#4.25mm	Usimples - 200x100#6.3mm
	11694,60 kg	8170,33 kg	11694,60 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x60#3mm	Usimples - 185x60#3.35mm	Usimples - 185x60#3mm
	5592,68 kg	6235,08 kg	5592,68 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m	Usimples - 150x60x20#2.25m m	Perfil UE - 150x60x20#2.25m m
	6255,99 kg	6255,99 kg	6255,99 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm	Perfil UE - 150x50x17#2mm
	2472,09 kg	2472,09 kg	2472,09 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	741,36 kg	741,36 kg	741,36 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	2563,97 kg	2563,97 kg	2563,97 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1199,82 kg	1199,82 kg	1199,82 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-	-	-
	-	-	-
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	910,42 kg	910,42 kg	910,42 kg
Peso global (kg)	34094,74 kg	35855,38 kg	31430,93 kg
Peso global (kg/m²)	21,05 kg/m²	22,13 kg/m²	19,40 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	31430,93 kg	28549,06 kg	31430,93 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	19,40 kg/m²	17,62 kg/m²	19,40 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 38 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 30x54x9m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 30M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x100x25# 3 mm Caixa dupla soldada e 300x85x25# 4.75 mm Caixa dupla soldada	Perfil U - 200x100#8mm e Perfil UE 250x85x25# 2.25mm Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 30x30
	6634,76 kg	9391,75 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x60#3mm	-
	-	2277,83 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x75#6.3mm	Usimples - 200x75#6.3mm	Usimples - 200x100#6.3mm
	10172,63 kg	10457,83 kg	10172,63 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x50#3mm	Usimples - 185x50#3.35mm	Usimples - 185x50#3mm
	5707,36 kg	6353,59 kg	5707,36 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	5583,62 kg	5583,62 kg	5583,62 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	2538,01 kg	2538,01 kg	2538,01 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	1155,12 kg	1155,12 kg	1155,12 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	3089,79 kg	3089,79 kg	3089,79 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1199,82 kg	1199,82 kg	1199,82 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-		
	-		
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	910,42 kg	910,42 kg	910,42 kg
Peso global (kg)	36991,53 kg	42957,78 kg	30356,77 kg
Peso global (kg/m²)	22,83 kg/m²	26,52 kg/m²	18,74 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	30356,77 kg	31288,20 kg	30356,77 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	18,74 kg/m²	19,31 kg/m²	18,74 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 39 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 35x54x6m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 35M			
Perfil/Peso	Comprimento	54	m
	Hp	6	m
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 200x100x25#3.75m m Caixa dupla soldada e 250x75x25#4.25mm Caixa dupla soldada	Perfil U - - 200x100#6.3mm e Perfil UE 200x100x25#2.65m m Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 35x35
	4251,54 kg	4888,93 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x60#3.75mm	-
	-	13658,21 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x100#4.75mm	Usimples - 200x100#6.3mm
	13715,29 kg	10744,5 kg	13715,29 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x60#3mm	Usimples - 185x60#3.35mm	Usimples - 185x60#3mm
	10994,23 kg	13658,21 kg	10994,23 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2m m
	7922,47 kg	7922,47 kg	7922,47 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2m m
	2837,96 kg	2837,96 kg	2837,96 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	697,62 kg	697,62 kg	697,62 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	3436,88 kg	3436,88 kg	3436,88 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1403,57 kg	1403,57 kg	1403,57 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-		
	-		
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	831,52 kg	831,52 kg	831,52 kg
Peso global (kg)	46091,08 kg	60079,87 kg	41839,54 kg
Peso global (kg/m²)	24,39 kg/m²	31,79 kg/m²	22,14 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	41839,54 kg	41532,73 kg	41839,54 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	22,14 kg/m²	21,97 kg/m²	22,14 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 40 - Taxa de aço do modelo 3 para o galpão de 35x54xm9m

