

RODOLFO COSTA DE MEDEIROS

**FORÇAS EM PEÇAS DE CONTRAVENTAMENTO
DE TRELIÇAS DE MADEIRA**

Dissertação apresentada à escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas.

Área de concentração: Engenharia de Estruturas

Orientador: Prof. Tit. Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M488f Medeiros, Rodolfo Costa de
Forças em peças de contraventamento de treliças de
madeira / Rodolfo Costa de Medeiros ; orientador
Francisco Antonio Rocco Lahr. -- São Carlos, 2010.

Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área
de Concentração em Engenharia de Estruturas) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2010.

1. Estruturas de madeira. 2. Contraventamento.
3. Treliças triangulares. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

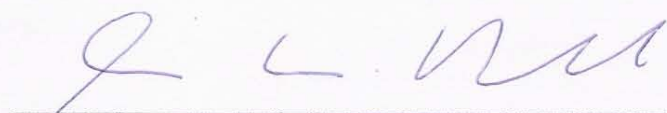
Candidato: Engenheiro RODOLFO COSTA DE MEDEIROS.


Dissertação defendida e julgada em 08/03/2010 perante a Comissão Julgadora:


Prof. Titular **FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR**- (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovado


Prof. Dr. **JOSÉ JAIRO DE SALES**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO


Prof. Associado **JOSÉ ANTONIO MATTHIESEN**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP/campus de Ilha Solteira) Aprovado


Prof. Associado **MARCIO ANTONIO RAMALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil (Engenharia de Estruturas)


Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

RESUMO

MEDEIROS, R. C. **Forças em peças de contraventamentos de treliças de madeira.** 132p. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2010.

O trabalho analisa as forças atuantes no contraventamento de treliças triangulares de coberturas de madeira por meio de modelos numéricos computacionais. Os modelos foram confeccionados no sistema de análise estrutural Strap e consideram o funcionamento do contraventamento na estrutura tridimensional. Os valores máximos das forças obtidas nos modelos tridimensionais foram comparados aos valores mínimos indicados pelo método de estimativa da NBR 7190 (1997), este, baseado na instabilidade lateral do elemento contraventado. Os valores dos modelos tridimensionais também foram comparados aos métodos do Eurocode 5, da norma sul-africana SABS 0163 e aos valores propostos por UNDERWOOD (2000), por apresentarem formulação semelhante ao da NBR 7190 (1997). Os modelos representam galpões usuais na prática, com dimensões variando de 12 a 24 metros de vão; 24 a 96 metros de comprimento; 3, 4 e 6 metros de altura do pilar. Foram analisados para os tipos de treliça Howe e Pratt, para as classes de madeira C30 e C50 e para os tipos de telhas fibrocimento, metálicas e cerâmicas, materiais mais utilizados no Brasil. Os resultados mostram que as forças atuantes no contraventamento dos modelos tridimensionais são superiores aos valores obtidos pelo método da NBR 7190 (1997) e que valores obtidos pelos métodos propostos pelo Eurocode 5 e por UNDERWOOD (2000) apresentam-se mais seguros diante do funcionamento global da estrutura.

Palavras-chave: contraventamento, treliças de madeira, estruturas de madeira

ABSTRACT

MEDEIROS, R. C. **Forces on bracing elements of timber trusses**. 132p. Dissertation (master) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2010.

This work analyzes the forces acting on the bracing bars of triangular timber trusses by computational numerical models. The models are produced in the system of structural analysis Strap and consider the operation of bracing in the three-dimensional structure. The maximum forces obtained in the three-dimensional models are compared to the minimum values indicated by the estimation method of the NBR 7190 (1997), which is based on the lateral instability of the braced element. The values of three-dimensional models are also compared to the methods of Eurocode 5, the South African standard SABS 0163 and the values proposed by Underwood (2000). The models represent sheds with usual dimensions ranging from 12 to 24 meters wide, 24 to 96 feet long, and pillar 3, 4 and 6 meters tall. Are analyzed the Pratt and Howe types of truss, the timber classes C30 and C50 and the types of tiles: cement, metal and ceramics, materials most used in Brazil. The results show that the forces acting on the bracing of the three-dimensional models are greater than those obtained by the NBR 7190 (1997) and values obtained by methods proposed by the Eurocode 5 and Underwood (2000) provides more insurance on the overall functioning structure.

Key-words: bracing, wood trusses, wood structures

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1	Considerações iniciais.....	21
2.2	Contraventamento de estruturas de madeira	23
2.2.1	Contraventamento de peças comprimidas.....	24
2.2.2	Estabilidade global de elementos estruturais em paralelo	28
2.2.3	Contraventamento como parte da estrutura tridimensional	34
2.3	Considerações finais	37
3	ANÁLISE NUMÉRICA	39
3.1	Programas computacionais.....	39
3.1.1	AcadFrame	39
3.1.2	STRAP	40
3.2	Geometrias dos modelos	40
3.2.1	Treliças planas	41
3.2.2	Galpões completos.....	42
3.3	Propriedades das barras.....	44
3.4	Condições de contorno.....	46
3.5	Ações atuantes	46
3.5.1	Peso próprio.....	47
3.5.2	Telhas	47
3.5.3	Ventos	48
3.6	Disposição do contraventamento.....	59
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	61
4.1	Obtenção dos resultados.....	61

4.1.1	Métodos simplificados	61
4.1.2	Modelos numéricos tridimensionais	62
4.2	Resultados das treliças planas	64
4.2.1	Treliças HOWE C50 telha fibrocimento.....	65
4.2.2	Treliças HOWE C30 telha fibrocimento.....	66
4.2.3	Treliças PRATT C50 telha fibrocimento	67
4.2.4	Treliças PRATT C30 telha fibrocimento	68
4.2.5	Treliças PRATT C50 telha metálica	69
4.2.6	Treliças PRATT C50 telha cerâmica	70
4.3	Resultados dos modelos tridimensionais	71
4.3.1	Modelos com contraventamento de cabos	71
4.3.2	Modelo com contraventamento de madeira	78
4.4	Considerações sobre os resultados.....	79
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	81
5.1	Treliças HOWE C50	82
5.2	Treliças HOWE C30	88
5.3	Treliças PRATT C50 contraventamento de CABOS.....	94
5.4	Treliças PRATT C50 contraventamento de MADEIRA	100
5.5	Treliças PRATT C30	106
5.6	Treliças PRATT C50 telha metálica.....	112
5.7	Treliças PRATT C50 telha cerâmica	118
5.8	Comparativo entre tipos de treliças e classes de resistência	122
5.9	Comparativo entre tipos de telhas.....	124
5.10	Considerações sobre a análise dos resultados	127
6	CONCLUSÕES	129
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Patente americana do ano 1841	18
Figura 2.1 - Contraventamento de cobertura em tesouras de madeira.....	22
Figura 2.2 - Banco Itaú, São Paulo. (Fonte: http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp270.asp)	22
Figura 2.3 - Deslocamento oriundo de não linearidade geométrica	24
Figura 2.4 - Modelo de contraventamento de peça comprimida	25
Figura 2.5 - Esforços no contraventamento de peças comprimidas da norma chilena NCh 1198 de 2006.....	27
Figura 2.6 - Baixa rigidez lateral das treliças (Fonte: Truss Plate Institute).....	29
Figura 2.7 - Possíveis casos de instabilidade de uma treliça.....	29
Figura 2.8 - Flambagem lateral da tesoura completa, caso (d) da Figura 2.7	30
Figura 2.9 - Funcionamento do contraventamento	31
Figura 2.10 - Arranjo vertical de contraventamento.....	31
Figura 2.11 - Arranjo de esforços de contraventamento.....	32
Figura 2.12 - Esquema de ação diaframa. Fonte: BARALDI (2001)	33
Figura 2.13 - Desenho esquemático do modelo estudado por ROCCO LAHR <i>et al.</i> (2008) ..	35
Figura 3.1 - Treliça plana tipo Howe	41
Figura 3.2 - Estrutura completa de galpão com treliça tipo Howe e contraventamento de barras de aço	42
Figura 3.3 - Desenho esquemático das dimensões de um galpão.....	43
Figura 3.4 - Carregamento do peso próprio (em daN e m) da tesoura tipo C50 (970 daN/m ³) e das terças representadas pelas cargas concentradas.....	47
Figura 3.5 - Carregamento de telhas fibrocimento	48
Figura 3.6 - Desenho esquemático de distâncias e faces de aplicação da ação estática dos ventos	52

Figura 3.7 - Desenho esquemático de distâncias e faces de aplicação da ação estática dos ventos	53
Figura 3.8 - Carregamento de sobrepressão do vento na direção longitudinal (vento a 0°).....	54
Figura 3.9 - Sentidos dos sinais dos coeficientes de pressão	56
Figura 4.1 - Deslocamentos e deformada da Treliça 01 Pratt C50 (STRAP)	62
Figura 4.2 - Deslocamentos e deformada do Galpão 01 Pratt C50.....	63
Figura 4.3 - Forças axiais máximas do Galpão 01.....	64
Figura 5.1 - Exemplo explicativos das tabelas	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Representação da Tabela 17 da NBR 7190/1997.....	26
Tabela 2.2 - Comparação de esforços obtidos, nos modelos tri e bidimensionais, por ROCCO LAHR <i>et al.</i> (2008).....	36
Tabela 2.3 - Esforços obtidos nas demais peças do modelo tridimensional	36
Tabela 3.1 - Geometrias dos modelos de treliças	41
Tabela 3.2 - Dimensões dos galpões estudados (unidades em metros)	43
Tabela 3.3 - Classes de resistência das coníferas. (Fonte: CALIL JR., 2008)	44
Tabela 3.4 - Classes de resistência das dicotiledôneas. (Fonte: CALIL JR., 2008)	44
Tabela 3.5 - Dimensões das seções das barras da treliça	45
Tabela 3.6 - Valores de S_2 para os modelos considerados	50
Tabela 3.7 - Valores de V_k e ação estática q	50
Tabela 3.8 - Ação estática do vento multiplicada pelos coeficientes de pressão	51
Tabela 3.9 - Distâncias e coeficientes de pressão externa	52
Tabela 3.10 - Ação estática dos ventos em cada face	53
Tabela 3.11 - Ação interna dos ventos.....	55
Tabela 3.12 - Formulação para obtenção dos coeficientes de pressão para coberturas isoladas	56
Tabela 3.13 - Coeficientes de pressão para coberturas isoladas.....	57
Tabela 3.14 - Ação dos ventos em coberturas isoladas.....	57
Tabela 4.1 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (HOWE C50)	65
Tabela 4.2 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (HOWE C30)	66
Tabela 4.3 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C50)	67

Tabela 4.4 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C30)	68
Tabela 4.5 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C50 telha metálica)	69
Tabela 4.6 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C50 cerâmica)	70
Tabela 4.7 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (HOWE C50)	72
Tabela 4.8 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (HOWE C30)	73
Tabela 4.9 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50)	74
Tabela 4.10 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C30)	75
Tabela 4.11 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50 metálica)	76
Tabela 4.12 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50 cerâmica)	77
Tabela 4.13 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50)	78
Tabela 5.1 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (HOWE C50)	82
Tabela 5.2 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (HOWE C50)	83
Tabela 5.3 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (HOWE C50)	84
Tabela 5.4 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (HOWE C50)	85
Tabela 5.5 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (HOWE C30)	88

Tabela 5.6 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (HOWE C30).....	89
Tabela 5.7 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (HOWE C30)	90
Tabela 5.8 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (HOWE C30).....	91
Tabela 5.9 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50)	94
Tabela 5.10 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C50)	95
Tabela 5.11 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50).....	96
Tabela 5.12 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50)	97
Tabela 5.13 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira).....	100
Tabela 5.14 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira).....	101
Tabela 5.15 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira)	102
Tabela 5.16 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira).....	103
Tabela 5.17 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C30)	106
Tabela 5.18 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C30)	107

Tabela 5.19 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C30).....	108
Tabela 5.20 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C30)	109
Tabela 5.21 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica).....	112
Tabela 5.22 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica).....	113
Tabela 5.23 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica)	114
Tabela 5.24 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica).....	115
Tabela 5.25 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha cerâmica)	118
Tabela 5.26 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (cerâmica)	118
Tabela 5.27 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha cerâmica)	119
Tabela 5.28 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha cerâmica)	119
Tabela 5.29 - Forças de compressão máximas nos banzos das treliças de telha fibrocimento	122
Tabela 5.30 - Forças de compressão máximas no contraventamento	123
Tabela 5.31 - Forças de compressão máximas nos banzos das treliças Pratt C50	124
Tabela 5.32 - Forças de compressão máximas no contraventamento das treliças Pratt C50 .	125
Tabela 5.33 - Forças de tração máximas no contraventamento das treliças Pratt C50.....	126

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Linhas comparativas dos métodos (HOWE C50).....	86
Gráfico 2 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (HOWE C50)	86
Gráfico 3 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (HOWE C50).....	86
Gráfico 4 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (HOWE C50).....	87
Gráfico 5 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (HOWE C50)	87
Gráfico 6 - Linhas comparativas dos métodos (HOWE C30).....	92
Gráfico 7 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (HOWE C30)	92
Gráfico 8 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (HOWE C30).....	92
Gráfico 9 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (HOWE C30).....	93
Gráfico 10 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (HOWE C30).....	93
Gráfico 11 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 cabos).....	98
Gráfico 12 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 cabos).....	98
Gráfico 13 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 cabos).....	98
Gráfico 14 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 cabos)	99
Gráfico 15 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 cabos)	99
Gráfico 16 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 madeira).....	104
Gráfico 17 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 madeira)	104
Gráfico 18 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 madeira)	104
Gráfico 19 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 madeira).....	105
Gráfico 20 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 madeira).....	105
Gráfico 21 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C30)	110
Gráfico 22 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C30).....	110
Gráfico 23 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C30)	110
Gráfico 24 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C30).....	111
Gráfico 25 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C30).....	111

Gráfico 26 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 telha metálica).....	116
Gráfico 27 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 telha metálica)	116
Gráfico 28 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 telha metálica)	116
Gráfico 29 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 telha metálica)	117
Gráfico 30 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 telha metálica)...	117
Gráfico 31 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 telha cerâmica).....	120
Gráfico 32 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 telha cerâmica) ...	120
Gráfico 33 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 telha cerâmica)	120
Gráfico 34 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 telha cerâmica)	121
Gráfico 35 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 telha cerâmica)..	121
Gráfico 36 - Colunas comparativas das forças (kN) de compressão máximas nos banzos ...	122
Gráfico 37 - Colunas comparativas das forças (kN) de compressão máximas no contraventamento.....	123
Gráfico 38 - Colunas das forças máximas de compressão nos banzos	124
Gráfico 39 - Colunas das forças máximas de compressão no contraventamento.....	125
Gráfico 40 - Colunas das forças máximas de tração no contraventamento	126

1 INTRODUÇÃO

O contraventamento é um subsistema estrutural de travamento das estruturas planas com a finalidade de manter a estabilidade dos elementos que a compõem. Este subsistema garante que a estrutura trabalhe de acordo com os critérios de estabilidade considerados em projeto, para cada elemento constituinte da estrutura.

A forma mais usual de estrutura plana de edificações é a treliça, também conhecida como tesoura. As treliças são largamente utilizadas em estruturas de coberturas de edificações e o contraventamento é parte indispensável deste tipo de sistema estrutural, pois um modelo ideal simplificado de análise estrutural considera apenas os deslocamentos no plano da treliça. Porém as estruturas apresentam imperfeições geométricas e heterogeneidade das propriedades físicas dos materiais que podem provocar deslocamentos fora do plano da estrutura que devem ser previstos em projeto e combatidos pelo contraventamento.

Há registros da preocupação com o contraventamento de treliças de madeira do ano de 1841, uma patente (Price & Phillins Truss Bridge) registrada pelo UNITED STATES PATENT OFFICE no estado de Maryland, Estados Unidos, que descreve o contraventamento de treliças planas de pontes e estruturas similares (*MANNER OF FASTENING AND COMBINING THE TRUSS-FRAMES OF BRIDGES, &c.*). Mostrada na Figura 1.1.

O atual modelo de cálculo de esforços em contraventamento, apresentado pela NBR 7190 (1997), considera a instabilidade lateral dos elementos empenados com curvatura da ordem de $L/300$. O modelo estrutural de treliças planas apresenta-se simplista perante a tecnologia e ferramentas computacionais hoje disponíveis. Apesar de o modelo plano apresentar resultados satisfatórios, omite a influência do contraventamento na estrutura tridimensional e os esforços atuantes nos elementos do contraventamento. Modelos tridimensionais que representam a estrutura completa apresentam esforços nos elementos de contraventamento superiores ao do modelo estabelecido pela NBR 7190 (1997) de estimativa

de esforços mínimos – na ausência de uma análise rigorosa – no contraventamento, podendo, assim, resultar em valores contra a segurança das estruturas.

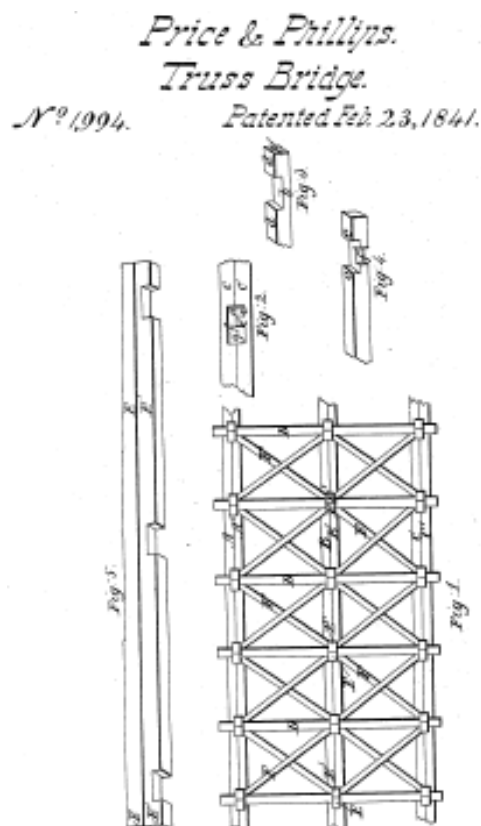


Figura 1.1 - Patente americana do ano 1841

No Brasil, apesar da maioria das coberturas serem de estruturas de madeira, não há uma cultura forte – como em países da Europa e América do Norte – em utilização de estruturas de madeira. Fato este que leva muitas vezes à ausência do projeto estrutural, e a estrutura fica a cargo do carpinteiro. Assim, observam-se inúmeras patologias e acidentes em coberturas de madeira devido à ausência de um sistema de contraventamento adequado.

O uso da madeira como material estrutural apresenta-se bem no quadro mundial atual, tendo em vista a procura por materiais renováveis e que não agridam o meio ambiente. A madeira é um material renovável, quando seu uso se dá de maneira planejada, “*junto de uma atividade florestal madeireira sustentável*” como demonstram RAMPAZZO e SPONCHIADO (2000).

Este trabalho busca analisar as forças atuantes no contraventamento de treliças de madeira. Na análise é feita a modelagem numérica dos galpões por meio da ferramenta computacional STRAP. Os modelos apresentados buscam retratar estruturas de média a grandes proporções e sem a consideração dos elementos de vedação (painel diafragma) resistindo a esforços, assim apresentando valores dos casos mais desfavoráveis, para avaliação de valores mínimos na ausência de uma análise rigorosa.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

- estimar as forças de projeto atuantes nos elementos de contraventamento de estruturas de treliças triangulares de madeira por meio de modelos numéricos computacionais;
- comparar as forças obtidas na modelagem tridimensional com os valores obtidos pelo método de estimativa apresentado na NBR 7190 (1997) e outras normas internacionais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma visão geral de estruturas de contraventamento, suas aplicações e atuais métodos de estimativa de esforços e cálculo.

2.1 Considerações iniciais

O objetivo do contraventamento é travar os nós da estrutura conforme dispostos no modelo de cálculo. O nome relaciona o vento pelo fato do mesmo ser o principal responsável por deslocamentos horizontais fora do plano de disposição da estrutura. O contraventamento, por sua vez, tem como função inibir esses deslocamentos que possam causar efeitos de segunda ordem na estrutura.

O contraventamento, da forma aqui estudada, é utilizado em estruturas de ligações pouco rígidas que venham a permitir seus movimentos. Como exemplo, a Figura 2.1 mostra o contraventamento constituinte do vão de extremidade da cobertura em tesouras de madeira do SESC São Carlos, e a Figura 2.2 mostra o contraventamento aparente de um edifício de estrutura metálica como elemento de fachada.



Figura 2.1 - Contraventamento de cobertura em tesouras de madeira



Figura 2.2 - Banco Itaú, São Paulo. (Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp270.asp>)

Um sistema de contraventamento inadequado foi o responsável de vários acidentes da engenharia, assim, deve ser integrante essencial das estruturas planas. A Figura 2.8 apresenta um caso de perda de estabilidade da cobertura de uma área de lazer, que por sua vez veio a ser interditada e recuperada a tempo, evitando a ruína da estrutura.

2.2 Contraventamento de estruturas de madeira

Nas estruturas de madeira, os sistemas de contraventamento são: o travamento de peças isoladas; de elementos estruturais principais; e de estruturas como um todo.

Por simplificação dos modelos numéricos de cálculo, em muitos casos são considerados deslocamentos apenas em uma direção do elemento estrutural, no seu plano de maior rigidez. Porém, a não linearidade e esforços fora do plano principal de atuação da estrutura provocam deslocamentos transversais, a este plano principal, que devem ser previstos em projeto.

A não linearidade é subdividida em dois casos: não linearidade geométrica, que são as imperfeições geométricas das peças ou da estrutura, como um empenamento da peça, oriunda de secagem ou formação natural do tronco de uma árvore, ou a imperfeição do prumo da estrutura; e não linearidade física, causada pela não homogeneidade das propriedades físicas do material estrutural, sendo esta inevitável em estruturas de madeira por ser um material fabricado pela natureza, anisotrópico por sua diferente disposição das estruturas celulares ao longo da árvore.

Exemplos de contraventamento em estruturas de madeira são: vigas de um assoalho travadas por peças dispostas transversalmente ou pelo próprio piso; pilares ou escoramentos comprimidos. Sua função pode ser: a diminuição do comprimento de flambagem de peças comprimidas isoladas ou constituintes de treliças; e até a quebra do comprimento de flambagem de peças tracionadas esbeltas que possam apresentar vibrações excessivas.

A Figura 2.3 apresenta uma deformação de segunda ordem provocada pela aplicação de uma força axial em uma peça com uma imperfeição geométrica inicial.

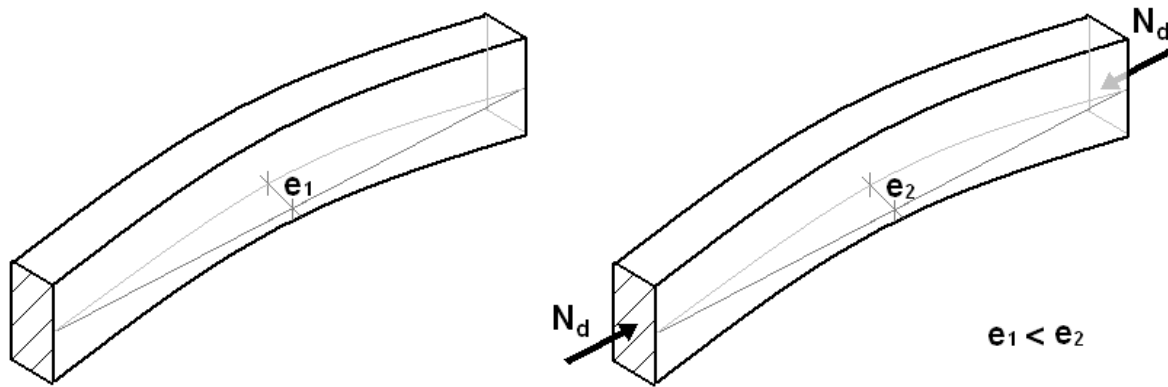


Figura 2.3 - Deslocamento oriundo de não linearidade geométrica

O documento normativo NBR 7190 de 1997, que rege os procedimentos de projeto e execução de estruturas de madeira, separa em dois grupos os elementos contraventados para determinação da rigidez e do esforço de dimensionamento dos mesmos: as peças comprimidas e os elementos estruturais em paralelo.

Autores de trabalhos que tratam do assunto – como BARALDI (2001) e ROCCO LAHR *et al.* (2008) – apontam métodos de análise estrutural mais rigorosos que consideram a ação resistente dos elementos de vedação ou o funcionamento global da estrutura.

Algumas normas internacionais apresentam formulações similares à apresentada pela NBR 7190 (1997), baseadas na instabilidade lateral do elemento isolado. Porém, a análise tridimensional da estrutura resulta em valores mais altos.

2.2.1 Contraventamento de peças comprimidas

A seguir são expostos os métodos de cálculo pesquisados que serviram como base da análise dos resultados obtidos pelos modelos estudados neste trabalho.

2.2.1.1 NBR 7190 (1997)

Para as peças comprimidas, a norma permite que em cada nó contraventado seja considerada uma força F_{1d} de valor mínimo $N_d/150$, sendo N_d a força de compressão de

cálculo da peça e o $N_d/150$ oriundo da sua curvatura inicial com flechas da ordem de $L/300$ do comprimento do arco correspondente.

A Figura 2.4 mostra a representação do modelo numérico para análise de uma peça estrutural bi-rotulada e contraventada por apoios elásticos de rigidez K_{br} submetida a uma ação axial N_d .

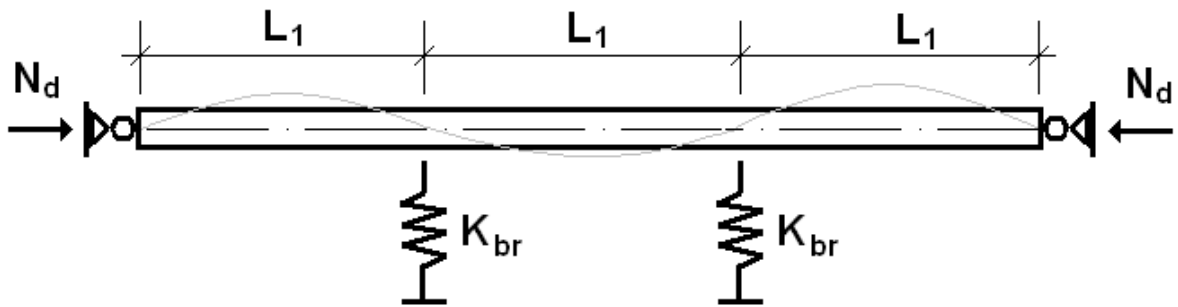


Figura 2.4 - Modelo de contraventamento de peça comprimida

A estrutura de travamento deve ter uma rigidez mínima $K_{br,1}$ dada pela Expressão 2.1:

$$K_{br,1,min} = 2 \cdot \alpha_m \frac{(\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_2)}{L_1^3} \quad (2.1)$$

Onde:

$$\alpha_m = 1 + \cos \frac{\pi}{m} \quad (2.2)$$

m = número de segmentos contraventados

$E_{c0,ef}$ = módulo de elasticidade efetivo

I_2 = momento de inércia do eixo de menor inércia

L_1 = comprimento de flabagem

Dados os valores de α_m pela Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Representação da Tabela 17 da NBR 7190/1997

m	α_m
2	1
3	1,5
4	1,7
5	1,8
∞	2

2.2.1.2 Normas internacionais

O valor $N_d/150$ representa metade dos valores adotados pelas, mais relevantes, normas internacionais.

O **Eurocode 5** adota os valores: $N_d/50$ para madeira serrada e $N_d/80$ para madeira laminada colada.

Documentos americanos do **TPI** (Truss Plate Institute) indicam a adoção de 2% da força máxima ($N/50$), baseado no trabalho de William Zuk (1956).

A norma chilena, **NCh 1198** “*Construções em madeira*”, de 2006, adota os valores $N/50$ para madeira serrada e $N/100$ para madeira laminada colada. A Figura 2.5 foi retirada da norma chilena e mostra a disposição dos esforços no contraventamento.

UNDERWOOD (2000), baseando-se nos resultados de seu estudo, propõe valores da ordem de 3,1% da força máxima na treliça ($N/32$).

A norma sul-africana **SABS 0163** “*The structural use of timber*” adota a Expressão 2.3, como mostrado por UNDERWOOD (2000):

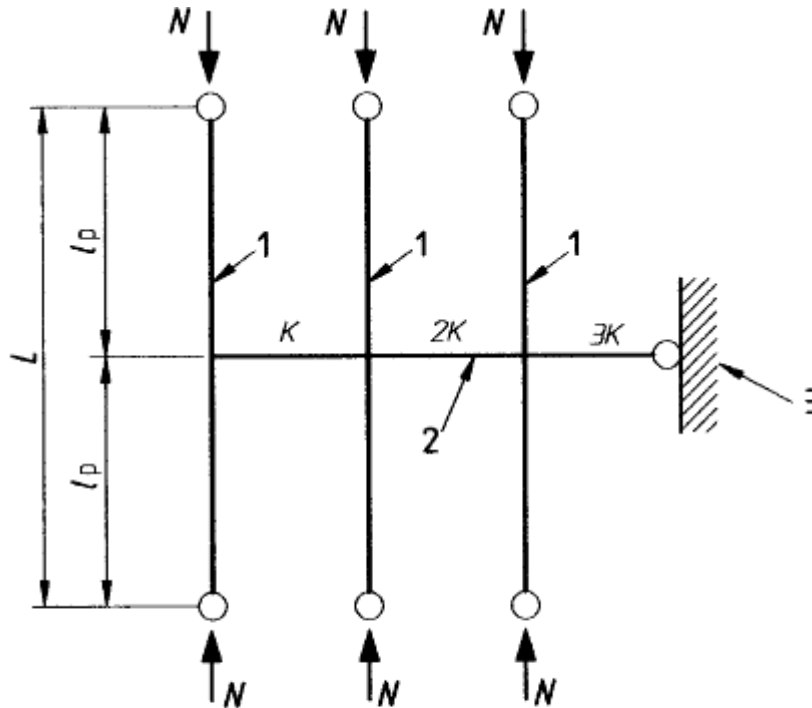
$$P_L = \frac{0,10 \cdot P_A}{(N + 1)} \quad (2.3)$$

Onde:

P_L = força no contraventamento

P_A = força axial no elemento contraventado devido à carga permanente

N = número de restrições ao longo do elemento contraventado



- 1 Elemento comprimido
- 2 Puntales
- 3 Apoyo del puntal constituido por ejemplo, por un sistema de arriostramiento, muros de albañilería, elementos de hormigón armado o similares

Apuntalamiento individual de piezas comprimidas

Figura 2.5 - Esforços no contraventamento de peças comprimidas da norma chilena NCh 1198 de 2006

CORDOVIL (2000), em seu estudo, observa os valores mínimos das forças em contraventamento das normas internacionais e demonstra que a norma brasileira prevê uma rigidez, das barras de contraventamento, duas vezes maior que o $N/150$, como mostrado a seguir.

Multiplicando a rigidez $K_{br,1,min}$ pelo deslocamento $L_1/300$, temos a força F_{1d} :

$$F_{1d} = \frac{L_1}{300} \cdot K_{br,1,min} \quad (2.4)$$

Logo:

$$F_{1d} = \frac{L_1}{300} \cdot 2\alpha_m \frac{(\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_2)}{L_1^3} \quad (2.5)$$

Simplificando a expressão, temos:

$$F_{1d} = \frac{1}{150} \cdot \alpha_m \frac{(\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_2)}{L_1^2} \quad (2.6)$$

O último termo da equação trata-se da força crítica de estabilidade à compressão, denominada força crítica de Euler:

$$F_E = \frac{(\pi^2 \cdot E_{c0,ef} \cdot I_2)}{L_1^2} \quad (2.7)$$

Por fim, resta a equação:

$$F_{1d} = \frac{1}{150} \cdot \alpha_m \cdot F_E \quad (2.8)$$

$$F_{1d} = \alpha_m \cdot \frac{F_E}{150} \quad (2.9)$$

Assim, conclui-se que o valor para α_m da Tabela 2.1 considerado pela norma foi 1, e não o mais conservador 2 que resultaria em:

$$F_{1d} = 2 \cdot \frac{F_E}{150} = \frac{F_E}{75} \quad (2.10)$$

2.2.2 Estabilidade global de elementos estruturais em paralelo

Para treliças o sistema de contraventamento apresenta-se indispensável, pois são elementos de grande inércia no plano de atuação dos esforços principais, mas pequena inércia na direção transversal – como mostra a Figura 2.6 – onde se pode considerar que cada elemento da treliça trabalha individualmente. Assim, é necessário o contraventamento das peças comprimidas isoladas, das treliças e da estrutura global, de acordo com as considerações de projeto.

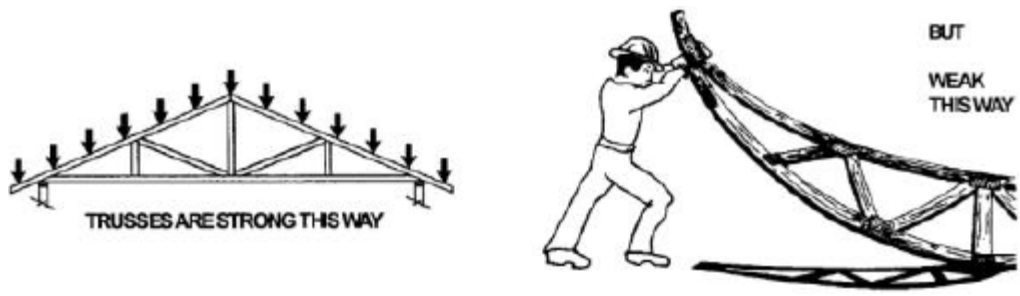


Figura 2.6 - Baixa rigidez lateral das treliças (Fonte: Truss Plate Institute)

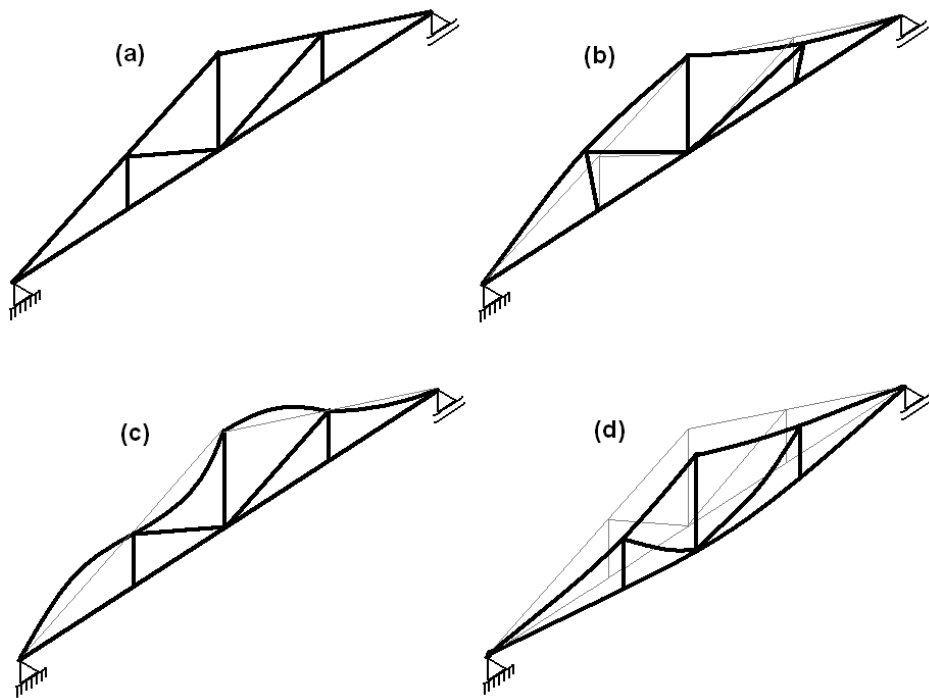


Figura 2.7 - Possíveis casos de instabilidade de uma treliça



Figura 2.8 - Flambagem lateral da tesoura completa, caso (d) da Figura 2.7

A NBR 7190 de 1997 fixa, no item 7.6.4 *Estabilidade global de elementos estruturais em paralelo*, as prescrições para contraventamento lateral de um sistema estrutural formado por elementos paralelos como no caso de coberturas de treliças de madeira. O sistema de contraventamento deve ser composto por treliças dispostas perpendicularmente ao plano das estruturas principais, nos planos horizontal, vertical e no plano da cobertura. Este sistema de travamento deve existir nas extremidades da construção e em eventuais posições intermediárias, existindo em um de cada três vãos definidos pelos elementos do sistema principal, não excedendo o espaçamento de 20 metros.

O sistema de contraventamento tem a função de impedir deslocamentos transversais nos nós da estrutura, transferindo os esforços para os nós fixos de apoio. O funcionamento do contraventamento é mostrado na Figura 2.9.

EXEMPLO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTRAVENTAMENTO

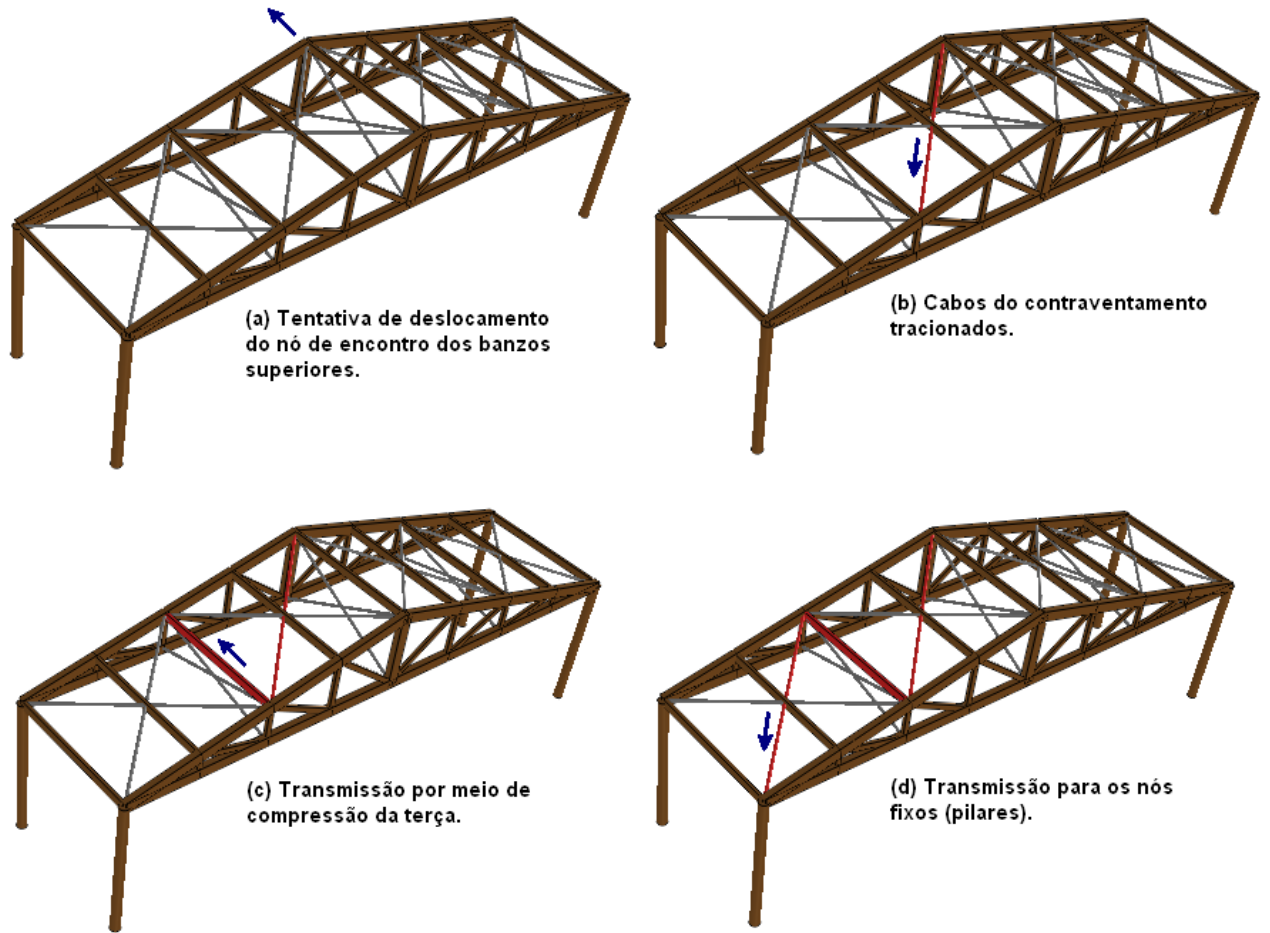


Figura 2.9 - Funcionamento do contraventamento

Em cada nó contraventado, do banzo comprimido do sistema principal, deve ser considerada uma força transversal F_{1d} de valor $N_d/150$, onde N_d é a resultante das tensões no banzo comprimido, como mostra na Figura 2.10.

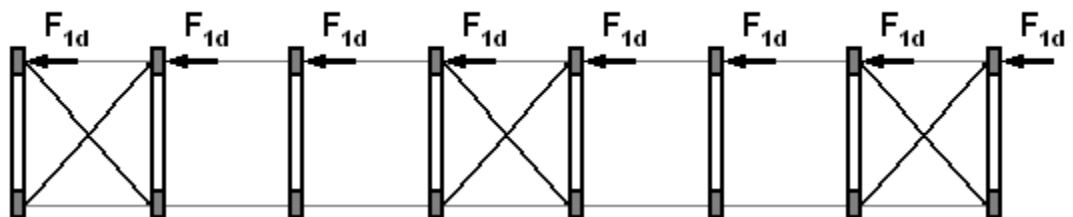


Figura 2.10 - Arranjo vertical de contraventamento

As estruturas de contraventamento devem resistir a uma força F_d de valor maior ou igual a $2/3$ da resultante das n forças F_{1d} existentes no trecho a ser estabilizado, como mostrado na Figura 2.11.

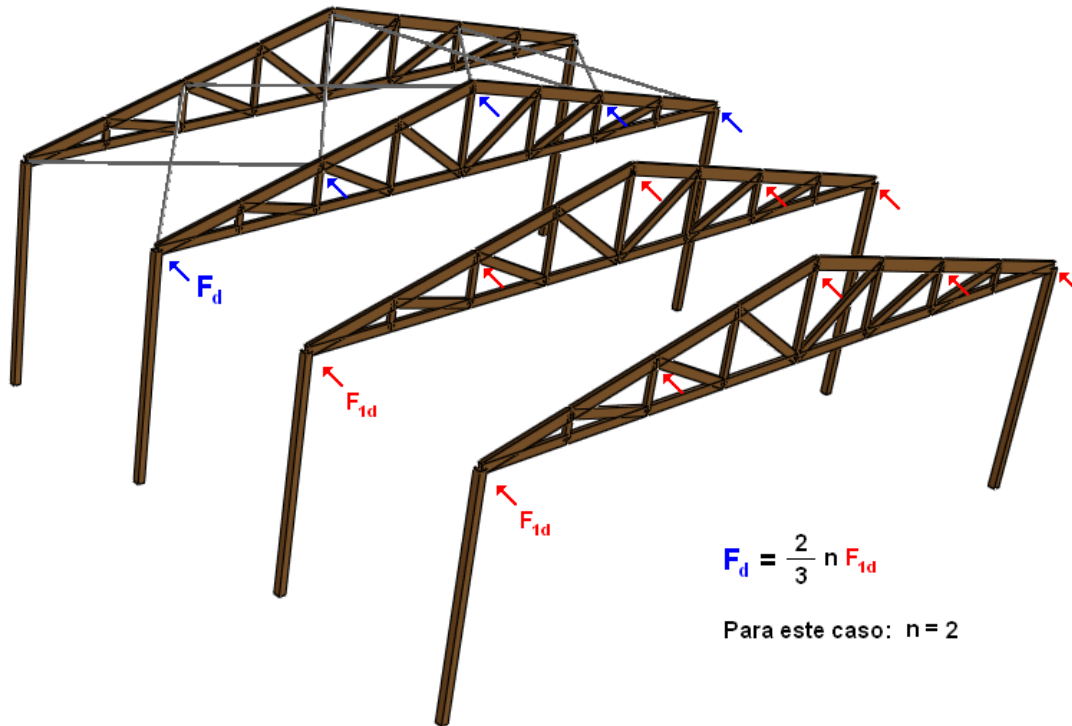


Figura 2.11 - Arranjo de esforços de contraventamento

UNDERWOOD (2000), em seu estudo sobre projeto de contraventamento permanente de treliças de coberturas de madeira, apresenta as Expressões 2.11 e 2.12 da norma sul-africana para contraventamento de treliças de madeira.

$$P_L = \frac{0,10 \cdot P_A}{(N + 1)} \quad (2.11)$$

Onde:

P_L = força em cada elemento de contraventamento lateral

P_A = força axial máxima na treliça devido à carga permanente

N = número de restrições ao longo da treliça

$$C_{PLN} = P_L \cdot n^{0,7} \quad (2.12)$$

Onde:

P_L = força em cada elemento de contraventamento lateral

n = número de treliças contraventadas

BARALDI (2001) apresenta métodos de cálculo que consideram os painéis de vedação da estrutura como diafragmas que distribuem os esforços horizontais nos pórticos principais formados pelas treliças e pilares. A consideração da ação diafragma fornece valores mais precisos e uma estrutura mais econômica do ponto de vista dos elementos do contraventamento.

Diretrizes para consideração da ação diafragma são encontradas também no Canadian Wood Construction (1986) e na norma americana ANSI/TPI (1995), citados por BARALDI (2001).

Como mostra a Figura 2.12, o modelo de ação diafragma considera os painéis de vedação das paredes e da cobertura como diafragmas que transferem os esforços entre os pórticos principais da estrutura.

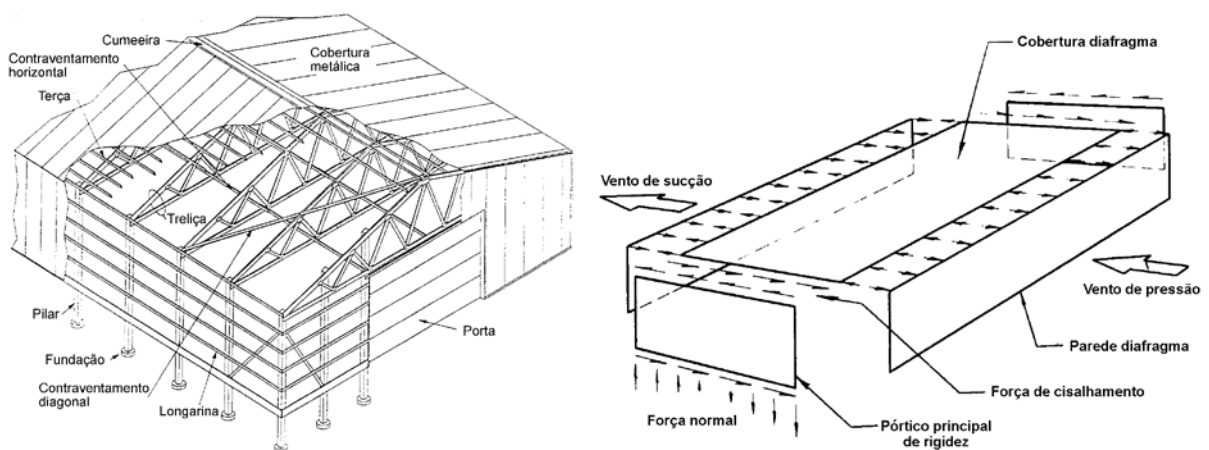


Figura 2.12 - Esquema de ação diafragma. Fonte: BARALDI (2001)

2.2.3 Contraventamento como parte da estrutura tridimensional

A forma de estimar os esforços atuantes nos elementos de contraventamento, como parte da estrutura global, é a análise do modelo tridimensional da estrutura. Neste caso o contraventamento trabalha ajudando a resistir às ações principais atuantes e não apenas aos possíveis deslocamentos fora do plano de maior inércia.

Os valores de F_{1d} e F_d expostos pela norma são valores mínimos, sua utilização é para casos em que não haja uma análise estrutural rigorosa. A forma dessa análise rigorosa não é fixada pela norma, assim, fica a critério do projetista adotar um método de sua preferência que condiz com o conhecimento existente.

Observa-se que o funcionamento tridimensional tem influência significativa nas barras de contraventamento e devem ser analisados e suas forças somadas às devido à instabilidade lateral.

Um dos possíveis métodos foi abordado por ROCCO LAHR *et al.* (2008). No estudo são analisados os esforços atuantes nas tesouras e no contraventamento de um galpão industrial de madeira com treliças tipo Pratt de duas águas em telha metálica com dimensões em planta de 13,00 m x 40,00 m, colunas de madeira roliça com altura de 4,00 m e altura da tesoura 1,00 m.