MODELO 3 - COBERTURA TRAPEZOIDAL APOIADA NO PILAR - 35M			
Perfil/Peso	Comprimento	54 m	
	Hp	9 m	
	ALMA CHEIA	TRELIÇADO	CONCRETO
PILAR (Banzos)	Perfil UE - 300x85x25# 3.75 mm	Perfil U - 200x100#6.3mm e Perfil UE 300x85x25# 3.75 mm, Caixa dupla soldada	Pilar retangular de concreto fck 25 - 35x35
	7548,46 kg	8910,76 kg	-
PILAR (Diagonais e Montantes)	-	Perfil U - 185x50#3mm	-
	-	2000,16 kg	-
COBERTURA (Banzos)	Usimples - 200x100#6.3mm	Usimples - 200x75#6.3mm	Usimples - 200x100#6.3mm
	13715,29 kg	12322,14 kg	13715,29 kg
COBERTURA (Diagonais e Montantes)	Usimples - 185x60#3mm	Usimples - 185x60#3.75mm	Usimples - 185x60#3mm
	10994,23 kg	13658,21 kg	10994,23 kg
TERÇAS COBERTURA	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm	Perfil UE - 200x75x25#2mm
	7922,47 kg	7922,47 kg	7922,47 kg
TERÇAS FECHAMENTO	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm	Perfil UE - 150x60x20#2mm
	3592,31 kg	3554,92 kg	3592,31 kg
LINHAS DE CORRENTE FECHAMENTO LATERAL	L 60 #3mm	L 60 #3mm	L 60 #3mm
	1084,16 kg	1084,16 kg	1084,16 kg
TIRANTES TERÇAS			
MÃO FRANCESA	L 80#3mm	L 80#3mm	L 80#3mm
	3436,88 kg	3436,88 kg	3436,88 kg
LINHAS DE CORRENTE	L 50#3mm	L 50#3mm	L 50#3mm
	1403,57 kg	1403,57 kg	1403,57 kg
TIRANTES ENTRE PILARES	-		
	-		
CONTRAVENTAMENTOS	R10	R10	R10
	882,04 kg	882,04 kg	882,04 kg
Peso global (kg)	50579,41 kg	55175,31 kg	43030,95 kg
Peso global (kg/m²)	26,76 kg/m²	29,19 kg/m²	22,77 kg/m²
Peso cobertura e fechamentos laterais (kg)	43030,95 kg	44264,39 kg	43030,95 kg
Peso da cobertura e fechamentos laterais (kg/m²)	22,77 kg/m²	23,42 kg/m²	22,77 kg/m²

Fonte: Próprio autor (2023).

APÊNDICE D – Cargas de ventos consideradas nos modelos

Tabela 41 – Cargas de ventos consideradas para o galpão de 15x30x6m

GALPÃO 15X30X6					
Q 0,31 kN/m ²					
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
	0,8	0,2	1	0,31	0,031
	0,8	-0,3	0,5	0,155	0,0155
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
ÁGUA ESQUERDA	1,19	0,2	1,39	0,4309	0,04309
	1,19	-0,3	0,89	0,2759	0,02759
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,186	0,0186
	0,4	-0,3	0,1	0,031	0,0031
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,31	0,031
	0,8	-0,3	0,5	0,155	0,0155
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,31	0,031
	0,8	-0,3	0,5	0,155	0,0155
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,155	-0,0155
	-0,7	-0,3	-1	-0,31	-0,031
FRENTE	0,3	0,2	0,5	0,155	0,0155
	0,3	-0,3	0	0	0
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,155	-0,0155
	-0,7	-0,3	-1	-0,31	-0,031
LATERAL DIREITA	0,5	0,2	0,7	0,217	0,0217
	0,5	-0,3	0,2	0,062	0,0062
FUNDO	0,9	0,2	1,1	0,341	0,0341
	0,9	-0,3	0,6	0,186	0,0186
FRENTE	0,9	0,2	1,1	0,341	0,0341
	0,9	-0,3	0,6	0,186	0,0186

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 42 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 20x30x6m

GALPÃO 20X30X6					
Q 0,32 kN/m ²					
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
ÁGUA ESQUERDA	1,15	0,2	1,35	0,432	0,0432
	1,15	-0,3	0,85	0,272	0,0272
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,192	0,0192
	0,4	-0,3	0,1	0,032	0,0032
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,16	-0,016
	-0,7	-0,3	-1	-0,32	-0,032
FRENTE	0,4	0,2	0,6	0,192	0,0192
	0,4	-0,3	0,1	0,032	0,0032
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,16	-0,016
	-0,7	-0,3	-1	-0,32	-0,032
LATERAL DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,192	0,0192
	0,4	-0,3	0,1	0,032	0,0032
FUNDO	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
FRENTE	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 43 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 25x30x6m