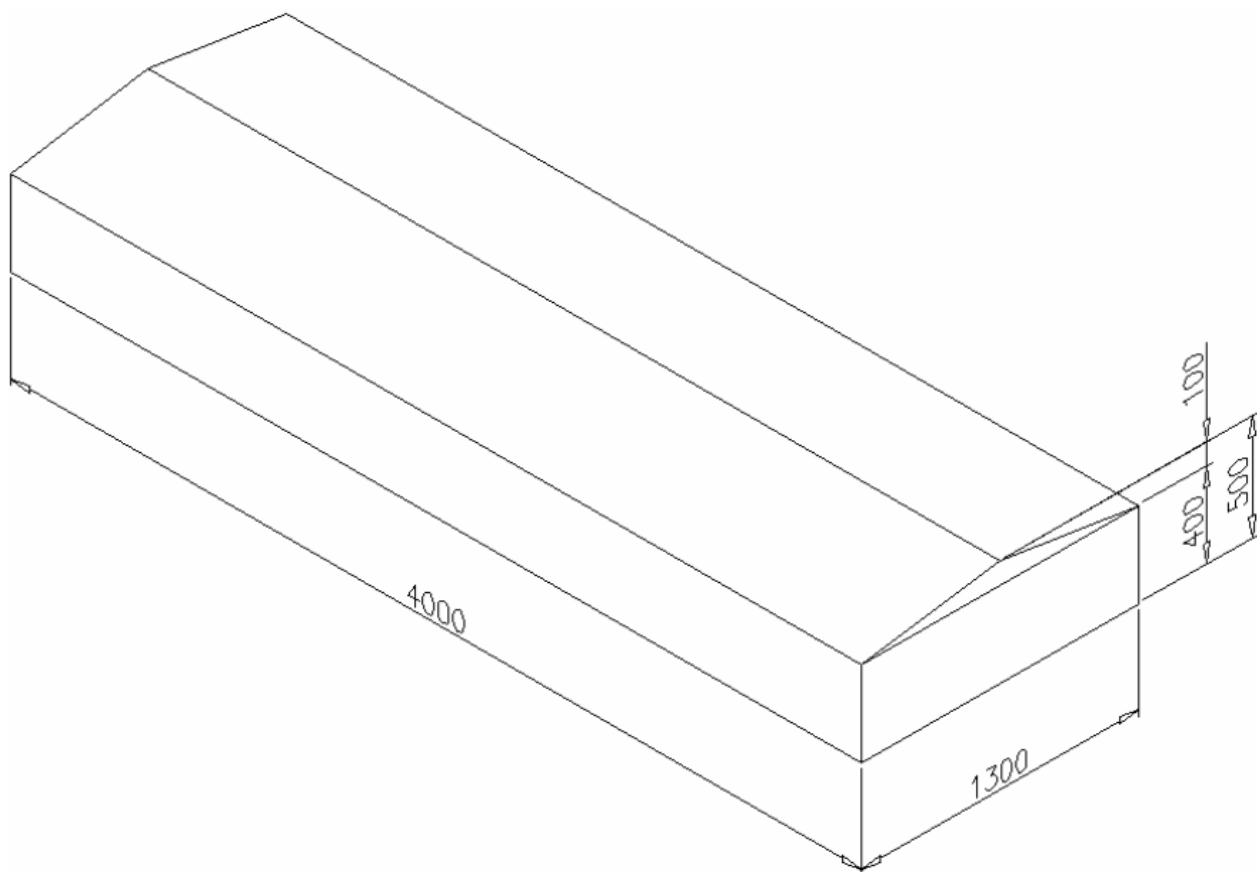


Figura 2.13 - Desenho esquemático do modelo estudado por ROCCO LAHR *et al.* (2008)

São analisados os esforços de um modelo plano com cargas nodais calculado no programa Ftool – programa desenvolvido pela PUC-Rio, disponibilizado gratuitamente – e um modelo tridimensional de todo o galpão modelado e analisado no SAP 2000. Na análise tridimensional são aplicadas as ações de projeto calculadas para uma tesoura, da mesma forma da tesoura plana, e dispostas as 11 tesouras do galpão completo com correspondentes pilares e barras de contraventamento.

Na Tabela 2.2 observa-se, nos valores obtidos no trabalho, que houve uma redução considerável dos esforços axiais na treliça no modelo tridimensional em relação à análise plana. Porém, os valores observados nas peças de contraventamento, mostrados na Tabela 2.3, foram bem superiores aos mínimos previstos por norma.

Tabela 2.2 - Comparação de esforços obtidos, nos modelos tri e bidimensionais, por ROCCO LAHR *et al.* (2008)

ENVOLTÓRIA DOS ESFORÇOS						
Elemento	SAP 2000		FTOOL		COMPARAÇÃO	
	Axial [kN]	Axial [kN]	Axial [kN]	Axial [kN]	Compr.	Tração
1	100,98	-74,51	126,24	-80,91	25,01%	8,59%
2	100,81	-74,36	127,36	-81,10	26,34%	9,06%
3	85,42	-64,19	108,90	-70,75	27,49%	10,22%
4	70,51	-52,52	90,28	-60,65	28,04%	15,48%
5	65,52	-94,61	79,62	-124,61	21,52%	31,71%
6	55,47	-79,38	69,16	-105,21	24,68%	32,54%
7	44,75	-64,62	58,88	-85,53	31,58%	32,36%
8	32,74	-47,35	47,53	-64,20	45,17%	35,59%
9	10,35	-15,69	12,67	-19,96	22,42%	27,21%
10	12,45	-15,88	14,92	-21,16	19,84%	33,25%
11	13,46	-19,35	16,80	-24,00	24,81%	24,03%
12	4,01	-2,10	4,89	-2,53	21,95%	20,48%
13	6,29	-3,04	7,76	-3,68	23,37%	21,05%
14	9,06	-5,57	10,73	-5,71	18,43%	2,51%
15	1,28	-1,95	0,00	0,00	-	-

Tabela 2.3 - Esforços obtidos nas demais peças do modelo tridimensional

ENVOLTÓRIA DE ESFORÇOS				
Elemento	Axial [kN]	Axial [kN]	Momento [kN.m]	Cortante [kN]
COLUMNAS	15,83	-16,36	840,00	6,80
VIGAS	5,83	-5,24	22,18	-
C.H.	2,14	-6,06	-	-
C.V.	5,95	-4,14	-	-

C.H. = *contraventamento horizontal*

C.V. = *contraventamento vertical*

2.3 Considerações finais

O método – de estimativa da força no contraventamento – indicado pela NBR 7190 (1997) apresenta valores inferiores aos apresentados pelas normas internacionais.

Os métodos pesquisados são baseados na instabilidade lateral dos elementos com imperfeição geométrica de curvatura da ordem de $L/300$ e $L/200$. A análise tridimensional do modelo estrutural, que consideram o funcionamento do contraventamento como parte da estrutura global, resulta em valores mais altos que os estimados pelo método da norma brasileira. Assim, pode-se estar subestimando as forças atuantes no contraventamento.

São necessários estudos do comportamento tridimensional da estrutura para que sejam considerados valores mais seguros, para casos de ausência de uma análise estrutural rigorosa.

3 ANÁLISE NUMÉRICA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos para realização do trabalho. Trata-se da modelagem numérica, de galpões de estruturas treliçadas de madeira do tipo tesouras triangulares, por meio de ferramentas computacionais de análise estrutural. A seguir são descritos: programas de análise estrutural, geometrias, condições de contorno, propriedades das barras e ações consideradas na modelagem.

3.1 Programas computacionais

Para estimar os esforços atuantes nos elementos estruturais dos galpões, foram utilizados dois programas computacionais de análise estrutural. O AcadFrame e o STRAP, ambos utilizam o Método dos Elementos Finitos para estimativa dos esforços em cada elemento da estrutura.

3.1.1 AcadFrame

O AcadFrame é uma ferramenta computacional, desenvolvida no Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, que utiliza o Método dos Elementos Finitos Posicional para análise de pórticos e treliças planas incluindo não linearidade geométrica, efeito de temperatura e combinação de ações externas. Sua versão acadêmica é disponibilizada gratuitamente no endereço eletrônico: <http://www.set.eesc.usp.br/acadframe/>.

A utilização do AcadFrame teve por finalidade apenas a conferência dos resultados dos modelos bidimensionais obtidos no programa STRAP, uma vez que o AcadFrame foi desenvolvido segundo os métodos numéricos estudados.

3.1.2 STRAP

Os modelos tridimensionais foram confeccionados no STRAP (Structural Analysis Programs). O programa utiliza o Método dos Elementos Finitos para análises de esforços em estruturas. Utilizou-se a versão STRAP 2008, e os modelos constituídos de elementos de barras e a análise dos esforços realizada de forma linear.

3.2 Geometrias dos modelos

Os modelos computacionais foram analisados com dois tipos de geometrias, sendo: a treliça plana isostática (forma clássica) e o modelo tridimensional formado pelos pórticos, terças e contraventamentos.

Todos os modelos apresentam cobertura com 25% de inclinação. As treliças são divididas em quadros com 1,50 metros de distância entre montantes. Os vãos das treliças são de 12, 18 e 24 metros e os pilares são de alturas 3, 4 e 6 metros. As ações atuantes variam com a classe de madeira, o tipo de telha e a ação estática de vento de acordo com as dimensões de cada galpão, que estão descritas no item 3.5.

Além da variação nas dimensões, foram estudados dois tipos de tesouras, a Howe e a Pratt, que se diferenciam pelo sentido de inclinação das escoras. Sentido de inclinação este que inverte a natureza de esforços de tração e compressão.

A seguir são listados os modelos, suas características e finalidades.

3.2.1 Treliças planas

O modelo de treliça plana, o mais simples e mais utilizado na prática, fornece os valores usuais de projeto, base para cálculo dos esforços de projeto nas peças de contraventamento segundo os métodos estudados: NBR 7190 (1997), EUROCODE 5, UNDERWOOD (2000) e SABS 0163.



Figura 3.1 - Treliça plana tipo Howe

São 11 modelos de treliças para cada tipo (Howe e Pratt) e classe (C30 e C50) estudados, sendo 44 modelos de treliças. Também são analisados o tipo Pratt C50 considerando telhas metálicas e 7 modelos tipo Pratt C50 considerando telhas cerâmicas, para as treliças até 18 metros e espaçamento igual a 3 metros. Totalizando 61 modelos.

Tabela 3.1 - Geometrias dos modelos de treliças

Treliça	Vão (m)	z (altura)	e (vão entre treliças)
1	12	3	3
2		4	
3		6	
4	18	3	
5		4	
6		6	
7		6	4
8	24	3	3
9		4	
10		6	
11		6	4

3.2.2 Galpões completos



Figura 3.2 - Estrutura completa de galpão com treliça tipo Howe e contraventamento de barras de aço

Foram consideradas 21 geometrias base de galpões industriais de estruturas de madeira. Os modelos foram analisados para os tipos Howe e Pratt, as classes C30 e C50, o contraventamento com todos os nós da treliça contraventados e com um a cada dois nós da treliça contraventado, e os modelos tipo Pratt de classe C50 foram analisados também com contraventamento de madeira, telhas metálicas e telhas cerâmicas, o que totaliza 238 modelos de galpões.

Os valores obtidos nos modelos tridimensionais têm por finalidade analisar o funcionamento em conjunto do contraventamento com a estrutura.

Ao todo foram analisados 299 modelos, sendo o menor (Treliça plana $L=12\text{m}$ $h=1,5\text{m}$ $z=3\text{m}$) constituído por 16 nós e 29 barras, e o maior (Galpão 20) constituído por 1122 nós e 3667 barras. *Observação: L = vão, h = altura central, z = altura do pilar.*

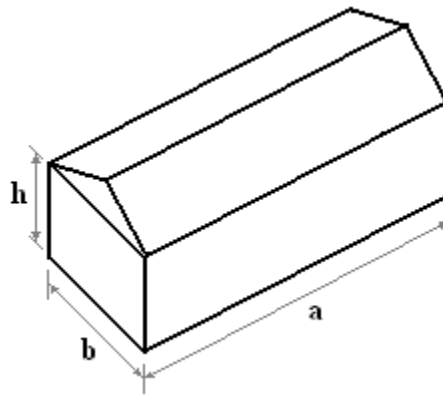


Figura 3.3 - Desenho esquemático das dimensões de um galpão

Tabela 3.2 - Dimensões dos galpões estudados (unidades em metros)

Galpão	Planta b x a	z (altura)	e (vão entre treliças)
1	12 x 24	3	3
2		4	
3		6	
4	12 x 48	3	
5		4	
6		6	
7	18 x 24	3	
8		4	
9		6	
10	18 x 48	3	
11		4	
12		6	
13		6	4
14	24 x 48	3	3
15		4	
16		6	
17		6	4
18	24 x 96	3	3
19		4	
20		6	
21		6	4

3.3 Propriedades das barras

As treliças e os galpões foram analisados considerando as classes de resistência C30 e C50, por serem classes usuais para os vãos adotados.

A rigidez de cada barra dos modelos é considerada pela seção e pelo módulo de elasticidade parametrizado no programa. Os valores para peças de madeira são estimados a partir dos valores da Tabela 3.4 – estudados no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira LaMEM e publicados por CALIL JR. (2008) – e para obtenção do valor de projeto do módulo de elasticidade efetivo $E_{c0,ef}$ são multiplicados pelo coeficiente de correção K_{mod} igual a 0,56. Para barras ou cabos de aço foi considerado o módulo de elasticidade de 195.000 MPa.

Tabela 3.3 - Classes de resistência das coníferas. (Fonte: CALIL JR., 2008)

CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS CONÍFERAS (U = 12%)					
Classe	$f_{c0,k}$ (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kgf/m ³)	ρ_{ap} (kgf/m ³)
C20	20	4	3500	400	500
C25	25	5	8500	450	550
C30	30	6	14500	500	600

Tabela 3.4 - Classes de resistência das dicotiledôneas. (Fonte: CALIL JR., 2008)

CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS DICOTILEDÔNEAS (U = 12%)					
Classe	$f_{c0,k}$ (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kgf/m ³)	ρ_{ap} (kgf/m ³)
C20	20	4	9500	500	650
C30	30	5	14500	650	800
C40	40	6	19500	750	950
C50	50	7	22000	770	970
C60	60	8	24500	800	1000

Onde:

$f_{c0,k}$ = resistência característica à compressão

f_{vk} = resistência característica ao cisalhamento

$E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade médio na direção paralela às fibras

$\rho_{bas,m}$ = densidade básica

ρ_{ap} = densidade aparente

U = teor de umidade da madeira

Nas propriedades também é determinado o peso específico do material, para aplicação do peso próprio da estrutura nos modelos computacionais.

As seções do banzo superior foram dimensionadas considerando o comprimento de flambagem de três metros e dez centímetros, referente a dos quadros da treliças, supondo o contraventamento de um a cada dois nós (um xis a cada duas terças).

Tabela 3.5 - Dimensões das seções das barras da treliça

SEÇÕES DAS BARRAS DA TRELIÇA (cm)								
Classe	Vão da treliça (m)	Espaçamento entre treliças (m)	Tipo de telha					
			Metálicas		Fibrocimento		Cerâmicas	
			Banzos	Montantes e diagonais	Banzos	Montantes e diagonais	Banzos	Montantes e diagonais
C30	12	3			12x15	6x10		
		3			12x20	6x10		
	18	4			12x30	6x12		
		3			20x20	6x20		
		4			20x20	6x25		
C50	12	3	12x12	6x6	12x12	6x6	12x15	6x6
		3	12x12	6x10	12x15	6x10	12x25	6x10
	18	4	12x15	6x10	12x20	6x10		
		3	12x20	6x15	12x25	6x12		
		4	12x25	6x20	12x30	6x15		

Para o modelo com barras de contraventamento de madeira foi adotada a seção de 6x15 centímetros.

3.4 Condições de contorno

Nos modelos foram consideradas todas as ligações entre barras rotuladas, como considerado na análise clássica.

A forma usual de análise estrutural das treliças de madeira considera todas as ligações entre barras articuladas e os apoios sendo o primeiro uma rótula e o segundo um apoio de primeiro grau com restrição de deslocamento vertical. Porém, na realidade a maioria das ligações usuais apresenta certa restrição à rotação, funcionando, portanto, como ligações semi-rígidas. Outro ponto que oferece restrição à rotação é a continuidade das peças constituintes dos banzos. Estas aproximações de modelos não apresentam influência significativa para o caso aqui estudado, portanto não serão considerados nos modelos.

Nos modelos em que as barras de contraventamento são de aço, consideram-se resistentes apenas a esforços de tração devido à alta esbeltez das mesmas e do uso de cabos na prática de execução. Todas as barras constituintes do contraventamento são bi-rotuladas, inclusive as terças.

Os apoios dos pórticos são representados por engastamento nas bases dos pilares.

3.5 Ações atuantes

As ações consideradas nos modelos computacionais buscam representar os possíveis casos mais desfavoráveis na estrutura em serviço. São considerados: o peso próprio da estrutura segundo a NBR 7190 (1997); o peso do telhado; e o vento representado pelas ações estáticas dos ventos segundo a NBR 6123 (1988).

3.5.1 Peso próprio

O peso próprio é considerado distribuído linearmente em cada elemento, de acordo com peso específico das classes de resistência consideradas e das dimensões de cada barra previamente parametrizados, aplicado na direção vertical.

Como exemplo, a Figura 3.4 mostra o carregamento de peso próprio para uma tesoura de madeira dicotiledônea de classe C50, peso específico de $9,7 \text{ kN/m}^3$, representados por cargas linearmente distribuídas e as cargas concentradas representando as terças. Os valores das propriedades são indicados pela Tabela 3.3 e Tabela 3.4, extraídas de CALIL JR. (2008).

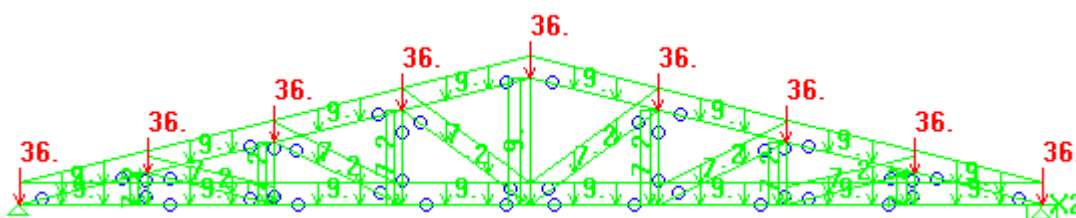


Figura 3.4 - Carregamento do peso próprio (em daN e m) da tesoura tipo C50 (970 daN/m^3) e das terças representadas pelas cargas concentradas

3.5.2 Telhas

Para os modelos que variam classe de resistência de tipo de material do contraventamento foi considerado o carregamento de telha referente à telha de fibrocimento (180 N/m^2) por ser bastante usada na prática e apresentar um valor de peso médio entre as telhas metálicas e cerâmicas. O valor da carga considerado para a telha de fibrocimento foi obtido do catálogo técnico da BRASILIT, referente ao modelo de telha ONDULADA de espessura seis milímetros.

As telhas são representadas por um carregamento distribuído no plano da cobertura, aplicado na direção vertical e distribuído nas barras que representam as terças.

Na Figura 3.5, o plano da cobertura quadriculado mostra a área de aplicação da carga e a indicação -18 X nos diz o valor (18 daN/m²) entrando no plano de aplicação na direção vertical.

Os modelos Pratt C50 também foram analisados com o carregamento de telhas metálicas (50 N/m²) e telhas cerâmicas (800 N/m²).

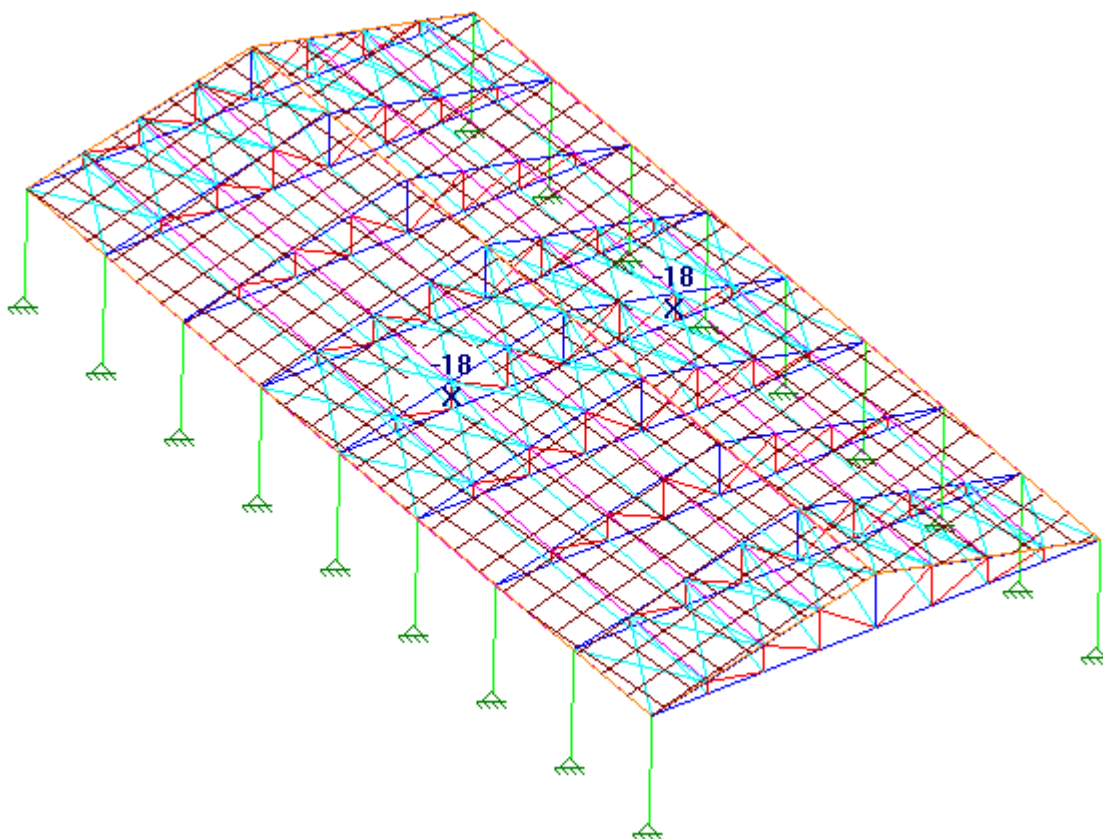


Figura 3.5 - Carregamento de telhas fibrocimento

3.5.3 Ventos

As ações devido a ventos foram estimadas conforme as prescrições da NBR 6123 (1988) *Forças devidas ao vento em edificações*. A intensidade das ações é calculada a partir da velocidade característica do vento e dos fatores: topográfico, de rugosidade e estatístico da edificação para determinação dos valores médios dos coeficientes de pressão. Os modelos considerados são referentes a um galpão na região industrial da cidade de São Carlos/SP, situado em terreno plano e inclinação da cobertura de 15 graus. As dimensões variam a cada

modelo, sendo em planta: 12 x 24, 12 x 48, 18 x 24, 18 x 48, 24 x 48 e 24 x 96 metros, e alturas 3, 4 e 6 metros.

Foram adotadas características referentes à cidade de São Carlos por apresentar um valor de velocidade básica do vento intermediário – comparado aos apresentados pela NBR 6123 (1988) – e acima dos valores da maior parte do país, o que fornece uma margem de segurança para adoção de valores mínimos das ações.

3.5.3.1 Ação estática de vento

A seguir é mostrada a determinação da ação estática do vento q .

- Velocidade básica do vento (região de São Carlos):

$$V_0 = 40 \text{ m/s.}$$

- Velocidade característica do vento:

$$V_k = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot V_0 \quad (3.1)$$

- S_1 : fator topográfico.

Terreno plano com poucas ondulações:

$$S_1 = 1,0.$$

- S_2 : fator de rugosidade do terreno e dimensões da edificação.

Rugosidade:

Área industrial (Categoria IV).

Dimensões:

Maior dimensão de 20 a 50 metros (Classe B).

Maior dimensão acima de 50 metros (Classe C).

Os valores de S_2 da Tabela 3.6 foram obtidos pela Expressão 3.2:

$$S_2 = b \cdot \left(\frac{z}{10} \right)^p \quad (3.2)$$

Tabela 3.6 - Valores de S_2 para os modelos considerados

Classe	b	p	Altura z (m)	S_2
B	0,85	0,125	3	0,73
			4	0,76
			6	0,79
C	0,84	0,135	3	0,71
			4	0,74
			6	0,78

- S_3 : fator estatístico

Indústria com alto fator de ocupação:

$$S_3 = 1,0.$$

Tabela 3.7 - Valores de V_k e ação estática q

Classe	Altura z (m)	$S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$	V_k (m/s)	q (N/m ²)	Galpões
B	3	0,73	29,2	533	1, 4, 7, 10, 14
	4	0,76	30,4	578	2, 5, 8, 11, 15
	6	0,79	31,6	624	3, 6, 9, 12, 13, 16, 17
C	3	0,71	28,4	504	18
	4	0,74	29,6	548	19
	6	0,78	31,2	608	20 e 21

As ações externas ou internas atuantes são resultado da multiplicação da ação estática pelo referente coeficiente de pressão. A Tabela 3.8 lista estes valores.

Tabela 3.8 - Ação estática do vento multiplicada pelos coeficientes de pressão

AÇÃO ATUANTE POR ÁREA						
Ce ou Ci	Ação estática do vento (daN/m²)					
	53,3	62,4	50,4	60,8	57,8	54,8
0,2	11	13	10	12	12	11
0,3	16	19	15	18	17	16
0,4	21	25	20	24	23	22
0,5	27	31	25	30	29	27
0,6	32	37	30	37	35	33
0,7	37	44	35	43	41	38
0,8	43	50	40	49	46	44
0,9	48	56	45	55	52	49
1,0	53	62	50	61	58	55
1,2	64	75	61	73	69	66

3.5.3.2 Coeficientes de pressão externa

Para cada galpão foram determinados os coeficientes de pressão externa de acordo com suas dimensões. A Figura 3.6 apresenta a divisão de áreas onde são aplicados diferentes valores das ações estáticas dos ventos. Cada face é identificada por uma sigla e os valores dos coeficientes de pressão externa da face são expostos na Tabela 3.9. A Tabela 3.10 fornece os valores da ação estática atuante em cada face. Segue abaixo a descrição de cada sigla:

B: barlavento;

LI: lateral 1;

CI: cobertura 1;

S: sotavento;

dI: distância 1.

O sinal positivo indica sobrepressão externa, força no sentido de fora para dentro. De forma antagônica, o sinal negativo indica sucção externa, força de dentro para fora. Como mostrado na Figura 3.9.