GALPÃO 25X30X6					
q 0,32 kN/m²					
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
ÁGUA ESQUERDA	1,15	0,2	1,35	0,432	0,0432
	1,15	-0,3	0,85	0,272	0,0272
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,192	0,0192
	0,4	-0,3	0,1	0,032	0,0032
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,16	-0,016
	-0,7	-0,3	-1	-0,32	-0,032
FRENTE	0,4	0,2	0,6	0,192	0,0192
	0,4	-0,3	0,1	0,032	0,0032
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,16	-0,016
	-0,7	-0,3	-1	-0,32	-0,032
LATERAL DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,192	0,0192
	0,4	-0,3	0,1	0,032	0,0032
FUNDO	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016
FRENTE	0,8	0,2	1	0,32	0,032
	0,8	-0,3	0,5	0,16	0,016

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 44 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 30x54x6m

GALPÃO 30x54x6					
q 0,3 kN/m²					
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
	0,8	0,2	1	0,3	0,03
	0,8	-0,3	0,5	0,15	0,015
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
ÁGUA ESQUERDA	1,1	0,2	1,3	0,39	0,039
	1,1	-0,3	0,8	0,24	0,024
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,18	0,018
	0,4	-0,3	0,1	0,03	0,003
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,3	0,03
	0,8	-0,3	0,5	0,15	0,015
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,3	0,03
	0,8	-0,3	0,5	0,15	0,015
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,15	-0,015
	-0,7	-0,3	-1	-0,3	-0,03
FRENTE	0,36	0,2	0,56	0,168	0,0168
	0,36	-0,3	0,06	0,018	0,0018
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,15	-0,015
	-0,7	-0,3	-1	-0,3	-0,03
LATERAL DIREITA	0,44	0,2	0,64	0,192	0,0192
	0,44	-0,3	0,14	0,042	0,0042
FUNDO	0,84	0,2	1,04	0,312	0,0312
	0,84	-0,3	0,54	0,162	0,0162
FRENTE	0,84	0,2	1,04	0,312	0,0312
	0,84	-0,3	0,54	0,162	0,0162

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 45 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 35x54x6m

GALPÃO 35x54x6					
q 0,31 kN/m ²					
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
	0,8	0,2	1	0,31	0,031
	0,8	-0,3	0,5	0,155	0,0155
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
ÁGUA ESQUERDA	1,15	0,2	1,35	0,4185	0,04185
	1,15	-0,3	0,85	0,2635	0,02635
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,186	0,0186
	0,4	-0,3	0,1	0,031	0,0031
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,31	0,031
	0,8	-0,3	0,5	0,155	0,0155
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,31	0,031
	0,8	-0,3	0,5	0,155	0,0155
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,155	-0,0155
	-0,7	-0,3	-1	-0,31	-0,031
FRENTE	0,31	0,2	0,51	0,1581	0,01581
	0,31	-0,3	0,01	0,0031	0,00031
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,155	-0,0155
	-0,7	-0,3	-1	-0,31	-0,031
LATERAL DIREITA	0,49	0,2	0,69	0,2139	0,02139
	0,49	-0,3	0,19	0,0589	0,00589
FUNDO	0,89	0,2	1,09	0,3379	0,03379
	0,89	-0,3	0,59	0,1829	0,01829
FRENTE	0,89	0,2	1,09	0,3379	0,03379
	0,89	-0,3	0,59	0,1829	0,01829

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 46 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 15x30x9m

GALPÃO 15x30x9					
Q 0,34 kN/m ²					
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
	0,8	0,2	1	0,34	0,034
	0,8	-0,3	0,5	0,17	0,017
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
ÁGUA ESQUERDA	0,94	0,2	1,14	0,3876	0,03876
	0,94	-0,3	0,64	0,2176	0,02176
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,204	0,0204
	0,4	-0,3	0,1	0,034	0,0034
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,34	0,034
	0,8	-0,3	0,5	0,17	0,017
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,34	0,034
	0,8	-0,3	0,5	0,17	0,017
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,17	-0,017
	-0,7	-0,3	-1	-0,34	-0,034
FRENTE	0,4	0,2	0,6	0,204	0,0204
	0,4	-0,3	0,1	0,034	0,0034
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m ²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,17	-0,017
	-0,7	-0,3	-1	-0,34	-0,034
LATERAL DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,204	0,0204
	0,4	-0,3	0,1	0,034	0,0034
FUNDO	0,8	0,2	1	0,34	0,034
	0,8	-0,3	0,5	0,17	0,017
FRENTE	0,8	0,2	1	0,34	0,034
	0,8	-0,3	0,5	0,17	0,017