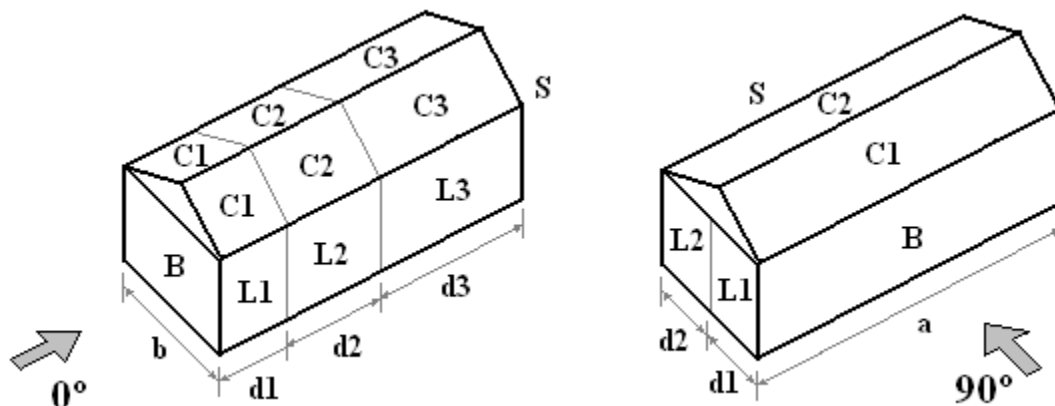


Figura 3.6 - Desenho esquemático de distâncias e faces de aplicação da ação estática dos ventos

Tabela 3.9 - Distâncias e coeficientes de pressão externa

DISTÂNCIAS (m) E COEFICIENTES DE PRESSÃO EXTERNA																				
FACE	VENTO A 0°											VENTO A 90°								
	d1	d2	d3	B	C1	C2	C3	L1	L2	L3	S	d1	d2	B	C1	C2	L1	L2	S	
GALPÃO	1	6	6	12	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	6	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	2	6	6	12	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	6	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	3	6	6	12	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	6	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	4	6	18	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	6	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	5	8	16	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	6	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	6	6	18	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	6	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	7	6	6	12	0,7	-0,8	-0,6	-0,3	-0,8	-0,5	-0,3	-0,4	6	12	0,7	-1,0	-0,4	-0,8	-0,4	-0,4
	8	6	6	12	0,7	-0,8	-0,6	-0,3	-0,8	-0,5	-0,3	-0,4	8	10	0,7	-1,0	-0,4	-0,8	-0,4	-0,4
	9	6	6	12	0,7	-0,8	-0,6	-0,3	-0,8	-0,5	-0,3	-0,4	9	9	0,7	-1,0	-0,4	-0,8	-0,4	-0,4
	10	6	18	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	12	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	11	8	16	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	8	10	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	12	12	12	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	9	9	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	13	12	12	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	9	9	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	14	6	18	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	6	18	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	15	8	16	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	8	16	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	16	12	12	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	12	12	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	17	12	12	24	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	12	12	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	18	6	42	48	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	8	16	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	19	8	40	48	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	8	16	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	20	12	36	48	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	12	12	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5
	21	12	36	48	0,7	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,4	-0,2	-0,3	12	12	0,7	-1,0	-0,4	-0,9	-0,5	-0,5

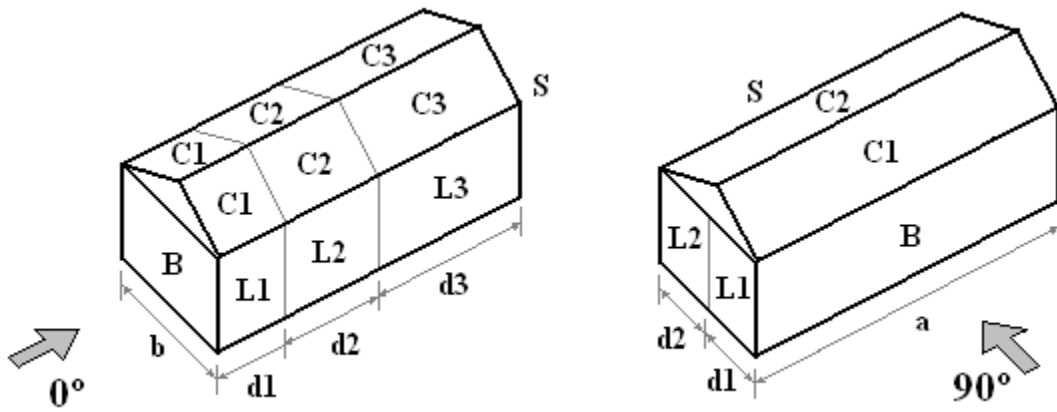


Figura 3.7 - Desenho esquemático de distâncias e faces de aplicação da ação estática dos ventos

Tabela 3.10 - Ação estática dos ventos em cada face

DISTÂNCIAS (m) E AÇÕES ESTÁTICAS DOS VENTOS (daN/m ²)																				
FACE	VENTO A 0°											VENTO A 90°								
	d1	d2	d3	B	C1	C2	C3	L1	L2	L3	S	d1	d2	B	C1	C2	L1	L2	S	
GALPÃO	1	6	6	12	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	6	37	-53	-21	-48	-27	-27
	2	6	6	12	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	6	6	40	-58	-23	-52	-29	-29
	3	6	6	12	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	6	6	44	-62	-25	-56	-31	-31
	4	6	18	24	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	6	37	-53	-21	-48	-27	-27
	5	8	16	24	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	6	6	40	-58	-23	-52	-29	-29
	6	6	18	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	6	6	44	-62	-25	-56	-31	-31
	7	6	6	12	37	-43	-32	-16	-43	-27	-16	-21	6	12	37	-53	-21	-43	-21	-21
	8	6	6	12	40	-46	-35	-17	-46	-29	-17	-23	8	10	40	-58	-23	-46	-23	-23
	9	6	6	12	44	-50	-37	-19	-50	-31	-19	-25	9	9	44	-62	-25	-50	-25	-25
	10	6	18	24	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	12	37	-53	-21	-48	-27	-27
	11	8	16	24	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	8	10	40	-58	-23	-52	-29	-29
	12	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	9	9	44	-62	-25	-56	-31	-31
	13	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	9	9	44	-62	-25	-56	-31	-31
	14	6	18	24	37	-43	-32	-11	-43	-21	-11	-16	6	18	37	-53	-21	-48	-27	-27
	15	8	16	24	40	-46	-35	-12	-46	-23	-12	-17	8	16	40	-58	-23	-52	-29	-29
	16	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	12	12	44	-62	-25	-56	-31	-31
	17	12	12	24	44	-50	-37	-12	-50	-25	-12	-19	12	12	44	-62	-25	-56	-31	-31
	18	6	42	48	35	-40	-30	-10	-40	-20	-10	-15	8	16	35	-50	-20	-45	-25	-25
	19	8	40	48	38	-44	-33	-11	-44	-22	-11	-16	8	16	38	-55	-22	-49	-27	-27
	20	12	36	48	43	-49	-36	-12	-49	-24	-12	-18	12	12	43	-61	-24	-55	-30	-30
	21	12	36	48	43	-49	-36	-12	-49	-24	-12	-18	12	12	43	-61	-24	-55	-30	-30

No plano do telhado é aplicado um carregamento distribuído perpendicular á área, atuantes nas barras que representam as terças. No plano da face lateral do galpão é aplicado um carregamento distribuído perpendicular à área, atuante nos pilares.

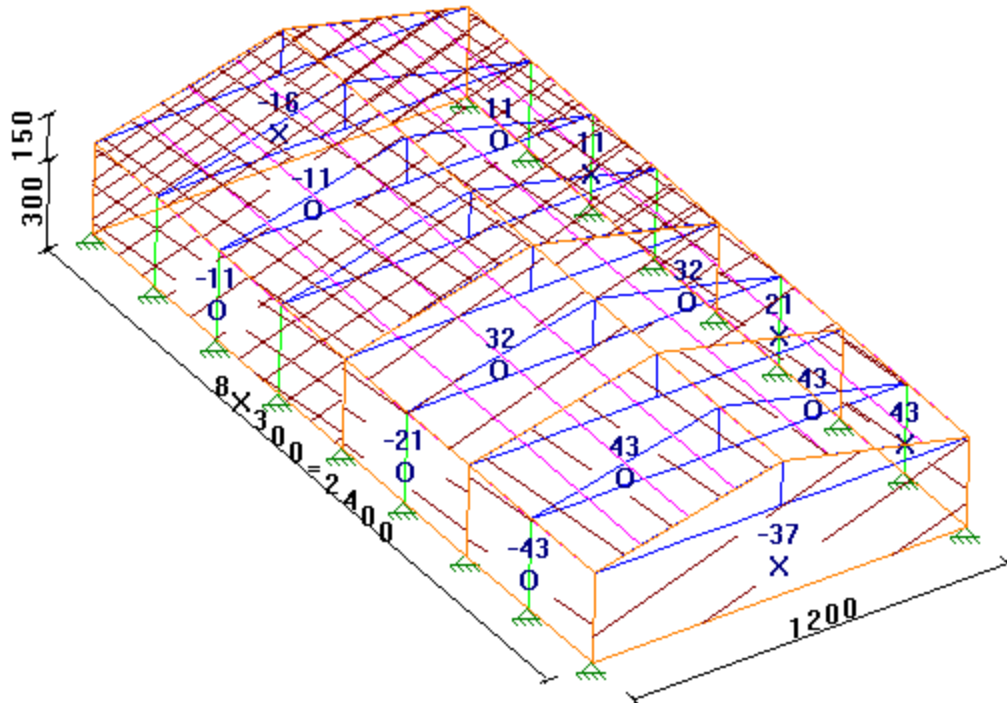


Figura 3.8 - Carregamento de sobrepessão do vento na direção longitudinal (vento a 0°)

3.5.3.3 Hipóteses de disposição das paredes de vedação

O galpão, em uso, pode apresentar várias configurações de vedações e esta variação influencia na intensidade da ação do vento. A fim de avaliar as condições mais desfavoráveis ao contraventamento da cobertura, determinaram-se os quatro tipos de configuração descritos a seguir:

- completamente vedado;
- abertura a barlavento;
- abertura a sotavento;
- cobertura isolada (sem vedação).

3.5.3.4 Coeficientes de pressão interna

Os valores, considerados na análise, são valores extremos que representam os casos mais desfavoráveis e apresentam maiores pressões de vento. São eles:

$C_{pi} = +0,8$ para sobrepressão interna com abertura dominante a barlavento e relação A_{ad}/A_{as} igual a 6;

$C_{pi} = -0,9$ sucção interna com abertura situada em zona de alta sucção externa e relação A_{ad}/A_{ase} maior ou igual a 3.

Onde:

A_{ad} = área da abertura dominante;

A_{as} = área total das aberturas succionadas nas outras faces;

A_{ase} = demais áreas de aberturas succionadas externamente.

Os sinais dos coeficientes de pressão interna são contrários aos de pressão externa, pois o sinal positivo indica sobrepressão interna, força no sentido de dentro para fora, e o sinal negativo indica sucção interna, força no sentido de fora para dentro.

Tabela 3.11 - Ação interna dos ventos

Ci		Ação característica do vento (daN/m ²)					
		53,3	62,4	50,4	60,8	57,8	54,8
Sobrepressão interna	+0,8	43	50	40	49	46	44
Sucção interna	-0,9	48	56	45	55	52	49

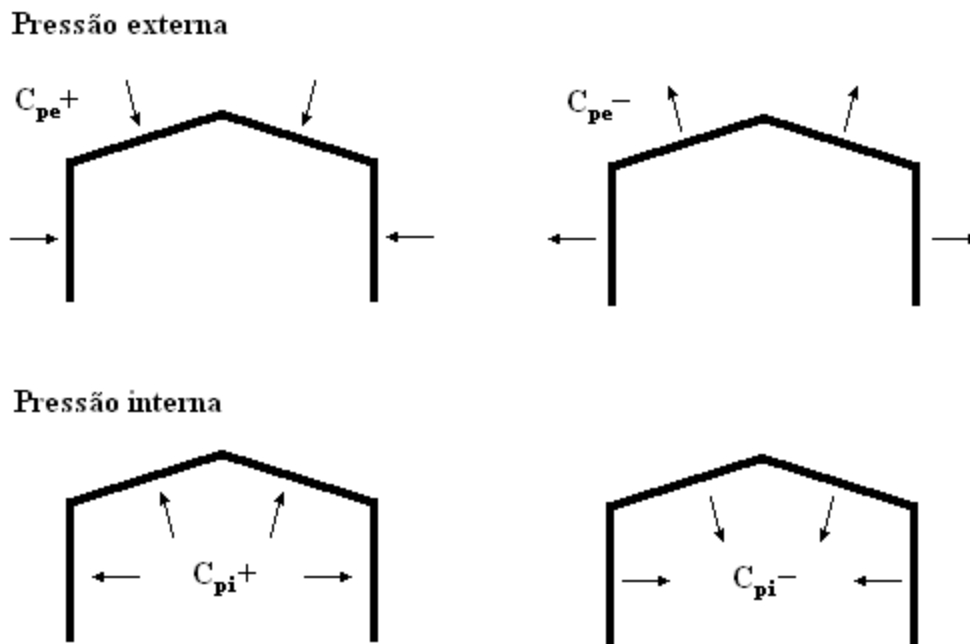


Figura 3.9 - Sentidos dos sinais dos coeficientes de pressão

3.5.3.5 Coeficientes de pressão para coberturas isoladas

A hipótese de cobertura isolada segue um procedimento diferente, do descrito nos itens 6.1 e 6.2 da NBR 6123 (1988), para determinação das ações dos ventos. Para as coberturas isoladas de duas águas a norma apresenta, no item 8.2, a formulação da Tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Formulação para obtenção dos coeficientes de pressão para coberturas isoladas

Coeficiente de pressão para telhado duas águas		
Coeficientes	0,07 ≤ tgθ ≤ 0,4	
	1º Carregamento	2º Carregamento
C _{pb}	2,4.tgθ + 0,6	0,6.tgθ - 0,74
C _{ps}	3,0.tgθ - 0,5	-1,0
C _{pb} = coeficiente de pressão a barlavento C _{bs} = coeficiente de pressão a sotavento		

Para os modelos considerados, com inclinação de 15°, tem-se os valores da Tabela

3.13.

Tabela 3.13 - Coeficientes de pressão para coberturas isoladas

Coeficientes	0,07 ≤ tg15° ≤ 0,4	
	1° Carregamento	2° Carregamento
C _{pb}	+1,2	-0,6
C _{ps}	+0,3	-1,0

Tabela 3.14 - Ação dos ventos em coberturas isoladas

C _e		Ação característica do vento (daN/m ²)					
		53,3	62,4	50,4	60,8	57,8	54,8
1° carregamento	1,2	64	75	61	73	69	66
	0,3	16	19	15	18	17	16
2° carregamento	0,6	32	37	30	37	35	33
	1,0	53	62	50	61	58	55

3.5.3.6 Carregamentos e combinações

Para analisar todas as hipóteses de atuação das ações, foram criados oito carregamentos e nove combinações. As combinações representam as possíveis formas de atuação de vento, a primeira sendo em sua ausência e as demais alternando as diferentes hipóteses de vedação do galpão.

As combinações seguem os procedimentos do item 5.7 *Combinações de ações em estados limites últimos* da NBR 7190 (1997) para combinações últimas normais. Como é considerada apenas uma ação variável, o vento, todos os valores das ações são multiplicados por 1,4 adotando a Expressão 3.3:

$$F_d = \sum \gamma_{Gi} \cdot F_{Gi,k} + \gamma_Q \cdot [F_{Q1,k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{Qj,k}] \quad (3.3)$$

Onde:

F_d = força de cálculo

γ_{Gi} = coeficiente majorador das ações permanentes

$F_{Gi,k}$ = forças permanentes características

γ_Q = coeficiente de majoração das ações variáveis

$F_{Q1,k}$ = força variável principal característica

ψ_0 = coeficiente minorador de simultaneidade de ações variáveis

$F_{Qj,k}$ = forças variáveis características

A seguir são listados os carregamentos e combinações.

Carregamentos:

Cg1 = Peso próprio

Cg2 = Telhas

Cg3 = Vento a 0° externo

Cg4 = Vento a 90° externo

Cg5 = Vento sobrepressão interna

Cg6 = Vento sucção interna

Cg7 = Vento sobrepressão em cobertura isolada

Cg8 = Vento sucção em cobertura isolada

Combinações:

$$\text{Comb1} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2})$$

$$\text{Comb2} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg3})$$

$$\text{Comb3} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg4})$$

$$\text{Comb4} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg3} + \text{Cg5})$$

$$\text{Comb5} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg3} + \text{Cg6})$$

$$\text{Comb6} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg4} + \text{Cg5})$$

$$\text{Comb7} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg4} + \text{Cg6})$$

$$\text{Comb8} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg7})$$

$$\text{Comb9} = 1,4 \times (\text{Cg1} + \text{Cg2} + \text{Cg8})$$

3.6 Disposição do contraventamento

O contraventamento segue a recomendação da NBR 7190 (1997) de um para cada três vãos entre treliças. Nos modelos foi adotada a configuração com menor número de vãos contraventados e, sempre que possível, simetricamente para cada metade ao longo do comprimento do galpão.

Ao longo das treliças os nós contraventados foram dispostos de duas formas para cada modelo tridimensional:

- todos os nós contraventados
- um a cada dois nós contraventado

A Figura 3.2 apresenta um exemplo de contraventamento disposto de forma simétrica ao longo do comprimento, em um a cada três vãos entre treliças, e com um a cada dois nós da treliça contraventado. A Figura 3.5 mostra um modelo com todos os nós contraventados.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo descreve inicialmente os métodos de obtenção dos resultados dos modelos numéricos computacionais. Em seguida são apresentados os resultados obtidos pelos métodos simplificados e pela modelagem numérica. Os métodos simplificados são os métodos que se utilizam apenas da análise plana da treliça e obtém as forças nos contraventamentos a partir da força axial máxima no banzo comprimido e do número de treliças contraventadas.

Os resultados analisados nos modelos numéricos foram:

- deslocamentos: para determinação das seções das barras utilizadas;
- forças axiais nas treliças;
- forças axiais nas barras de contraventamento.

4.1 Obtenção dos resultados

4.1.1 Métodos simplificados

Os métodos simplificados são os propostos pelos documentos normativos e por UNDERWOOD (2000), como estudados no Capítulo 2. Foram adotados quatro métodos, a seguir são mostrados os métodos e a correspondente formulação adotada:

1) NBR 7190 (1997):

$$F_{1d} = \frac{N_d}{150} \quad \text{e} \quad F_d = \frac{2}{3} n \cdot F_{1d}$$

Onde:

N_d = força máxima na barra contraventada

n = número de treliças contraventadas

2) EUROCODE 5:

$$F_{1d} = \frac{N_d}{50} \quad \text{e} \quad F_d = n \cdot F_{1d}$$

3) UNDERWOOD (2000):

$$F_{1d} = \frac{N_d}{32} \quad \text{e} \quad F_d = n \cdot F_{1d}$$

4) SABS 0163:

$$P_L = \frac{0,10 \cdot P_A}{(N + 1)} \quad \text{e} \quad C_{PLN} = P_L \cdot n^{0,7}$$

Onde:

P_L = força em cada elemento de contraventamento lateral

P_A = força axial máxima na treliça devido à carga permanente

N = número de restrições ao longo da treliça

n = número de treliças contraventadas

O valor de N no método SABS foi adotado para o caso de menor número de restrições laterais, no caso de um a cada dois nós contraventado. Sendo, assim, $N = 3$ para as treliças de 12 metros, $N = 5$ para as treliças de 18 metros e $N = 7$ para as treliças de 24 metros.

4.1.2 Modelos numéricos tridimensionais

Os deslocamentos foram avaliados por uma combinação ELS – Estado Limite de Serviço – que aplica os carregamentos do peso próprio e das telhas. A Figura 4.1 e a Figura 4.2 mostram os deslocamentos e as posições deformadas da tesoura e do galpão de doze metros de vão e telhas de fibrocimento, obtidos no STRAP.

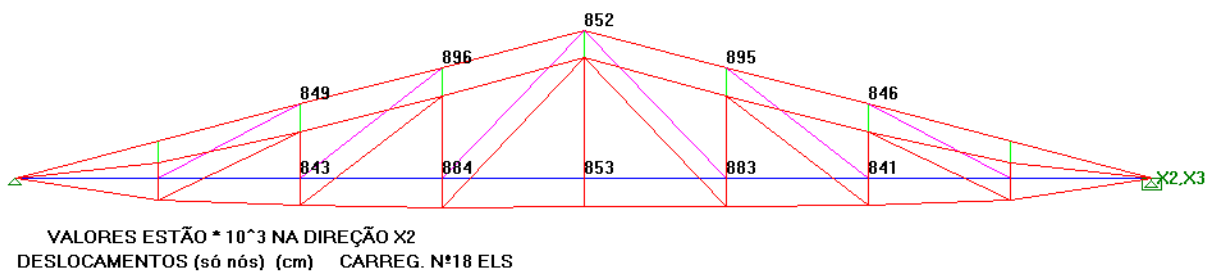


Figura 4.1 - Deslocamentos e deformada da Treliça 01 Pratt C50 (STRAP)

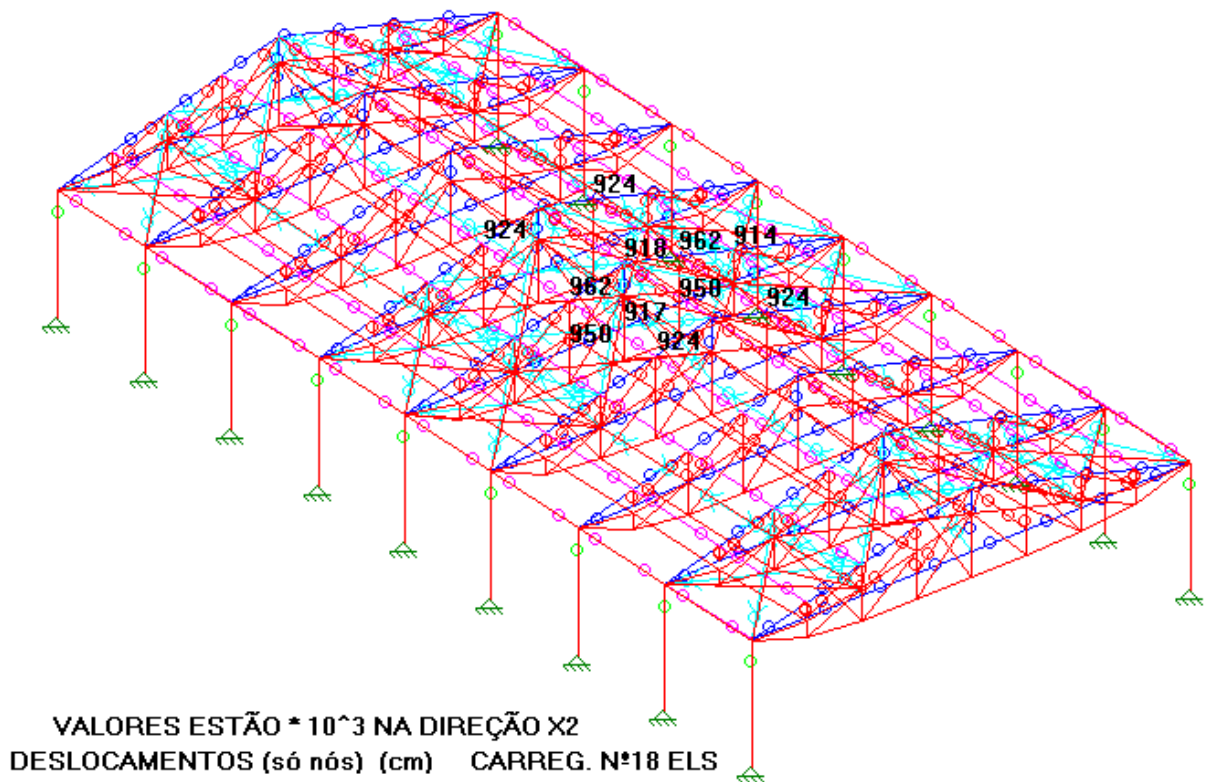


Figura 4.2 - Deslocamentos e deformada do Galpão 01 Pratt C50

As forças axiais nas barras são determinadas pela envoltória dos carregamentos, em que cada barra apresenta o valor máximo resultante das combinações determinadas. Os resultados podem ser exibidos das seguintes formas: escritos ao lado de cada barra; exibindo o diagrama de cada barra; como relatório especificando os valores máximos e mínimos e as respectivas combinações; como relatório com os diagramas de cada barra.

A Figura 4.3 mostra valores máximos e mínimos de forças axiais escritos nas barras de pilares, nas de extremidades dos banzos superiores e a tração máxima nas barras de contraventamento vertical (em azul claro). Os valores positivos são de compressão e os negativos de tração.

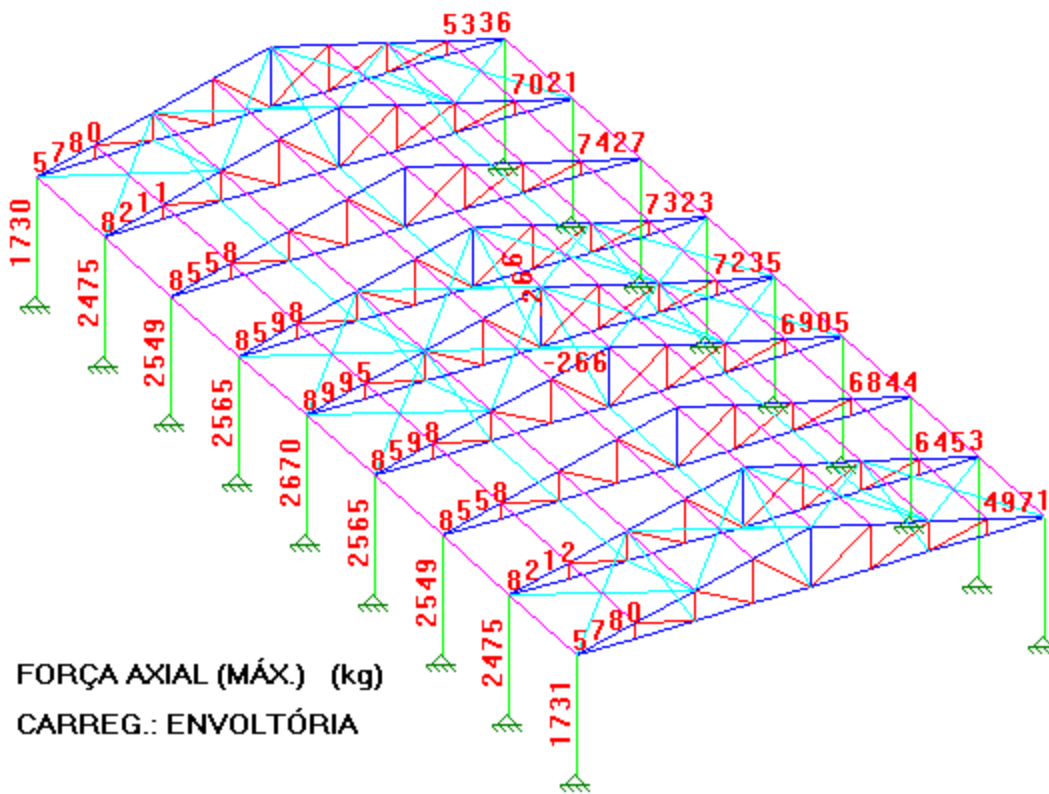


Figura 4.3 - Forças axiais máximas do Galpão 01

4.2 Resultados das treliças planas

As treliças são divididas de acordo com o tipo de treliça (Howe ou Pratt), a classe de madeira adotada (C30 ou C50), e o tipo de telha (fibrocimento, metálica ou cerâmica).

4.2.1 Treliças HOWE C50 telha fibrocimento

Tabela 4.1 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (HOWE C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	92,0	156,1	161,3	155,3	197,8	232,5	240,0	249,5	300,0	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
F_d (kN)	F _{1d}	0,5	0,6	0,6	1,0	1,1	1,0	1,3	1,5	1,6	1,7	2,0
	n 7	2,6	2,7	2,9	4,9	5,0	4,8	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	9,7	-	-	-	14,7
	n 15	5,5	5,7	6,1	10,4	10,8	10,4	-	15,5	16,0	16,6	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,7
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	33,1	34,4	-
MÉTODO EUROCODE 5												
F_d (kN)	F _{1d}	1,6	1,7	1,8	3,1	3,2	3,1	4,0	4,6	4,8	5,0	6,0
	n 7	7,7	8,0	8,6	14,6	15,1	14,5	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	29,0	-	-	-	44,0
	n 15	16,5	17,2	18,4	31,2	32,3	31,1	-	46,5	48,0	49,9	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,0
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	96,1	99,2	103,1	-
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
F_d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,9	4,9	5,0	4,9	6,2	7,3	7,5	7,8	9,4
	n 7	12,0	12,5	13,4	22,8	23,5	22,6	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	45,3	-	-	-	68,7
	n 15	25,7	26,8	28,8	48,8	50,4	48,5	-	72,7	75,0	78,0	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143,7
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	150,1	155,0	161,1	-
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	39,3			77,0			85,8	134,3			146,3	
F_d (kN)	F _{1d}	1,0			1,3			1,4	1,7			1,8
	n 7	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0	6,0	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	10,5	-	-	-	13,4
	n 15	9,8	12,8	9,8	12,8	12,8	12,8	-	16,8	16,8	16,8	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,0
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	34,7	34,7	34,7	-

4.2.2 Treliças HOWE C30 telha fibrocimento

Tabela 4.2 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (HOWE C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,8	155,6	161,1	168,0	207,1	237,0	244,5	254,0	304,4	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
F _d (kN)	F _{1d}	0,6	0,6	0,6	1,0	1,1	1,1	1,4	1,6	1,6	1,7	2,0
	n 7	2,6	2,7	2,8	4,8	5,0	5,2	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	10,1	-	-	-	14,9
	n 15	5,5	5,8	6,1	10,4	10,7	11,2	-	15,8	16,3	16,9	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,1
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	32,7	33,7	35,0	-
MÉTODO EUROCODE 5												
F _d (kN)	F _{1d}	1,7	1,7	1,8	3,1	3,2	3,4	4,1	4,7	4,9	5,1	6,1
	n 7	7,7	8,1	8,5	14,5	15,0	15,7	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	30,4	-	-	-	44,6
	n 15	16,6	17,3	18,2	31,1	32,2	33,6	-	47,4	48,9	50,8	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93,3
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	98,0	101,1	105,0	-
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
F _d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,8	4,9	5,0	5,3	6,5	7,4	7,6	7,9	9,5
	n 7	12,1	12,6	13,2	22,7	23,5	24,5	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	47,5	-	-	-	69,8
	n 15	25,9	27,0	28,4	48,6	50,3	52,5	-	74,1	76,4	79,4	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	145,9
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	153,1	157,9	164,0	-
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	38,1			84,1			95,2	138,8			150,8	
F _d (kN)	F _{1d}	1,0			1,4			1,6	1,7			1,9
	n 7	4,4	4,4	4,4	6,5	6,5	6,5	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	11,6	-	-	-	13,8
	n 15	9,5	14,0	9,5	14,0	14,0	14,0	-	17,4	17,4	17,4	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,9
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	35,9	35,9	35,9	-

4.2.3 Treliças PRATT C50 telha fibrocimento

Tabela 4.3 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	82,2	157,3	161,6	162,6	198,2	233,4	240,0	250,4	300,9	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
F_d (kN)	F _{1d}	0,5	0,6	0,5	1,0	1,1	1,1	1,3	1,6	1,6	1,7	2,0
	n 7	2,6	2,7	2,6	4,9	5,0	5,1	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	9,7	-	-	-	14,7
	n 15	5,5	5,7	5,5	10,5	10,8	10,8	-	15,6	16,0	16,7	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	32,2	33,1	34,5	-
MÉTODO EUROCODE 5												
F_d (kN)	F _{1d}	1,6	1,7	1,6	3,1	3,2	3,3	4,0	4,7	4,8	5,0	6,0
	n 7	7,7	8,0	7,7	14,7	15,1	15,2	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	29,1	-	-	-	44,1
	n 15	16,5	17,2	16,4	31,5	32,3	32,5	-	46,7	48,0	50,1	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,3
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	96,5	99,2	103,5	-
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
F_d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,6	4,9	5,1	5,1	6,2	7,3	7,5	7,8	9,4
	n 7	12,0	12,5	12,0	22,9	23,6	23,7	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	45,4	-	-	-	69,0
	n 15	25,8	26,8	25,7	49,2	50,5	50,8	-	72,9	75,0	78,3	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	144,2
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	150,7	155,0	161,7	-
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	39,5			77,4			86,2	135,2			147,3	
F_d (kN)	F _{1d}	1,0			1,3			1,4	1,7			1,8
	n 7	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0	6,0	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	10,5	-	-	-	13,5
	n 15	9,9	12,9	9,9	12,9	12,9	12,9	-	16,9	16,9	16,9	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,2
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	34,9	34,9	34,9	-

4.2.4 Treliças PRATT C30 telha fibrocimento

Tabela 4.4 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,9	155,9	161,1	168,3	205,2	238,8	244,5	254,7	305,2	305,2
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
F _d (kN)	F _{1d}	0,6	0,6	0,6	1,0	1,1	1,1	1,4	1,6	1,6	1,7	2,0
	n 7	2,6	2,7	2,8	4,9	5,0	5,2	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	10,0	-	-	-	14,9
	n 15	5,5	5,8	6,1	10,4	10,7	11,2	-	15,9	16,3	17,0	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,2
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	32,9	33,7	35,1	-
MÉTODO EUROCODE 5												
F _d (kN)	F _{1d}	1,7	1,7	1,8	3,1	3,2	3,4	4,1	4,8	4,9	5,1	6,1
	n 7	7,7	8,1	8,5	14,6	15,0	15,7	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	30,1	-	-	-	44,8
	n 15	16,6	17,3	18,2	31,2	32,2	33,7	-	47,8	48,9	50,9	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93,6
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	98,7	101,1	105,3	-
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
F _d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,8	4,9	5,0	5,3	6,4	7,5	7,6	8,0	9,5
	n 7	12,1	12,6	13,3	22,7	23,5	24,5	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	47,0	-	-	-	69,9
	n 15	25,9	27,0	28,4	48,7	50,3	52,6	-	74,6	76,4	79,6	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146,2
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	154,2	157,9	164,5	-
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	38,2			84,4			93,2	139,2			151,6	
F _d (kN)	F _{1d}	1,0			1,4			1,6	1,7			1,9
	n 7	4,5	4,5	4,5	6,6	6,6	6,6	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	11,4	-	-	-	13,9
	n 15	9,6	14,1	9,6	14,1	14,1	14,1	-	17,4	17,4	17,4	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,1
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	36,0	36,0	36,0	-

4.2.5 Treliças PRATT C50 telha metálica

Tabela 4.5 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C50 telha metálica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
Compressão _{máx} (kN)	65,9	68,3	74,0	116,8	120,7	126,5	160,3	185,3	190,8	202,5	244,6	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
F _d (kN)	F _{1d}	0,4	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
	n 7	2,1	2,1	2,3	3,6	3,8	3,9	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	7,8	-	-	-	12,0
	n 15	4,4	4,6	4,9	7,8	8,0	8,4	-	12,4	12,7	13,5	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	25,5	26,3	27,9	-
MÉTODO EUROCODE 5												
F _d (kN)	F _{1d}	1,3	1,4	1,5	2,3	2,4	2,5	3,2	3,7	3,8	4,1	4,9
	n 7	6,2	6,4	6,9	10,9	11,3	11,8	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	23,5	-	-	-	35,9
	n 15	13,2	13,7	14,8	23,4	24,1	25,3	-	37,1	38,2	40,5	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75,0
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	76,6	78,9	83,7	-
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
F _d (kN)	F _{1d}	2,1	2,1	2,3	3,7	3,8	4,0	5,0	5,8	6,0	6,3	7,6
	n 7	9,6	10,0	10,8	17,0	17,6	18,4	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	36,7	-	-	-	56,1
	n 15	20,6	21,3	23,1	36,5	37,7	39,5	-	57,9	59,6	63,3	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117,2
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	119,7	123,2	130,8	-
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	20,1			41,3			46,7	86,0			89,4	
F _d (kN)	F _{1d}	0,5			0,7			0,8	1,1			1,1
	n 7	2,3	2,3	2,3	3,2	3,2	3,2	-	-	-	-	-
	n 11	-	-	-	-	-	-	5,7	-	-	-	8,2
	n 15	5,0	6,9	5,0	6,9	6,9	6,9	-	10,8	10,8	10,8	-
	n 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,1
	n 31	-	-	-	-	-	-	-	22,2	22,2	22,2	-

4.2.6 Trelças PRATT C50 telha cerâmica

Tabela 4.6 - Forças nos contraventamentos segundo os métodos simplificados (PRATT C50 cerâmica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS							
L (vão)	12	12	12	18	18	18	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	
e (dist. entre trelças)	3	3	3	3	3	3	
Compressão _{máx} (kN)	155,2	157,6	163,5	278,1	282,0	287,7	
MÉTODO NBR 7190 (1997)							
F_d (kN)	F _{1d}	1,0	1,1	1,1	1,9	1,9	1,9
	n 7	4,8	4,9	5,1	8,7	8,8	9,0
	n 15	10,3	10,5	10,9	18,5	18,8	19,2
MÉTODO EUROCODE 5							
F_d (kN)	F _{1d}	3,1	3,2	3,3	5,6	5,6	5,8
	n 7	14,5	14,7	15,3	26,0	26,3	26,9
	n 15	31,0	31,5	32,7	55,6	56,4	57,5
MÉTODO UNDERWOOD (2000)							
F_d (kN)	F _{1d}	4,9	4,9	5,1	8,7	8,8	9,0
	n 7	22,6	23,0	23,8	40,6	41,1	42,0
	n 15	48,5	49,3	51,1	86,9	88,1	89,9
MÉTODO SABS 0163							
Compressão _{perm} (kN)	109,5			202,5			
F_d (kN)	F _{1d}	2,7			3,4		
	n 7	12,8	12,8	12,8	15,8	15,8	15,8
	n 15	27,4	33,8	27,4	33,8	33,8	33,8

4.3 Resultados dos modelos tridimensionais

Os resultados dos modelos numéricos tridimensionais são divididos segundo os parâmetros adotados: tipo de treliça (Howe ou Pratt), classe de madeira (C30 ou C50), tipo de telha (fibrocimento, metálica ou cerâmica) e material do contraventamento (aço ou madeira).

4.3.1 Modelos com contraventamento de cabos

A seguir são mostrados os resultados dos modelos com barras de contraventamentos parametrizados com propriedades de cabos ($E=195.000$ MPa), resistentes apenas à tração.

As tabelas a seguir exibem os valores das forças axiais máximas nos banzos e no contraventamento constituído pelos cabos e terças. São mostrados os resultados dos modelos com todos os nós contraventados e dos modelos com um a cada dois nós contraventado.

Foram tomados os esforços máximos de compressão nos banzos e nas terças, e os máximos de tração nos cabos.

4.3.1.1 Modelos HOWE C50 telha fibrocimento

Tabela 4.7 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (HOWE C50)

FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)						
Galpão	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)
1	92,3	12,4	8,4	90,0	12,3	8,5
2	95,9	16,3	10,6	93,5	16,3	10,7
3	100,4	23,5	15,0	98,0	23,5	14,4
4	92,2	12,8	8,6	89,8	12,7	8,8
5	95,8	16,9	11,8	93,5	16,8	11,1
6	92,5	24,0	15,6	90,1	23,9	15,5
7	149,7	12,8	17,6	146,1	16,1	22,7
8	155,3	13,2	24,3	151,7	16,7	32,4
9	162,4	15,4	34,8	158,8	17,5	43,7
10	148,2	13,1	19,4	146,0	14,8	23,2
11	153,8	13,6	24,2	151,7	15,4	32,0
12	160,9	17,0	37,8	158,8	16,9	46,1
13	209,2	19,0	38,0	208,3	19,1	44,8
14	238,1	33,2	29,6	234,5	32,7	30,7
15	245,6	35,8	43,5	242,2	43,1	38,2
16	254,0	60,0	53,3	250,7	59,8	56,9
17	307,3	59,3	53,2	304,4	59,2	56,4
18	230,6	11,2	35,9	204,0	31,4	27,5
19	244,0	33,6	40,8	238,5	35,5	40,4
20	236,4	59,6	51,9	231,0	31,4	27,5
21	293,4	59,2	51,5	291,1	58,9	55,3

Observação: valores em módulo.

4.3.1.2 Modelos HOWE C30 telha fibrocimento

Tabela 4.8 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (HOWE C30)

FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)						
Galpão	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)
1	88,2	12,4	9,4	85,9	12,4	10,1
2	91,7	16,3	12,0	89,4	16,3	12,5
3	96,2	23,5	16,9	93,9	23,5	16,9
4	88,1	12,8	9,6	85,9	12,7	10,2
5	91,7	16,9	12,3	89,5	16,8	12,8
6	91,6	23,8	17,2	92,4	23,8	17,6
7	156,8	9,7	17,7	157,5	16,7	19,9
8	166,7	14,2	25,3	163,2	17,4	29,9
9	173,8	17,1	36,4	170,3	18,2	41,9
10	159,0	14,7	20,1	157,3	15,7	22,0
11	164,7	15,2	25,3	163,0	16,3	29,5
12	171,7	18,7	39,6	170,1	17,0	44,4
13	214,3	19,9	38,9	213,8	18,7	44,6
14	241,2	33,2	30,7	236,5	32,7	32,9
15	248,6	43,5	37,1	244,2	43,2	40,7
16	257,0	60,0	55,3	252,8	59,8	60,5
17	314,9	59,3	54,8	312,1	59,2	59,3
18	239,6	31,9	29,6	234,2	31,4	29,6
19	247,2	40,9	34,8	241,5	40,4	37,9
20	239,6	59,6	53,8	234,2	59,3	60,0
21	295,2	59,2	52,9	292,9	59,0	57,6

4.3.1.3 Modelos PRATT C50 telha fibrocimento

Tabela 4.9 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50)

FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)						
Galpão	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)
1	94,0	12,4	8,1	91,3	12,3	8,4
2	97,7	16,3	10,4	95,1	16,3	10,6
3	102,3	23,5	14,7	99,7	23,5	14,4
4	93,8	12,8	8,5	91,2	12,7	8,7
5	97,5	16,9	10,9	94,9	16,8	11,1
6	94,2	24,0	15,6	91,6	23,9	15,4
7	152,5	8,3	17,1	148,9	9,7	23,0
8	158,2	11,0	24,0	154,6	12,4	32,8
9	165,4	15,4	33,9	161,8	15,4	44,0
10	153,0	8,9	18,9	150,0	11,9	23,6
11	158,8	12,1	23,9	155,8	13,7	32,6
12	166,1	17,0	37,1	163,2	17,0	46,5
13	216,6	18,5	37,5	212,3	16,7	45,1
14	246,0	33,3	29,1	242,3	32,8	29,7
15	254,0	43,5	35,3	250,4	43,2	37,1
16	263,2	60,0	52,8	259,5	59,8	55,8
17	318,1	59,3	52,8	313,3	59,2	56,1
18	243,2	32,1	26,4	238,9	31,6	26,6
19	251,3	41,0	33,0	247,0	40,6	34,5
20	243,2	59,6	51,5	238,9	59,4	55,8
21	296,4	59,2	51,1	316,3	59,0	55,4

4.3.1.4 Modelos PRATT C30 telha fibrocimento

Tabela 4.10 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C30)

FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)						
Galpão	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)
1	89,8	12,4	9,3	87,3	12,3	10,0
2	93,5	16,3	11,8	91,0	16,3	12,5
3	98,1	23,5	16,5	95,6	23,5	16,9
4	89,8	12,8	9,5	87,3	12,7	10,2
5	93,5	16,9	12,1	91,0	16,8	12,8
6	97,9	23,8	16,6	92,2	23,7	17,6
7	164,6	8,4	17,7	161,1	8,3	19,9
8	170,4	11,0	24,8	166,9	11,0	30,2
9	177,7	16,1	35,7	174,1	15,4	42,3
10	165,1	9,4	19,7	162,0	8,9	21,2
11	170,9	12,1	24,9	167,9	12,0	29,7
12	180,5	18,4	39,3	175,3	17,0	44,7
13	224,4	19,7	38,7	220,0	16,5	44,6
14	248,9	33,4	30,3	245,1	32,9	31,9
15	256,9	43,6	36,6	253,1	43,3	39,6
16	266,2	60,0	54,8	262,4	59,9	59,4
17	324,9	59,4	54,4	320,1	59,3	58,5
18	245,7	32,2	27,6	241,4	31,7	28,6
19	253,8	41,1	34,3	249,3	40,6	36,4
20	245,7	59,7	53,3	241,4	59,4	59,3
21	298,4	59,2	52,5	294,9	59,0	57,2

4.3.1.5 Modelos PRATT C50 telha metálica

Tabela 4.11 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50 metálica)

FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)						
Galpão	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)
1	71,0	12,4	10,0	68,6	12,4	14,9
2	75,9	16,3	12,2	72,2	16,3	17,3
3	80,4	23,5	16,3	78,1	23,5	20,6
4	72,2	12,7	10,1	70,2	12,7	14,7
5	75,9	16,8	12,5	73,9	16,8	17,2
6	105,7	23,9	17,0	100,1	23,9	20,9
7	121,0	9,0	18,0	117,3	13,0	26,8
8	126,7	11,3	24,9	123,1	15,7	36,4
9	134,0	15,4	34,8	130,2	18,4	47,6
10	121,0	9,5	19,6	118,0	16,2	27,4
11	126,8	12,0	24,7	123,8	18,0	36,2
12	134,1	17,0	37,2	131,1	20,8	49,9
13	171,4	18,8	37,8	167,2	19,1	47,6
14	195,0	33,2	28,8	191,1	32,7	31,4
15	202,9	34,8	43,5	199,0	43,1	38,6
16	212,7	60,0	51,5	208,8	59,8	61,6
17	258,4	59,3	52,5	253,3	59,2	63,6
18	192,1	32,0	26,2	187,8	31,4	27,7
19	200,1	40,9	32,7	195,8	40,4	35,4
20	192,1	59,6	50,6	187,8	59,3	60,5
21	237,6	59,2	51,4	235,3	58,8	61,4

4.3.1.6 Modelos PRATT C50 telha cerâmica

Tabela 4.12 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50 cerâmica)

FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)						
Galpão	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (tração)
1	167,6	12,4	6,5	165,1	12,4	5,5
2	167,5	16,3	8,8	164,9	16,3	7,0
3	175,9	23,5	13,2	173,4	23,5	11,0
4	167,7	12,7	7,2	164,5	12,7	6,2
5	171,4	16,8	9,7	168,2	16,8	8,6
6	176,0	24,0	14,2	172,7	23,9	12,4
7	288,1	11,7	16,5	285,1	13,9	15,6
8	293,9	11,9	23,7	290,9	14,3	23,9
9	301,2	15,9	34,6	298,2	15,4	36,4
10	290,3	9,1	18,4	287,5	10,4	19,1
11	296,2	12,1	24,2	293,4	12,0	25,9
12	303,6	18,2	38,3	300,8	17,0	41,7

4.3.2 Modelo com contraventamento de madeira

Para o modelo com contraventamento de madeira foram tomados apenas os esforços de compressão.

4.3.2.1 Modelos PRATT C50 telha fibrocimento

Tabela 4.13 - Forças axiais máximas no banzo e no contraventamento (PRATT C50)

Galpão	FORÇA AXIAL MÁXIMA (kN)					
	Todos os nós contraventados			Um cada dois nós contraventado		
	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (compr.)	BANZO (compr.)	TERÇA (compr.)	CONTR. (compr.)
1	100,2	5,5	8,3	88,4	7,5	12,8
2	103,6	7,4	10,1	91,8	8,9	13,3
3	107,9	11,4	13,7	96,4	12,6	15,8
4	101,0	5,1	8,6	88,5	6,6	12,4
5	104,5	7,2	10,9	92,0	8,6	13,5
6	101,4	11,4	14,3	88,9	12,9	16,1
7	157,3	5,2	4,9	144,0	6,6	12,5
8	162,8	7,0	5,0	149,6	8,3	12,9
9	169,7	10,1	6,3	156,6	11,8	13,4
10	164,2	4,8	6,4	145,3	7,0	17,0
11	169,9	6,1	7,0	150,9	8,6	17,4
12	177,1	9,0	9,2	157,9	11,3	18,0
13	233,8	8,7	8,5	212,7	10,2	13,7
14	263,5	16,3	20,5	239,4	17,5	24,2
15	271,3	21,2	25,7	247,0	23,7	29,3
16	280,2	29,6	34,2	255,8	29,3	37,3
17	343,2	28,8	33,2	313,3	35,7	30,3
18	261,0	15,5	20,6	235,4	16,7	24,3
19	269,0	19,6	25,1	243,4	21,8	28,8
20	261,1	28,7	35,0	236,1	33,2	38,5
21	322,0	27,6	34,1	321,4	30,5	36,9

4.4 Considerações sobre os resultados

Os valores considerados na análise dos resultados são os máximos – em negrito – entre os modelos com todos os nós contraventados e um a cada dois nós contraventado. Para os valores obtidos, em maioria, os esforços máximos nos banzos e nas terças foram dos modelos com todos os nós contraventados, e nas barras de contraventamento foram dos modelos com um a cada dois nós contraventados.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nas tabelas a seguir são apresentados os resultados obtidos nos métodos simplificados estudados e os obtidos nos modelos tridimensionais.

As tabelas apresentam os valores das forças máximas no contraventamento obtidas para cada método, em seguida apresentam um comparativo entre os dois métodos dado pela relação método simplificado sobre modelo tridimensional. São mostrados os valores de compressão máxima nos banzos e os valores de compressão máxima nos elementos constituintes do contraventamento, que para o caso de compressão são as terças ou elementos do contraventamento de madeira. As geometrias são divididas segundo o vão da treliça, a altura do pilar, o espaçamento entre treliças e o número de treliças paralelas contraventadas, representado pelo valor n .

A Figura 5.1 indica a natureza dos valores expostos nas tabelas.