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 47 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 20x30x9m

GALPÃO 20X30X9					
q	0,35	kN/m²			
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
ÁGUA ESQUERDA	1,11	0,2	1,31	0,4585	0,04585
	1,11	-0,3	0,81	0,2835	0,02835
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,21	0,021
	0,4	-0,3	0,1	0,035	0,0035
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,175	-0,0175
	-0,7	-0,3	-1	-0,35	-0,035
FRENTE	0,4	0,2	0,6	0,21	0,021
	0,4	-0,3	0,1	0,035	0,0035
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,175	-0,0175
	-0,7	-0,3	-1	-0,35	-0,035
LATERAL DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,21	0,021
	0,4	-0,3	0,1	0,035	0,0035
FUNDO	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
FRENTE	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 48 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 25x30x9m

GALPÃO 25X30X9					
q	0,35	kN/m²			
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
ÁGUA ESQUERDA	1,15	0,2	1,35	0,4725	0,04725
	1,15	-0,3	0,85	0,2975	0,02975
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,21	0,021
	0,4	-0,3	0,1	0,035	0,0035
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,175	-0,0175
	-0,7	-0,3	-1	-0,35	-0,035
FRENTE	0,4	0,2	0,6	0,21	0,021
	0,4	-0,3	0,1	0,035	0,0035
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,175	-0,0175
	-0,7	-0,3	-1	-0,35	-0,035
LATERAL DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,21	0,021
	0,4	-0,3	0,1	0,035	0,0035
FUNDO	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175
FRENTE	0,8	0,2	1	0,35	0,035
	0,8	-0,3	0,5	0,175	0,0175

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 49 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 30x54x9m

GALPÃO 30x54x9					
q	0,33	kN/m²			
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
	0,8	0,2	1	0,33	0,033
	0,8	-0,3	0,5	0,165	0,0165
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
ÁGUA ESQUERDA	1,1	0,2	1,3	0,429	0,0429
	1,1	-0,3	0,8	0,264	0,0264
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,198	0,0198
	0,4	-0,3	0,1	0,033	0,0033
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,33	0,033
	0,8	-0,3	0,5	0,165	0,0165
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,33	0,033
	0,8	-0,3	0,5	0,165	0,0165
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,165	-0,0165
	-0,7	-0,3	-1	-0,33	-0,033
FRENTE	0,36	0,2	0,56	0,1848	0,01848
	0,36	-0,3	0,06	0,0198	0,00198
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,165	-0,0165
	-0,7	-0,3	-1	-0,33	-0,033
LATERAL DIREITA	0,44	0,2	0,64	0,2112	0,02112
	0,44	-0,3	0,14	0,0462	0,00462
FUNDO	0,84	0,2	1,04	0,3432	0,03432
	0,84	-0,3	0,54	0,1782	0,01782
FRENTE	0,84	0,2	1,04	0,3432	0,03432
	0,84	-0,3	0,54	0,1782	0,01782

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 50 - Cargas de ventos consideradas para o galpão de 35x54x9m

GALPÃO 35X54X9					
q	0,33	kN/m²			
COBERTURA					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
	0,8	0,2	1	0,33	0,033
	0,8	-0,3	0,5	0,165	0,0165
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
ÁGUA ESQUERDA	1,15	0,2	1,35	0,4455	0,04455
	1,15	-0,3	0,85	0,2805	0,02805
ÁGUA DIREITA	0,4	0,2	0,6	0,198	0,0198
	0,4	-0,3	0,1	0,033	0,0033
PAREDE					
VENTO 0	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	0,8	0,2	1	0,33	0,033
	0,8	-0,3	0,5	0,165	0,0165
LATERAL DIREITA	0,8	0,2	1	0,33	0,033
	0,8	-0,3	0,5	0,165	0,0165
FUNDO	-0,7	0,2	-0,5	-0,165	-0,0165
	-0,7	-0,3	-1	-0,33	-0,033
FRENTE	0,31	0,2	0,51	0,1683	0,01683
	0,31	-0,3	0,01	0,0033	0,00033
VENTO 90	CPE	CPI	COMBINAÇÃO	FORÇA	FORÇA T/m²
LATERAL ESQUERDA	-0,7	0,2	-0,5	-0,165	-0,0165
	-0,7	-0,3	-1	-0,33	-0,033
LATERAL DIREITA	0,49	0,2	0,69	0,2277	0,02277
	0,49	-0,3	0,19	0,0627	0,00627
FUNDO	0,89	0,2	1,09	0,3597	0,03597
	0,89	-0,3	0,59	0,1947	0,01947
FRENTE	0,89	0,2	1,09	0,3597	0,03597
	0,89	-0,3	0,59	0,1947	0,01947

Fonte: Próprio autor (2023).