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS											
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4
MÉTODO DE ESTIMATIVA											
Compressão _{máx} (kN)		VALORES MÁXIMOS DE COMPRESSÃO NOS BANZOS DOS MODELOS DE TERLIÇA PLANA									
F _d (kN)	F _{1d}	VALORES MÁXIMOS DAS FORÇAS TRANSVERSAIS EM CADA NÓ CONTRAVENTADO									
	n = 7										
	n = 11										
	n = 15	VALORES MÁXIMOS DAS FORÇAS TRANSVERSAIS ATUANTES NO CONTRAVENTAMENTO									
	n = 23										
n = 31											
MODELOS NUMÉRICOS											
Compressão _{máx} (kN)		VALORES MÁXIMOS DE COMPRESSÃO NOS BANZOS DOS MODELOS TRIDIMENSIONAIS									
N _{dt} (kN) Terças	n = 7										
	n = 11										
	n = 15	VALORES MÁXIMOS DAS FORÇAS ATUANTES NO CONTRAVENTAMENTO									
	n = 23										
	n = 31										
COMPARATIVO Galpão/Treliça											
Compressão _{máx} (kN)											
N _{dt} /F _d	n = 7										
	n = 11										
	n = 15	COMPARATIVO MÉTODO DE ESTIMATIVA SOBRE MODELOS NUMÉRICOS									
	n = 23										
	n = 31										

Figura 5.1 - Exemplo explicativos das tabelas

Os gráficos são apresentados os valores das tabelas em dois formatos para cada método estudado. Um gráfico de linhas suavizadas e quatro gráficos de colunas.

5.1 Treliças HOWE C50

Tabela 5.1 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (HOWE C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	92,0	156,1	161,3	155,3	197,8	232,5	240,0	249,5	300,0	
F _d (kN)	F _{1d}	0,5	0,6	0,6	1,0	1,1	1,0	1,3	1,5	1,6	1,7	2,0
	n = 7	2,6	2,7	2,9	4,9	5,0	4,8	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	9,7	-	-	-	14,7
	n = 15	5,5	5,7	6,1	10,4	10,8	10,4	-	15,5	16,0	16,6	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,7
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	33,1	34,4	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	92,3	95,9	100,4	149,7	155,3	162,4	209,2	238,1	245,6	254,0	307,3	
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,1	16,7	17,5	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	14,8	15,4	17,0	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,4	35,5	59,6	-
	COMPARATIVO Galpão/Treliça											
Compressão _{máx} (kN)	1,12	1,12	1,09	0,96	0,96	1,05	1,06	1,02	1,02	1,02	1,02	
N _{d,t} /F _d	n = 7	4,83	6,11	8,22	3,31	3,33	3,62	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,97	-	-	-	4,04
	n = 15	2,32	2,95	3,91	1,42	1,43	1,64	-	2,14	2,69	3,60	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,93
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,98	1,07	1,73	-

Tabela 5.2 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (HOWE C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
MÉTODO EUROCODE 5												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	92,0	156,1	161,3	155,3	197,8	232,5	240,0	249,5	300,0	
F_d (kN)	F _{1d}	1,6	1,7	1,8	3,1	3,2	3,1	4,0	4,6	4,8	5,0	6,0
	n = 7	7,7	8,0	8,6	14,6	15,1	14,5	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	29,0	-	-	-	44,0
	n = 15	16,5	17,2	18,4	31,2	32,3	31,1	-	46,5	48,0	49,9	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,0
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	96,1	99,2	103,1	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	92,3	95,9	100,4	149,7	155,3	162,4	209,2	238,1	245,6	254,0	307,3	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,1	16,7	17,5	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	14,8	15,4	17,0	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,4	35,5	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,12	1,12	1,09	0,96	0,96	1,05	1,06	1,02	1,02	1,02	1,02	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,61	2,04	2,74	1,10	1,11	1,21	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,66	-	-	-	1,35
	n = 15	0,77	0,98	1,30	0,47	0,48	0,55	-	0,71	0,90	1,20	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,36	0,58	-

Tabela 5.3 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (HOWE C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	92,0	156,1	161,3	155,3	197,8	232,5	240,0	249,5	300,0	
F_d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,9	4,9	5,0	4,9	6,2	7,3	7,5	7,8	9,4
	n = 7	12,0	12,5	13,4	22,8	23,5	22,6	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	45,3	-	-	-	68,7
	n = 15	25,7	26,8	28,8	48,8	50,4	48,5	-	72,7	75,0	78,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143,7
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	150,1	155,0	161,1	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	92,3	95,9	100,4	149,7	155,3	162,4	209,2	238,1	245,6	254,0	307,3	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,1	16,7	17,5	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	14,8	15,4	17,0	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,4	35,5	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,12	1,12	1,09	0,96	0,96	1,05	1,06	1,02	1,02	1,02	1,02	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,03	1,30	1,75	0,71	0,71	0,77	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,42	-	-	-	0,86
	n = 15	0,50	0,63	0,83	0,30	0,31	0,35	-	0,46	0,57	0,77	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,23	0,37	-

Tabela 5.4 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (HOWE C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	39,3			77,0			85,8	134,3			146,3	
F_d (kN)	F _{1d}	1,0			1,3			1,4	1,7			1,8
	n = 7	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0	6,0	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	10,5	-	-	-	13,4
	n = 15	9,8	12,8	9,8	12,8	12,8	12,8	-	16,8	16,8	16,8	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,0
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	34,7	34,7	34,7	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	92,3	95,9	100,4	149,7	155,3	162,4	209,2	238,1	245,6	254,0	307,3	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,1	16,7	17,5	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	14,8	15,4	17,0	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,4	35,5	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
N_{d,t}/F_d	n = 7	2,70	3,56	5,13	2,68	2,79	2,92	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,82	-	-	-	4,42
	n = 15	1,30	1,32	2,44	1,15	1,20	1,32	-	1,98	2,57	3,57	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,11
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,90	1,02	1,72	-

Gráfico 1 - Linhas comparativas dos métodos (HOWE C50)

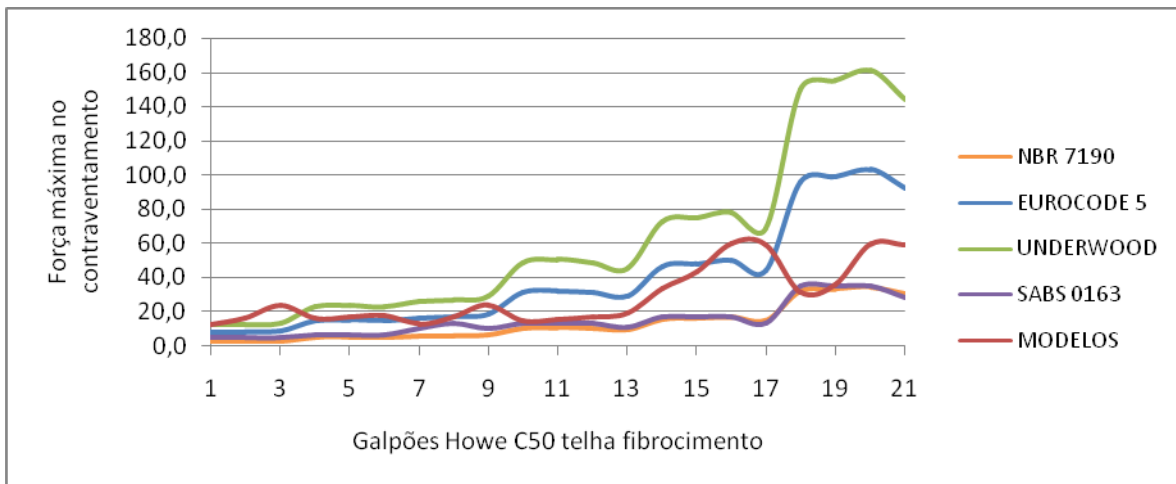


Gráfico 2 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (HOWE C50)

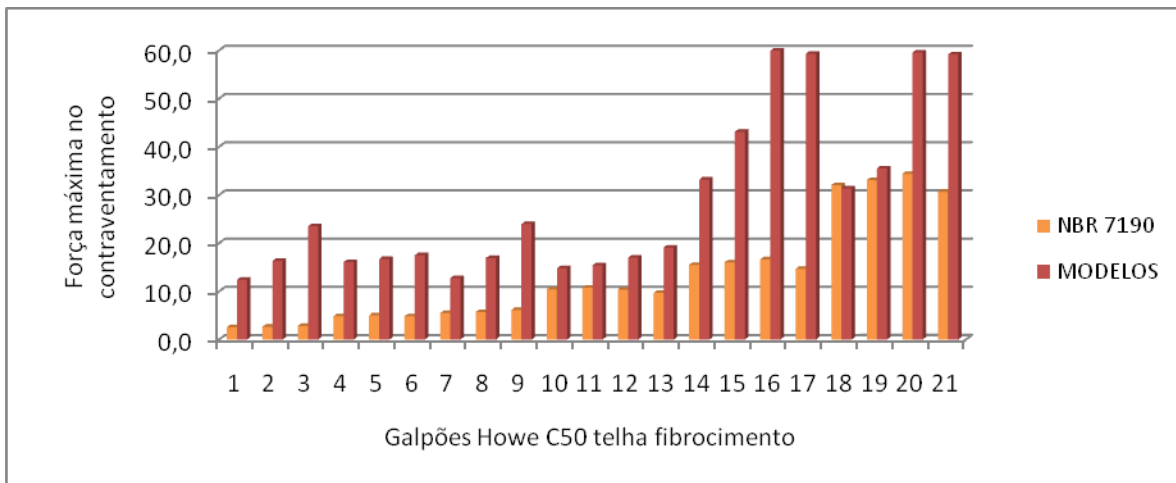


Gráfico 3 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (HOWE C50)

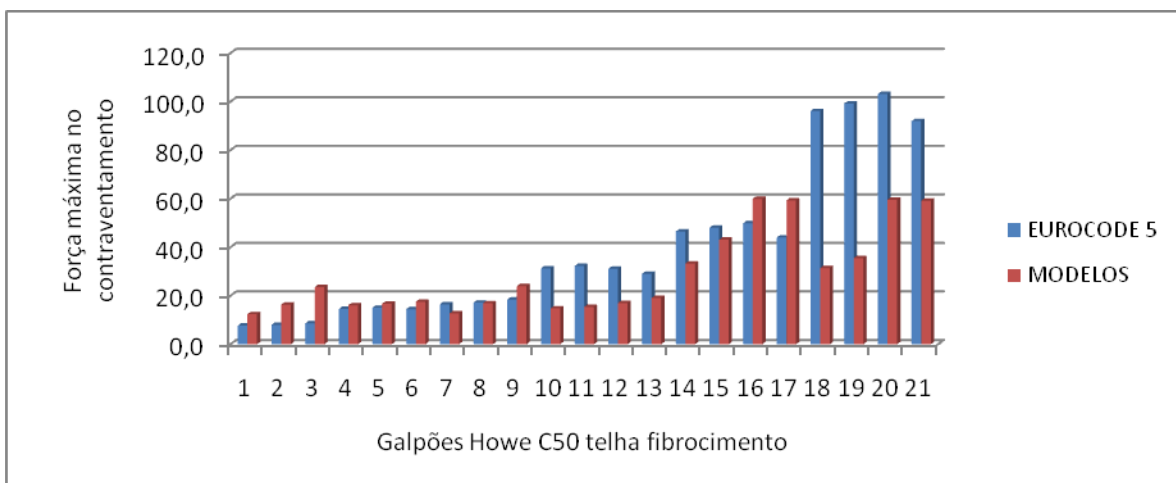


Gráfico 4 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (HOWE C50)

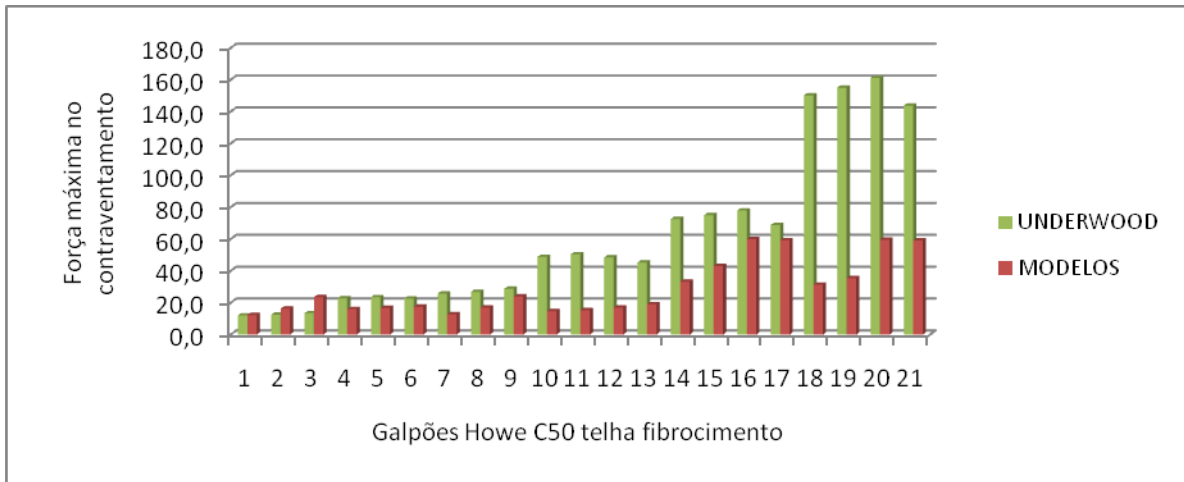
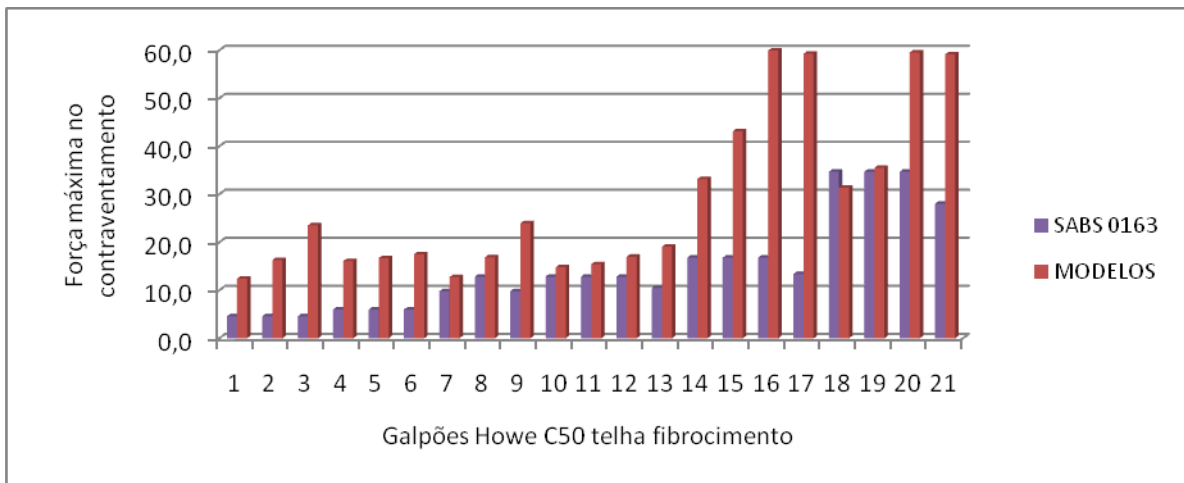


Gráfico 5 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (HOWE C50)



5.2 Treliças HOWE C30

Tabela 5.5 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (HOWE C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,8	155,6	161,1	168,0	207,1	237,0	244,5	254,0	304,4	
F _d (kN)	F _{ld}	0,6	0,6	0,6	1,0	1,1	1,1	1,4	1,6	1,6	1,7	2,0
	n = 7	2,6	2,7	2,8	4,8	5,0	5,2	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	10,1	-	-	-	14,9
	n = 15	5,5	5,8	6,1	10,4	10,7	11,2	-	15,8	16,3	16,9	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,1
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,7	33,7	35,0	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	88,2	91,7	96,2	159,0	166,7	173,8	214,3	241,2	248,6	257,0	314,9	
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,7	17,4	18,2	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,9	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	23,8	15,7	16,3	18,7	-	33,2	43,5	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,9	40,9	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,06	1,06	1,06	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	1,03	
N _{d,t} /F _d	n = 7	4,80	6,06	8,32	3,45	3,47	3,48	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,97	-	-	-	3,98
	n = 15	2,31	2,93	3,93	1,51	1,52	1,67	-	2,10	2,67	3,54	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,90
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,98	1,21	1,70	-

Tabela 5.6 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (HOWE C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
MÉTODO EUROCODE 5												
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,8	155,6	161,1	168,0	207,1	237,0	244,5	254,0	304,4	
F_d (kN)	F _{1d}	1,7	1,7	1,8	3,1	3,2	3,4	4,1	4,7	4,9	5,1	6,1
	n = 7	7,7	8,1	8,5	14,5	15,0	15,7	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	30,4	-	-	-	44,6
	n = 15	16,6	17,3	18,2	31,1	32,2	33,6	-	47,4	48,9	50,8	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93,3
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	98,0	101,1	105,0	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	88,2	91,7	96,2	159,0	166,7	173,8	214,3	241,2	248,6	257,0	314,9	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,7	17,4	18,2	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,9	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	23,8	15,7	16,3	18,7	-	33,2	43,5	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,9	40,9	59,6	-
	COMPARATIVO Galpão/Treliça											
Compressão _{máx} (kN)	1,06	1,06	1,06	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	1,03	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,60	2,02	2,77	1,15	1,16	1,16	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,66	-	-	-	1,33
	n = 15	0,77	0,98	1,31	0,50	0,51	0,56	-	0,70	0,89	1,18	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,40	0,57	-

Tabela 5.7 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (HOWE C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,8	155,6	161,1	168,0	207,1	237,0	244,5	254,0	304,4	
F_d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,8	4,9	5,0	5,3	6,5	7,4	7,6	7,9	9,5
	n = 7	12,1	12,6	13,2	22,7	23,5	24,5	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	47,5	-	-	-	69,8
	n = 15	25,9	27,0	28,4	48,6	50,3	52,5	-	74,1	76,4	79,4	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	145,9
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	153,1	157,9	164,0	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	88,2	91,7	96,2	159,0	166,7	173,8	214,3	241,2	248,6	257,0	314,9	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,7	17,4	18,2	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,9	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	23,8	15,7	16,3	18,7	-	33,2	43,5	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,9	40,9	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,06	1,06	1,06	1,02	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	1,03	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,02	1,29	1,77	0,74	0,74	0,74	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,42	-	-	-	0,85
	n = 15	0,49	0,63	0,84	0,32	0,32	0,36	-	0,45	0,57	0,76	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,26	0,36	-

Tabela 5.8 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (HOWE C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	38,1			84,1			95,2	138,8			150,8	
F_d (kN)	F _{ld}	1,0			1,4			1,6	1,7			1,9
	n = 7	4,4	4,4	4,4	6,5	6,5	6,5	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	11,6	-	-	13,8	
	n = 15	9,5	14,0	9,5	14,0	14,0	14,0	-	17,4	17,4	17,4	
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,9	
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	35,9	35,9	35,9	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	88,2	91,7	96,2	159,0	166,7	173,8	214,3	241,2	248,6	257,0	314,9	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	16,7	17,4	18,2	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,9	-	-	59,3	
	n = 15	12,8	16,9	23,8	15,7	16,3	18,7	-	33,2	43,5	60,0	
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2	
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	31,9	40,9	59,6	
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
N_{d,t}/F_d	n = 7	2,79	3,67	5,29	2,55	2,66	2,78	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,71	-	-	4,29	
	n = 15	1,34	1,21	2,50	1,12	1,16	1,33	-	1,91	2,51	3,46	
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,05	
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,89	1,14	1,66	

Gráfico 6 - Linhas comparativas dos métodos (HOWE C30)

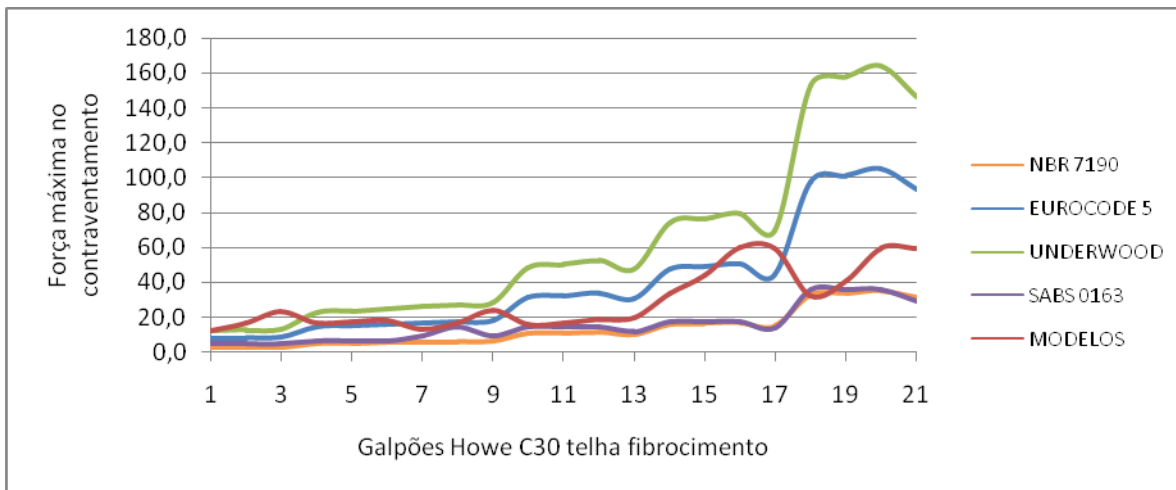


Gráfico 7 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (HOWE C30)

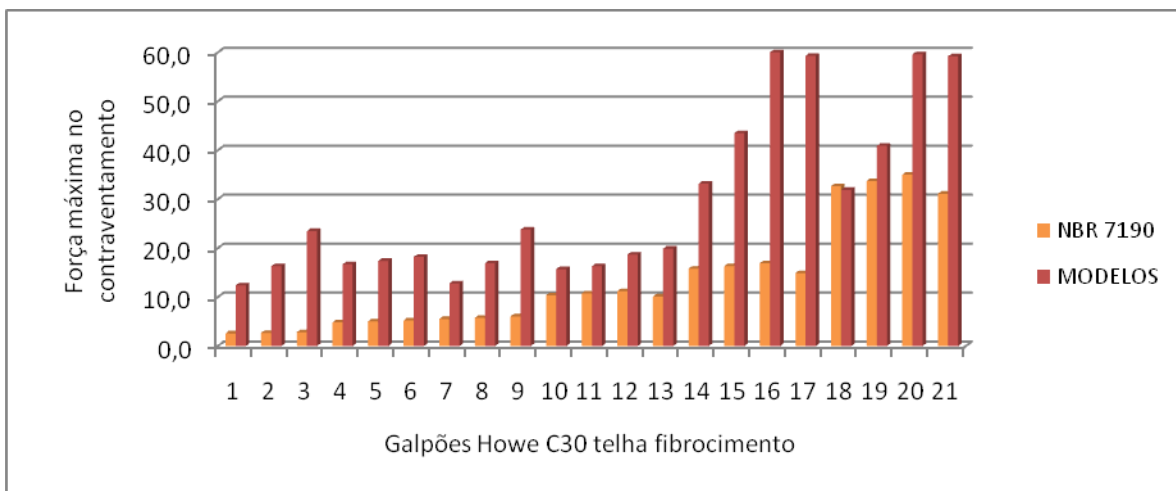


Gráfico 8 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (HOWE C30)

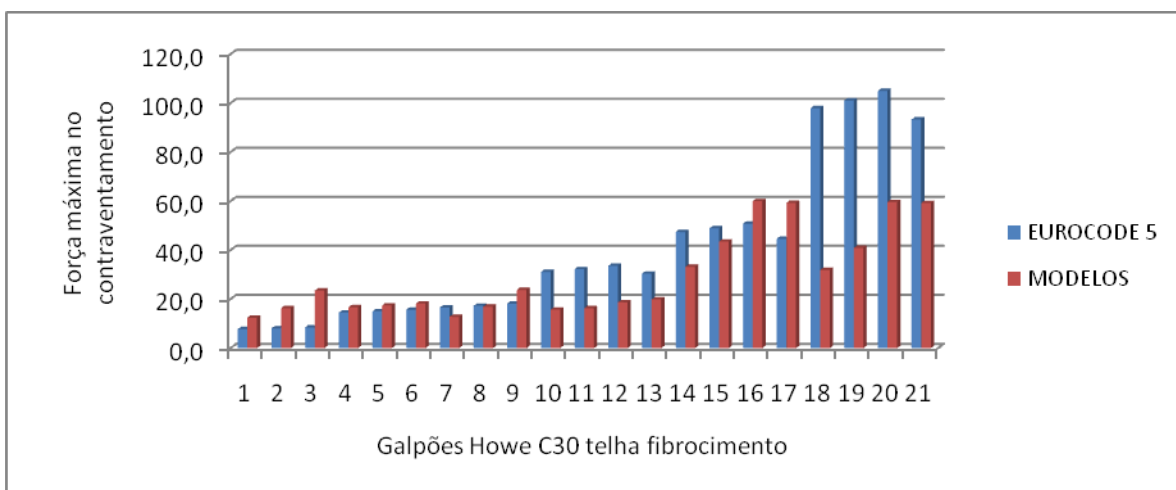


Gráfico 9 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (HOWE C30)

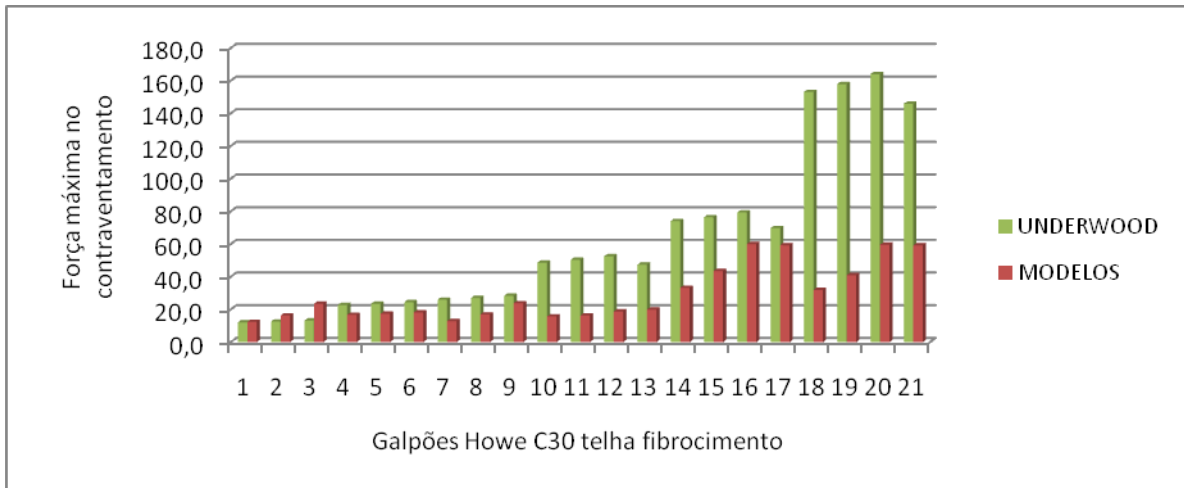
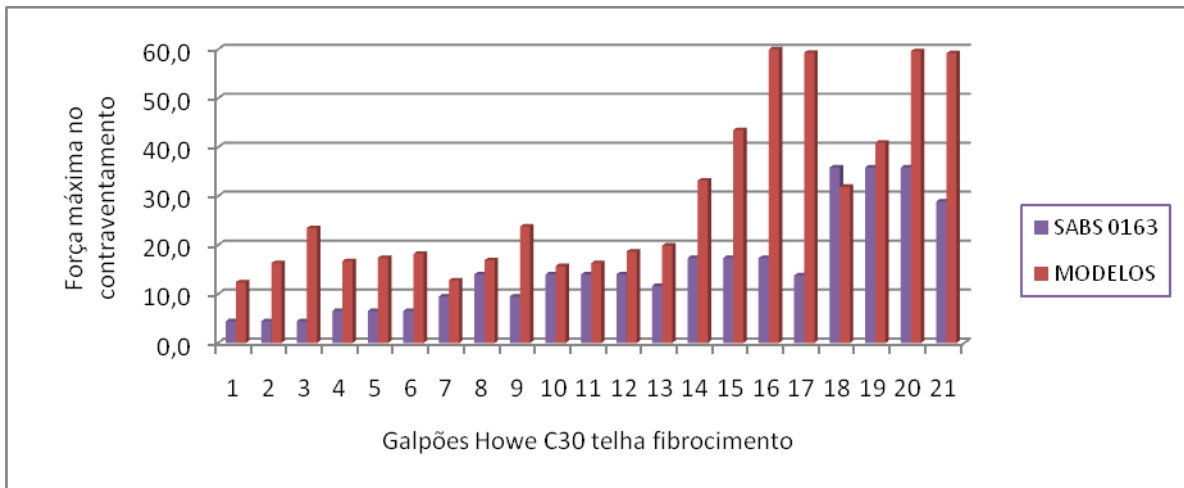


Gráfico 10 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (HOWE C30)



5.3 Treliças PRATT C50 contraventamento de CABOS

Tabela 5.9 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	82,2	157,3	161,6	162,6	198,2	233,4	240,0	250,4	300,9	
F _d (kN)	F _{1d}	0,5	0,6	0,5	1,0	1,1	1,1	1,3	1,6	1,6	1,7	2,0
	n = 7	2,6	2,7	2,6	4,9	5,0	5,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	9,7	-	-	-	14,7
	n = 15	5,5	5,7	5,5	10,5	10,8	10,8	-	15,6	16,0	16,7	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,2	33,1	34,5	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	94,0	97,7	102,3	153,0	158,8	166,1	216,6	246,0	254,0	263,2	316,3	
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	9,7	12,4	15,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	18,5	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	11,9	13,7	17,0	-	33,3	43,5	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,1	41,0	59,6	-
	COMPARATIVO Galpão/Treliça											
Compressão _{máx} (kN)	1,14	1,14	1,24	0,97	0,98	1,02	1,09	1,05	1,06	1,05	1,05	
N _{d,t} /F _d	n = 7	4,84	6,11	9,19	1,98	2,47	3,04	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,91	-	-	-	4,03
	n = 15	2,33	2,95	4,38	1,13	1,27	1,57	-	2,14	2,72	3,59	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,92
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1,24	1,73	-

Tabela 5.10 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO EUROCODE 5												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	82,2	157,3	161,6	162,6	198,2	233,4	240,0	250,4	300,9	
F_d (kN)	F _{1d}	1,6	1,7	1,6	3,1	3,2	3,3	4,0	4,7	4,8	5,0	6,0
	n = 7	7,7	8,0	7,7	14,7	15,1	15,2	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	29,1	-	-	-	44,1
	n = 15	16,5	17,2	16,4	31,5	32,3	32,5	-	46,7	48,0	50,1	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,3
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	96,5	99,2	103,5	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	94,0	97,7	102,3	153,0	158,8	166,1	216,6	246,0	254,0	263,2	316,3	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	9,7	12,4	15,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	18,5	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	11,9	13,7	17,0	-	33,3	43,5	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,1	41,0	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,14	1,14	1,24	0,97	0,98	1,02	1,09	1,05	1,06	1,05	1,05	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,61	2,04	3,06	0,66	0,82	1,01	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,64	-	-	-	1,34
	n = 15	0,78	0,98	1,46	0,38	0,42	0,52	-	0,71	0,91	1,20	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,41	0,58	-

Tabela 5.11 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	82,2	157,3	161,6	162,6	198,2	233,4	240,0	250,4	300,9	
F_d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,6	4,9	5,1	5,1	6,2	7,3	7,5	7,8	9,4
	n = 7	12,0	12,5	12,0	22,9	23,6	23,7	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	45,4	-	-	-	69,0
	n = 15	25,8	26,8	25,7	49,2	50,5	50,8	-	72,9	75,0	78,3	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	144,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	150,7	155,0	161,7	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	94,0	97,7	102,3	153,0	158,8	166,1	216,6	246,0	254,0	263,2	316,3	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	9,7	12,4	15,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	18,5	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	11,9	13,7	17,0	-	33,3	43,5	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,1	41,0	59,6	-
	COMPARATIVO Galpão/Treliça											
Compressão _{máx} (kN)	1,14	1,14	1,24	0,97	0,98	1,02	1,09	1,05	1,06	1,05	1,05	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,03	1,30	1,96	0,42	0,53	0,65	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,41	-	-	-	0,86
	n = 15	0,50	0,63	0,93	0,24	0,27	0,33	-	0,46	0,58	0,77	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,26	0,37	-

Tabela 5.12 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	39,5			77,4			86,2	135,2			147,3	
F_d (kN)	F _{1d}	1,0			1,3			1,4	1,7			1,8
	n = 7	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0	6,0	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	10,5	-	-	-	13,5
	n = 15	9,9	12,9	9,9	12,9	12,9	12,9	-	16,9	16,9	16,9	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	34,9	34,9	34,9	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	94,0	97,7	102,3	153,0	158,8	166,1	216,6	246,0	254,0	263,2	316,3	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	9,7	12,4	15,4	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	18,5	-	-	-	59,3
	n = 15	12,8	16,9	24,0	11,9	13,7	17,0	-	33,3	43,5	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,1	41,0	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
N_{d,t}/F_d	n = 7	2,69	3,54	5,10	1,61	2,06	2,56	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,76	-	-	-	4,39
	n = 15	1,30	1,31	2,43	0,92	1,06	1,32	-	1,97	2,57	3,55	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,10
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,92	1,17	1,71	-

Gráfico 11 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 cabos)

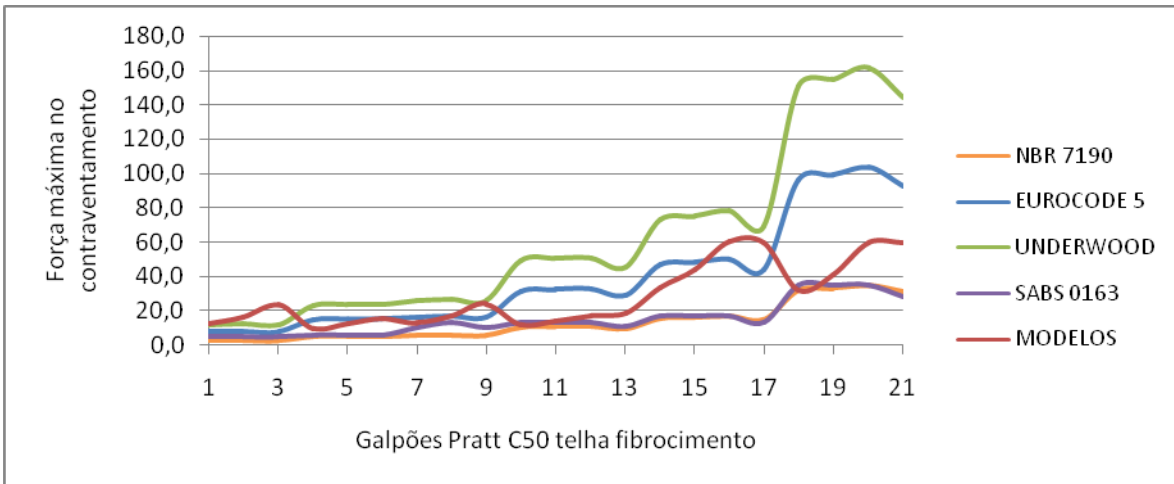


Gráfico 12 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 cabos)

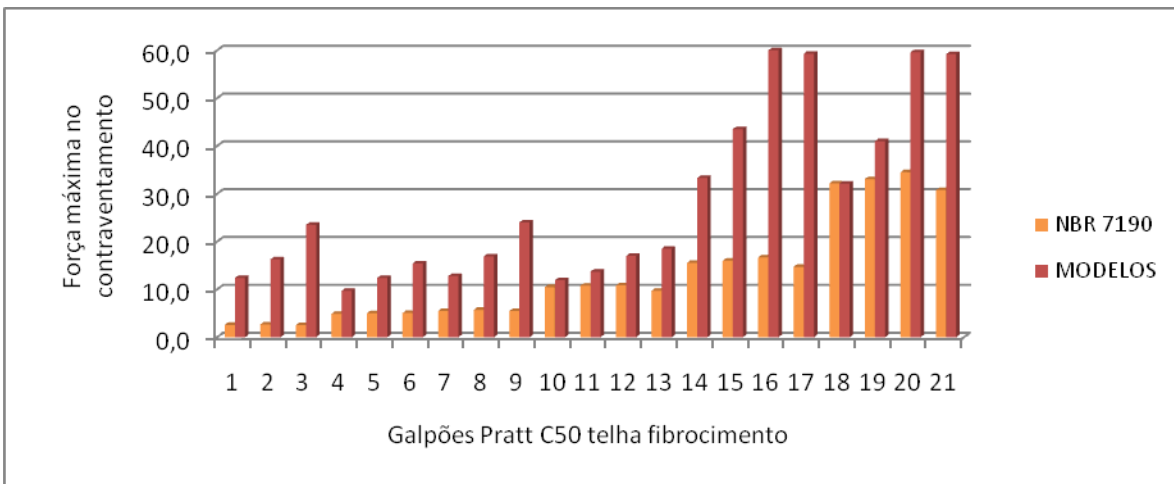


Gráfico 13 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 cabos)

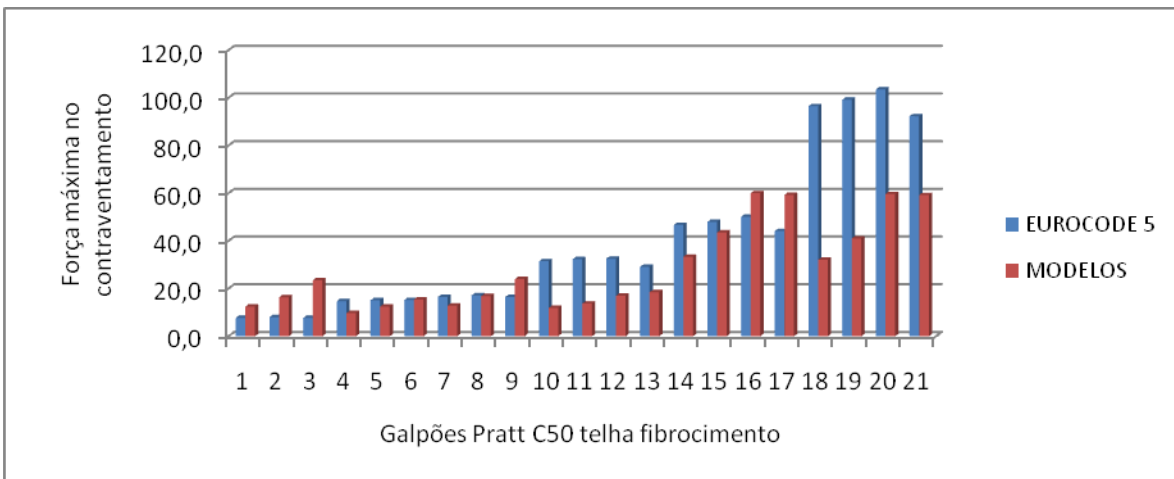


Gráfico 14 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 cabos)

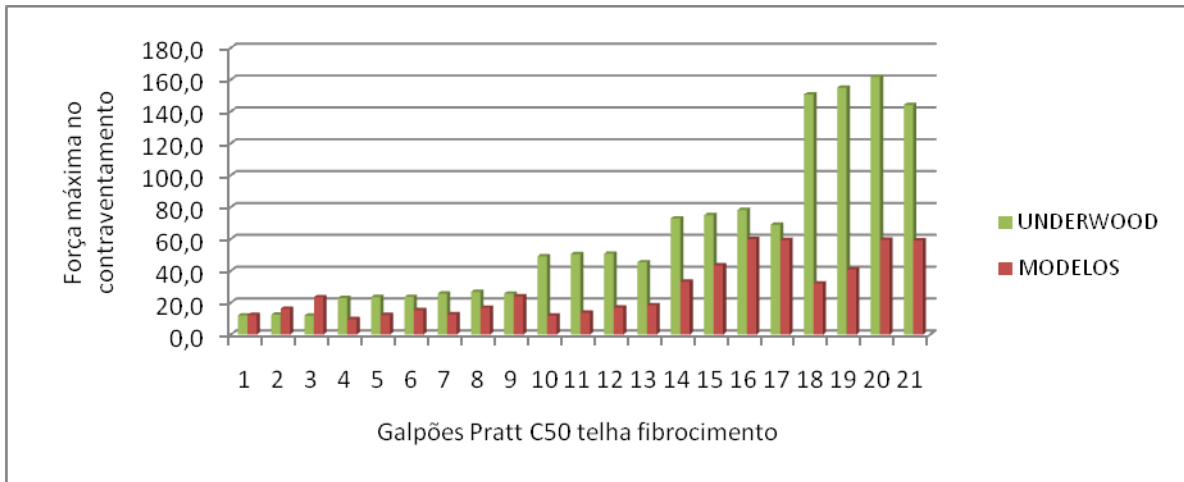
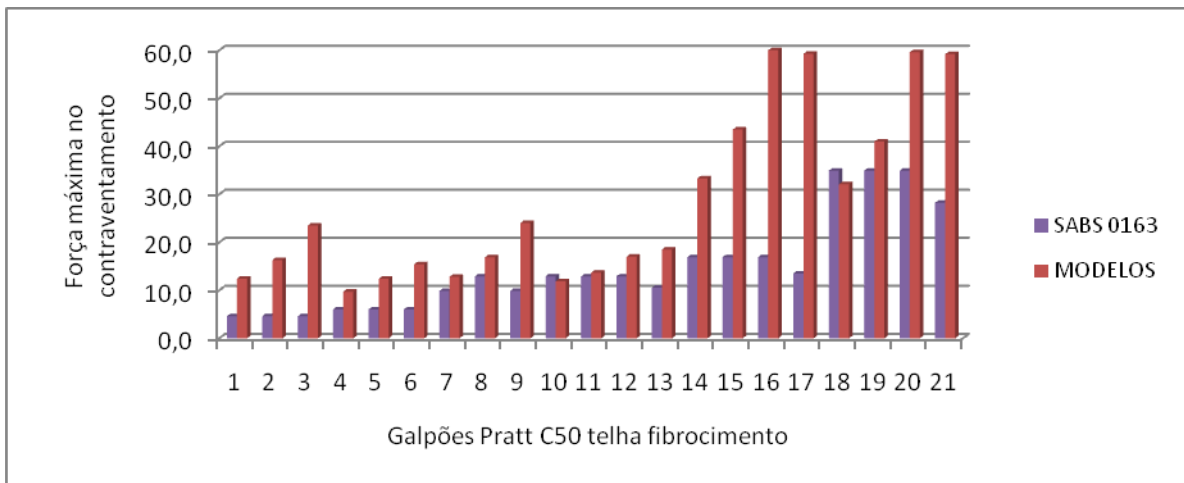


Gráfico 15 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 cabos)



5.4 Treliças PRATT C50 contraventamento de MADEIRA

Tabela 5.13 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	82,2	157,3	161,6	162,6	198,2	233,4	240,0	250,4	300,9	300,9
F_d (kN)	F _{1d}	0,5	0,6	0,5	1,0	1,1	1,1	1,3	1,6	1,6	1,7	2,0
	n = 7	2,6	2,7	2,6	4,9	5,0	5,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	9,7	-	-	-	14,7
	n = 15	5,5	5,7	5,5	10,5	10,8	10,8	-	15,6	16,0	16,7	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,2	33,1	34,5	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	101,0	104,5	107,9	164,2	169,9	177,1	233,8	263,5	271,3	280,2	343,2	343,2
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,8	13,3	15,8	12,4	13,5	16,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	13,7	-	-	-	35,7
	n = 15	12,5	12,9	13,4	17,0	17,4	18,0	-	24,2	29,3	37,3	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,9
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	24,3	28,8	38,5	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,23	1,22	1,31	1,04	1,05	1,09	1,18	1,13	1,13	1,12	1,14	1,14
N_{d,t}/F_d	n = 7	4,99	4,98	6,18	2,53	2,69	3,18	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,41	-	-	-	2,43
	n = 15	2,28	2,26	2,45	1,62	1,62	1,66	-	1,56	1,83	2,23	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,20
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,76	0,87	1,12	-

Tabela 5.14 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO EUROCODE 5												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	82,2	157,3	161,6	162,6	198,2	233,4	240,0	250,4	300,9	
F_d (kN)	F _{1d}	1,6	1,7	1,6	3,1	3,2	3,3	4,0	4,7	4,8	5,0	6,0
	n = 7	7,7	8,0	7,7	14,7	15,1	15,2	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	29,1	-	-	-	44,1
	n = 15	16,5	17,2	16,4	31,5	32,3	32,5	-	46,7	48,0	50,1	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92,3
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	96,5	99,2	103,5	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	101,0	104,5	107,9	164,2	169,9	177,1	233,8	263,5	271,3	280,2	343,2	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,8	13,3	15,8	12,4	13,5	16,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	13,7	-	-	-	35,7
	n = 15	12,5	12,9	13,4	17,0	17,4	18,0	-	24,2	29,3	37,3	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,9
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	24,3	28,8	38,5	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,23	1,22	1,31	1,04	1,05	1,09	1,18	1,13	1,13	1,12	1,14	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,66	1,66	2,06	0,84	0,90	1,06	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,47	-	-	-	0,81
	n = 15	0,76	0,75	0,82	0,54	0,54	0,55	-	0,52	0,61	0,74	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,29	0,37	-

Tabela 5.15 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
Compressão _{máx} (kN)	82,4	85,8	82,2	157,3	161,6	162,6	198,2	233,4	240,0	250,4	300,9	
F_d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,6	4,9	5,1	5,1	6,2	7,3	7,5	7,8	9,4
	n = 7	12,0	12,5	12,0	22,9	23,6	23,7	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	45,4	-	-	-	69,0
	n = 15	25,8	26,8	25,7	49,2	50,5	50,8	-	72,9	75,0	78,3	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	144,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	150,7	155,0	161,7	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	101,0	104,5	107,9	164,2	169,9	177,1	233,8	263,5	271,3	280,2	343,2	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,8	13,3	15,8	12,4	13,5	16,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	13,7	-	-	-	35,7
	n = 15	12,5	12,9	13,4	17,0	17,4	18,0	-	24,2	29,3	37,3	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,9
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	24,3	28,8	38,5	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,23	1,22	1,31	1,04	1,05	1,09	1,18	1,13	1,13	1,12	1,14	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,07	1,06	1,32	0,54	0,57	0,68	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,30	-	-	-	0,52
	n = 15	0,49	0,48	0,52	0,35	0,34	0,35	-	0,33	0,39	0,48	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,19	0,24	-

Tabela 5.16 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 madeira)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	39,5			77,4			86,2	135,2			147,3	
F_d (kN)	F _{1d}	1,0			1,3			1,4	1,7			1,8
	n = 7	4,6	4,6	4,6	6,0	6,0	6,0	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	10,5	-	-	-	13,5
	n = 15	9,9	12,9	9,9	12,9	12,9	12,9	-	16,9	16,9	16,9	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,2
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	34,9	34,9	34,9	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	101,0	104,5	107,9	164,2	169,9	177,1	233,8	263,5	271,3	280,2	343,2	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,8	13,3	15,8	12,4	13,5	16,1	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	13,7	-	-	-	35,7
	n = 15	12,5	12,9	13,4	17,0	17,4	18,0	-	24,2	29,3	37,3	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36,9
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	24,3	28,8	38,5	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
N_{d,t}/F_d	n = 7	2,78	2,89	3,43	2,06	2,24	2,67	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,30	-	-	-	2,64
	n = 15	1,27	1,00	1,36	1,32	1,35	1,40	-	1,43	1,73	2,21	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,31
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,70	0,82	1,10	-

Gráfico 16 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 madeira)

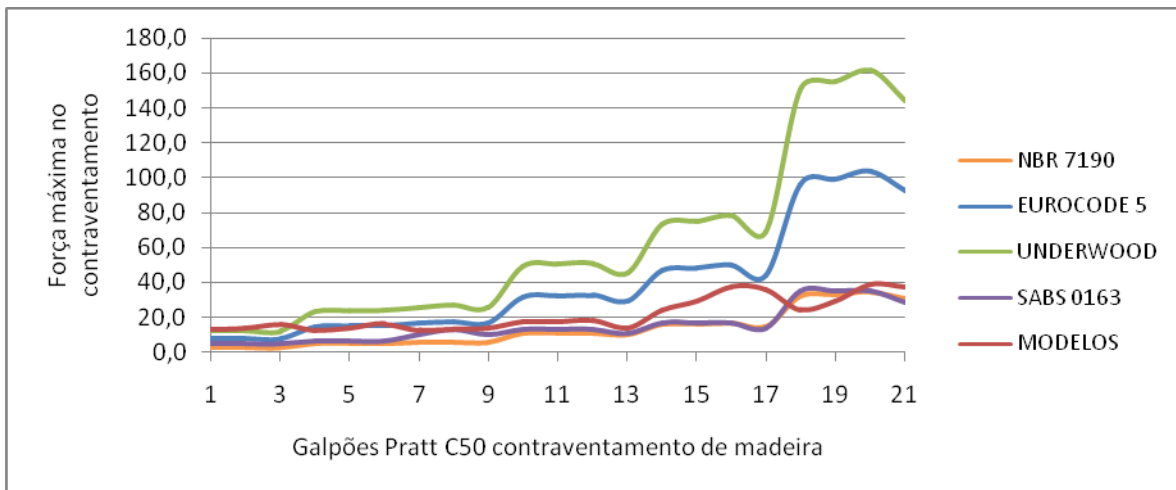


Gráfico 17 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 madeira)

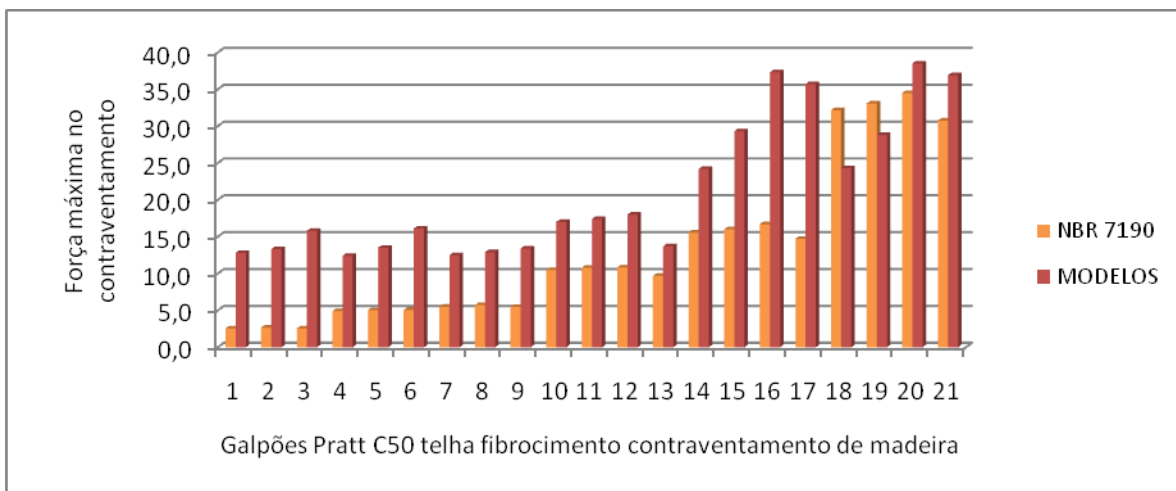


Gráfico 18 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 madeira)