APÊNDICE E – Taxa de peso dos modelos

Tabela 51 – Taxa de peso kg/m² do galpão 15x30x6m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 15x30 m e H= 6 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	19,25	18,44	14,88	23,30	23,12	17,53	17,83	17,12	14,49
Cobertura/fechamento lateral	14,88	13,58	14,88	17,84	17,20	17,53	14,54	13,62	14,49

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 52 - Taxa de peso kg/m² do galpão 15x30x9m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 15x30 m e H= 9 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	26,33	24,24	17,71	30,48	31,26	19,52	26,36	24,96	17,37
Cobertura/fechamento lateral	17,76	17,72	17,71	19,52	18,94	19,52	18,81	17,30	17,37

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 53 - Taxa de peso kg/m² do galpão 20x30x6m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 20x30 m e H= 6 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	23,81	22,77	17,54	28,80	23,68	22,65	19,18	18,79	15,65
Cobertura/fechamento lateral	20,11	16,89	17,54	22,65	18,64	22,65	16,22	15,60	15,65

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 54 - Taxa de peso kg/m² do galpão 20x30x9m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 20x30 m e H= 9 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	23,93	25,79	16,04	24,34	27,40	17,57	22,47	20,13	16,02
Cobertura/fechamento lateral	16,11	15,94	16,04	17,57	19,70	17,57	16,55	16,43	16,02

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 55 - Taxa de peso kg/m² do galpão 25x30x6m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 25x30 m e H= 6 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	23,81	26,36	20,00	23,89	22,49	18,97	20,75	22,70	18,11
Cobertura/fechamento lateral	20,48	20,48	20,00	18,97	17,60	18,97	18,11	17,41	18,11

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 56 - Taxa de peso kg/m² do galpão 25x30x9m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 25x30 m e H= 9 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	28,48	28,48	21,22	25,11	26,68	16,58	22,60	26,18	18,17
Cobertura/fechamento lateral	23,65	20,28	21,22	17,97	17,55	16,58	18,88	18,67	18,17

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 57 - Taxa de peso kg/m² do galpão 30x54x6m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 30x54 m e H= 6 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	26,00	27,71	22,15	22,87	23,99	18,38	21,05	22,13	19,40
Cobertura/fechamento lateral	22,01	21,86	22,15	19,30	18,07	18,38	19,40	17,62	19,40

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 58 - Taxa de peso kg/m² do galpão 30x54x9m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 30x54 m e H= 9 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	36,64	37,33	24,76	25,01	26,28	17,95	22,83	26,52	18,74
Cobertura/fechamento lateral	30,23	28,07	24,76	19,20	18,35	17,95	18,74	19,31	18,74

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 59 - Taxa de peso kg/m² do galpão 35x54x6m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 35x54 m e H= 6 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	28,45	33,48	25,79	25,17	26,58	21,40	24,39	31,79	22,14
Cobertura/fechamento lateral	26,03	27,36	25,79	21,40	21,40	21,40	22,14	21,97	22,14

Fonte: Próprio autor (2023).

Tabela 60 - Taxa de peso kg/m² do galpão 35x54x9m

Taxa de peso kg/m ²	COBERTURA Vão = 35x54 m e H= 9 m								
	Trelça de Banzo Paralelo engastada no pilar			Trelça trapezoidal engastada no pilar			Trelça trapezoidal apoiada no pilar		
	Pilar			Pilar			Pilar		
	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado	Alma Cheia	Treliçado	Concreto Armado
Cobertura/fechamento lateral +Pilar	33,47	37,10	26,90	28,93	30,55	22,67	26,76	29,19	22,77
Cobertura/fechamento lateral	28,90	29,03	26,90	22,83	22,45	22,67	22,77	23,42	22,77

Fonte: Próprio autor (2023).

APÊNDICE F – Link OneDrive arquivos dos modelos analisados

https://1drv.ms/f/s!AuVVVDzEvvg0gUMAE_CJiUJrvWwJ?e=90nEQI