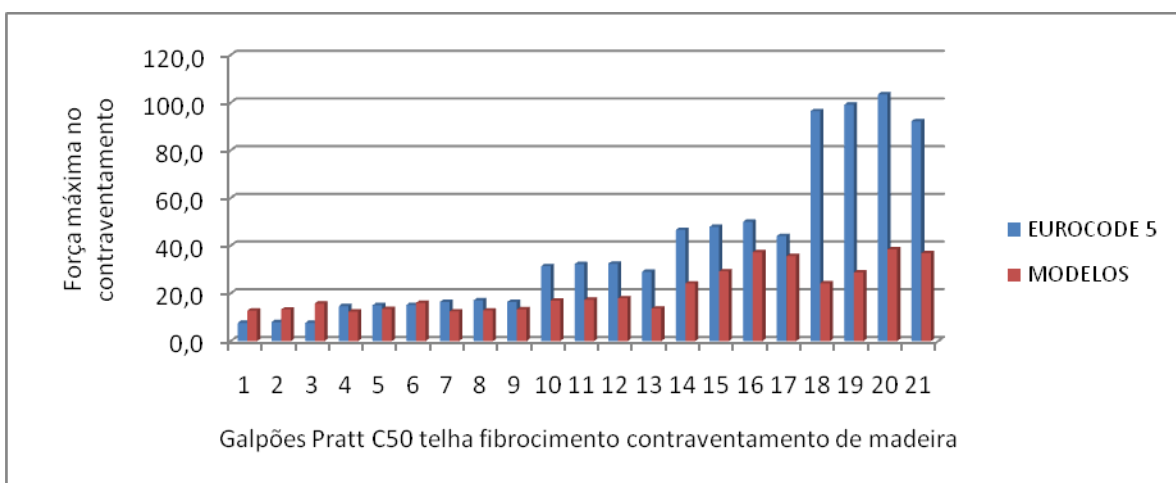


Gráfico 19 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 madeira)

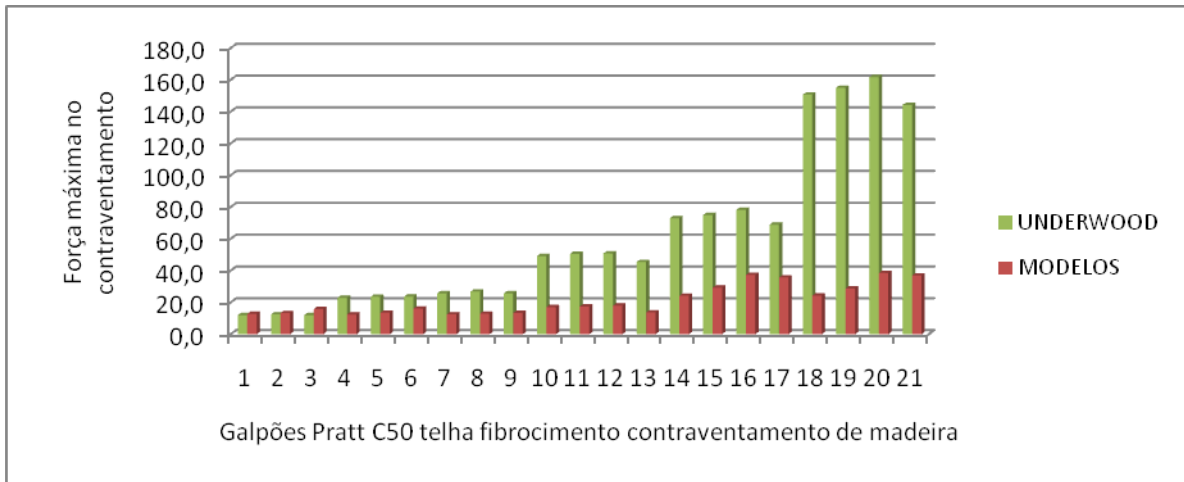
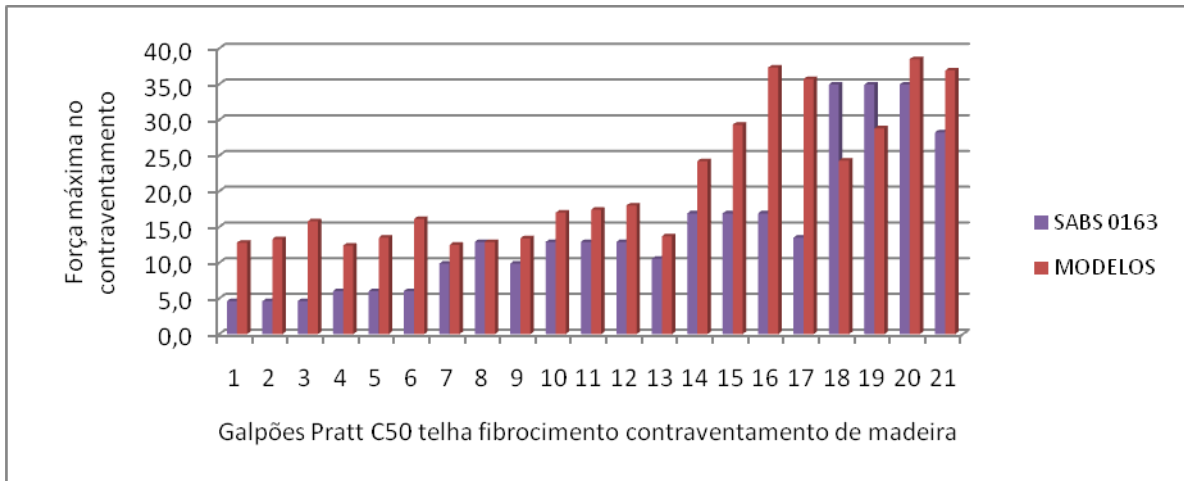


Gráfico 20 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 madeira)



5.5 Treliças PRATT C30

Tabela 5.17 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,9	155,9	161,1	168,3	205,2	238,8	244,5	254,7	305,2	
F _d (kN)	F _{ld}	0,6	0,6	0,6	1,0	1,1	1,1	1,4	1,6	1,6	1,7	2,0
	n = 7	2,6	2,7	2,8	4,9	5,0	5,2	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	10,0	-	-	-	14,9
	n = 15	5,5	5,8	6,1	10,4	10,7	11,2	-	15,9	16,3	17,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,2
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,9	33,7	35,1	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	89,9	93,5	98,1	165,1	170,9	180,5	224,4	248,9	256,9	266,2	324,9	
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	8,4	11,0	16,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,7	-	-	-	59,4
	n = 15	12,8	16,9	23,8	9,4	12,1	18,4	-	33,4	43,6	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,2	41,1	59,7	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,07	1,09	1,04	1,05	1,05	1,06	
N _{d,t} /F _d	n = 7	4,80	6,06	8,31	1,73	2,19	3,07	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,96	-	-	-	3,98
	n = 15	2,31	2,93	3,93	0,90	1,13	1,64	-	2,10	2,67	3,53	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,90
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,98	1,22	1,70	-

Tabela 5.18 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO EUROCODE 5												
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,9	155,9	161,1	168,3	205,2	238,8	244,5	254,7	305,2	
F_d (kN)	F _{1d}	1,7	1,7	1,8	3,1	3,2	3,4	4,1	4,8	4,9	5,1	6,1
	n = 7	7,7	8,1	8,5	14,6	15,0	15,7	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	30,1	-	-	-	44,8
	n = 15	16,6	17,3	18,2	31,2	32,2	33,7	-	47,8	48,9	50,9	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93,6
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	98,7	101,1	105,3	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	89,9	93,5	98,1	165,1	170,9	180,5	224,4	248,9	256,9	266,2	324,9	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	8,4	11,0	16,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,7	-	-	-	59,4
	n = 15	12,8	16,9	23,8	9,4	12,1	18,4	-	33,4	43,6	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,2	41,1	59,7	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,07	1,09	1,04	1,05	1,05	1,06	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,60	2,02	2,77	0,58	0,73	1,02	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,65	-	-	-	1,33
	n = 15	0,77	0,98	1,31	0,30	0,38	0,55	-	0,70	0,89	1,18	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,41	0,57	-

Tabela 5.19 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
Compressão _{máx} (kN)	83,0	86,4	90,9	155,9	161,1	168,3	205,2	238,8	244,5	254,7	305,2	
F_d (kN)	F _{1d}	2,6	2,7	2,8	4,9	5,0	5,3	6,4	7,5	7,6	8,0	9,5
	n = 7	12,1	12,6	13,3	22,7	23,5	24,5	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	47,0	-	-	-	69,9
	n = 15	25,9	27,0	28,4	48,7	50,3	52,6	-	74,6	76,4	79,6	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	146,2
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	154,2	157,9	164,5	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	89,9	93,5	98,1	165,1	170,9	180,5	224,4	248,9	256,9	266,2	324,9	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	8,4	11,0	16,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,7	-	-	-	59,4
	n = 15	12,8	16,9	23,8	9,4	12,1	18,4	-	33,4	43,6	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,2	41,1	59,7	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,07	1,09	1,04	1,05	1,05	1,06	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,02	1,29	1,77	0,37	0,47	0,66	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,42	-	-	-	0,85
	n = 15	0,49	0,63	0,84	0,19	0,24	0,35	-	0,45	0,57	0,75	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,26	0,36	-

Tabela 5.20 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C30)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	38,2			84,4			93,2	139,2			151,6	
F_d (kN)	F _{1d}	1,0			1,4			1,6	1,7			1,9
	n = 7	4,5	4,5	4,5	6,6	6,6	6,6	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	11,4	-	-	-	13,9
	n = 15	9,6	14,1	9,6	14,1	14,1	14,1	-	17,4	17,4	17,4	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,1
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	36,0	36,0	36,0	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	89,9	93,5	98,1	165,1	170,9	180,5	224,4	248,9	256,9	266,2	324,9	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	8,4	11,0	16,1	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,7	-	-	-	59,4
	n = 15	12,8	16,9	23,8	9,4	12,1	18,4	-	33,4	43,6	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,2	41,1	59,7	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
N_{d,t}/F_d	n = 7	2,78	3,66	5,27	1,28	1,68	2,45	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	1,73	-	-	-	4,27
	n = 15	1,34	1,20	2,49	0,67	0,86	1,31	-	1,92	2,51	3,45	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,04
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,90	1,14	1,66	-

Gráfico 21 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C30)

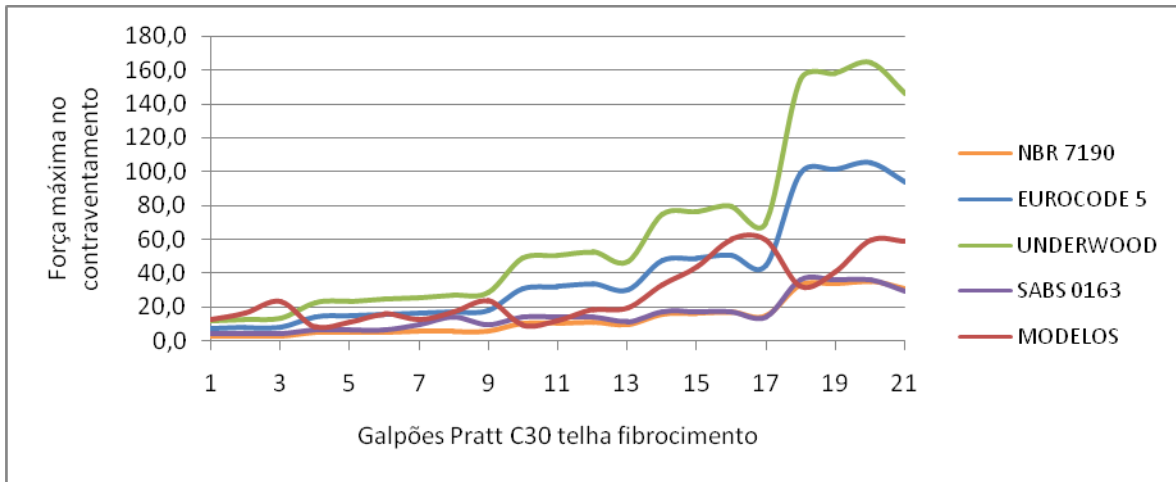


Gráfico 22 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C30)

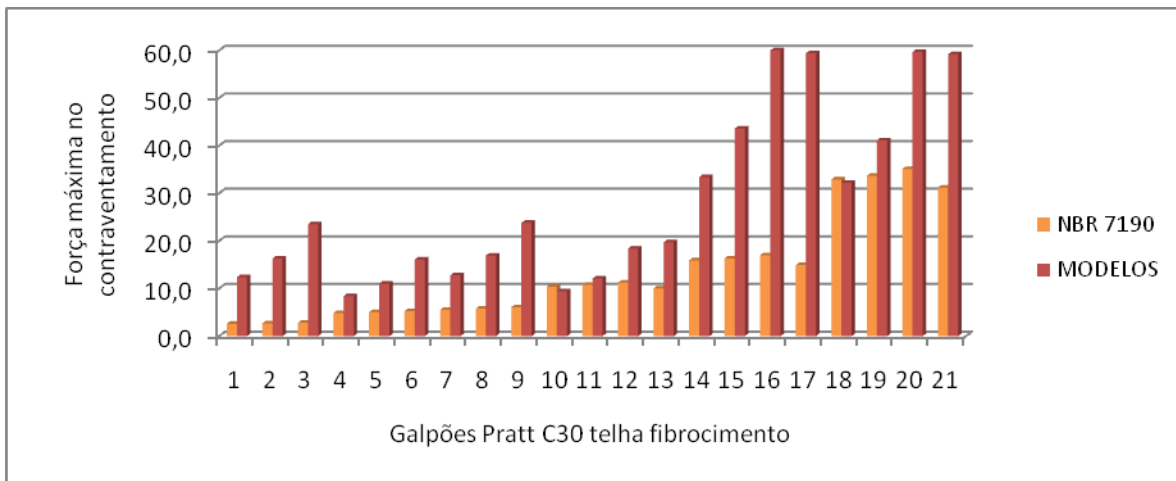


Gráfico 23 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C30)

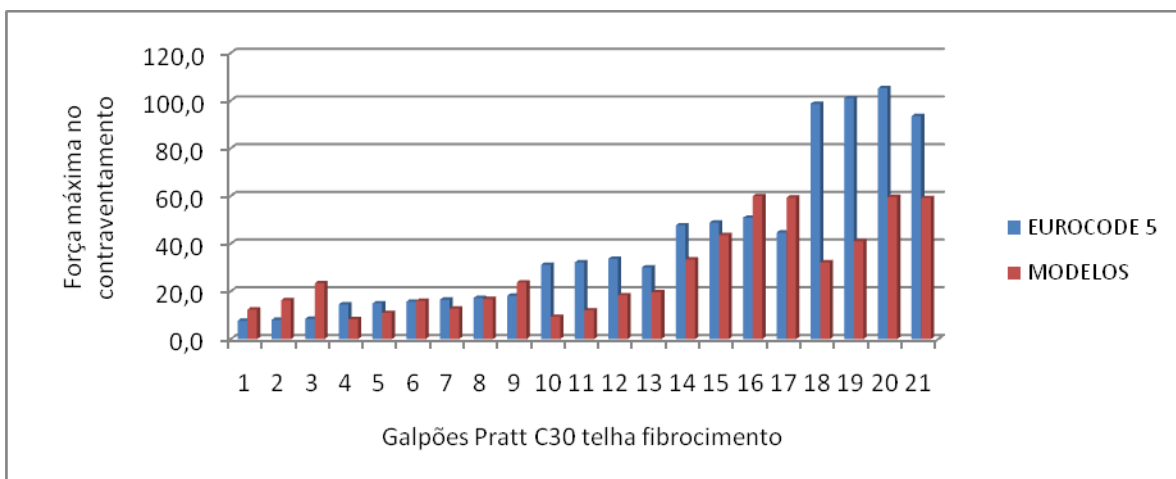


Gráfico 24 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C30)

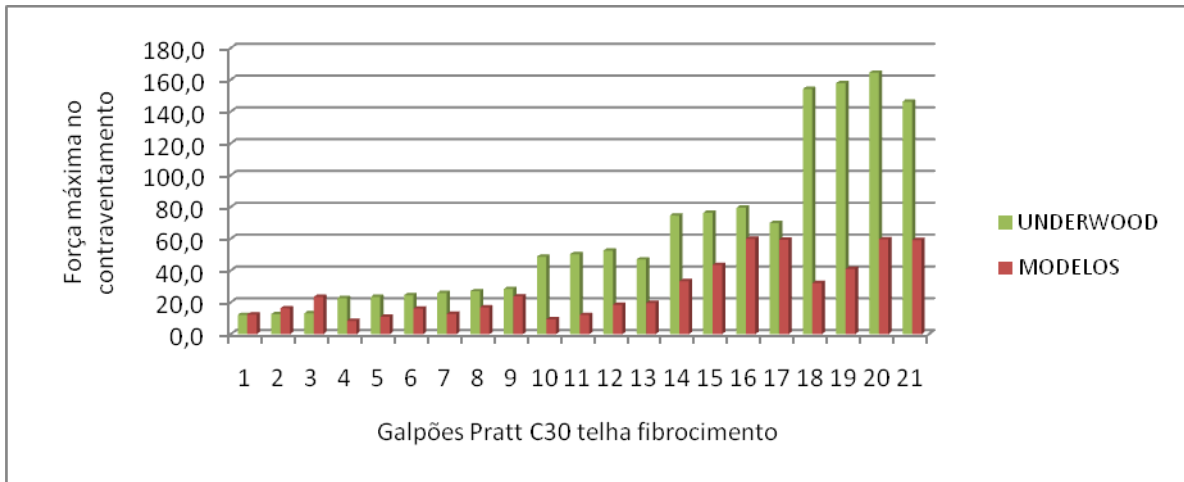
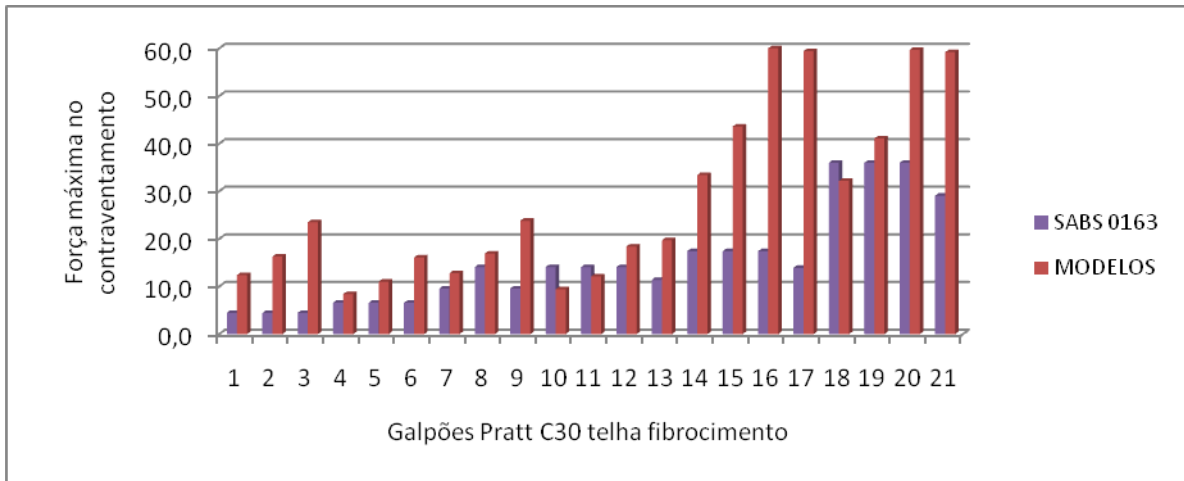


Gráfico 25 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C30)



5.6 Treliças PRATT C50 telha metálica

Tabela 5.21 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO NBR 7190 (1997)												
Compressão _{máx} (kN)	65,9	68,3	74,0	116,8	120,7	126,5	160,3	185,3	190,8	202,5	244,6	
F_d (kN)	F _{1d}	0,4	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6
	n = 7	2,1	2,1	2,3	3,6	3,8	3,9	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	7,8	-	-	-	12,0
	n = 15	4,4	4,6	4,9	7,8	8,0	8,4	-	12,4	12,7	13,5	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,0
n = 31	-	-	-	-	-	-	-	25,5	26,3	27,9	-	
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	72,2	75,9	105,7	121,0	134,1	134,1	171,4	195,0	202,9	212,7	258,4	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,0	15,7	18,4	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	59,3	
	n = 15	12,7	16,8	24,0	16,2	18,0	20,8	-	33,2	43,1	60,0	
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2	
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	40,9	59,6	
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,10	1,11	1,43	1,04	1,11	1,06	1,07	1,05	1,06	1,05	1,06	
N_{d,t}/F_d	n = 7	6,05	7,67	10,21	3,58	4,18	4,68	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	2,44	-	-	4,96	
	n = 15	2,89	3,69	4,86	2,08	2,24	2,47	-	2,69	3,39	4,44	
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,37	
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	1,25	1,56	2,14	

Tabela 5.22 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO EUROCODE 5												
Compressão _{máx} (kN)	65,9	68,3	74,0	116,8	120,7	126,5	160,3	185,3	190,8	202,5	244,6	
F_d (kN)	F _{1d}	1,3	1,4	1,5	2,3	2,4	2,5	3,2	3,7	3,8	4,1	4,9
	n = 7	6,2	6,4	6,9	10,9	11,3	11,8	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	23,5	-	-	-	35,9
	n = 15	13,2	13,7	14,8	23,4	24,1	25,3	-	37,1	38,2	40,5	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75,0
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	76,6	78,9	83,7	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	72,2	75,9	105,7	121,0	134,1	134,1	171,4	195,0	202,9	212,7	258,4	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,0	15,7	18,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,7	16,8	24,0	16,2	18,0	20,8	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	40,9	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,10	1,11	1,43	1,04	1,11	1,06	1,07	1,05	1,06	1,05	1,06	
N_{d,t}/F_d	n = 7	2,02	2,56	3,40	1,19	1,39	1,56	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,81	-	-	-	1,65
	n = 15	0,96	1,23	1,62	0,69	0,75	0,82	-	0,90	1,13	1,48	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,79
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,52	0,71	-

Tabela 5.23 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	24
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	3
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	6
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
MÉTODO UNDERWOOD (2000)												
Compressão _{máx} (kN)	65,9	68,3	74,0	116,8	120,7	126,5	160,3	185,3	190,8	202,5	244,6	
F_d (kN)	F _{1d}	2,1	2,1	2,3	3,7	3,8	4,0	5,0	5,8	6,0	6,3	7,6
	n = 7	9,6	10,0	10,8	17,0	17,6	18,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	36,7	-	-	-	56,1
	n = 15	20,6	21,3	23,1	36,5	37,7	39,5	-	57,9	59,6	63,3	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	119,7	123,2	130,8	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	72,2	75,9	105,7	121,0	134,1	134,1	171,4	195,0	202,9	212,7	258,4	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,0	15,7	18,4	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,7	16,8	24,0	16,2	18,0	20,8	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	40,9	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
Compressão _{máx} (kN)	1,10	1,11	1,43	1,04	1,11	1,06	1,07	1,05	1,06	1,05	1,06	
N_{d,t}/F_d	n = 7	1,29	1,64	2,18	0,76	0,89	1,00	-	-	-	-	-
	n = 11	-	-	-	-	-	-	0,52	-	-	-	1,06
	n = 15	0,62	0,79	1,04	0,44	0,48	0,53	-	0,57	0,72	0,95	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,33	0,46	-

Tabela 5.24 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha metálica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS												
L (vão)	12	12	12	18	18	18	18	24	24	24	24	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	3	3	3	3	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	6	3	4	6	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	
MÉTODO SABS 0163												
Compressão _{perm} (kN)	20,1			41,3			46,7	86,0			89,4	
F_d (kN)	F _{1d}	0,5			0,7			0,8	1,1			1,1
	n = 7	2,3	2,3	2,3	3,2	3,2	3,2	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	5,7	-	-	-	8,2
	n = 15	5,0	6,9	5,0	6,9	6,9	6,9	-	10,8	10,8	10,8	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17,1
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	22,2	22,2	22,2	-
MODELOS NUMÉRICOS												
Compressão _{máx} (kN)	72,2	75,9	105,7	121,0	134,1	134,1	171,4	195,0	202,9	212,7	258,4	
N_{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,0	15,7	18,4	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	19,1	-	-	-	59,3
	n = 15	12,7	16,8	24,0	16,2	18,0	20,8	-	33,2	43,1	60,0	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,2
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	32,0	40,9	59,6	-
COMPARATIVO Galpão/Treliça												
N_{d,t}/F_d	n = 7	5,29	6,95	10,02	4,05	4,89	5,73	-	-	-	-	
	n = 11	-	-	-	-	-	-	3,35	-	-	-	7,24
	n = 15	2,53	2,44	4,78	2,35	2,62	3,02	-	3,09	4,01	5,58	-
	n = 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,45
	n = 31	-	-	-	-	-	-	-	1,44	1,84	2,68	-

Gráfico 26 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 telha metálica)

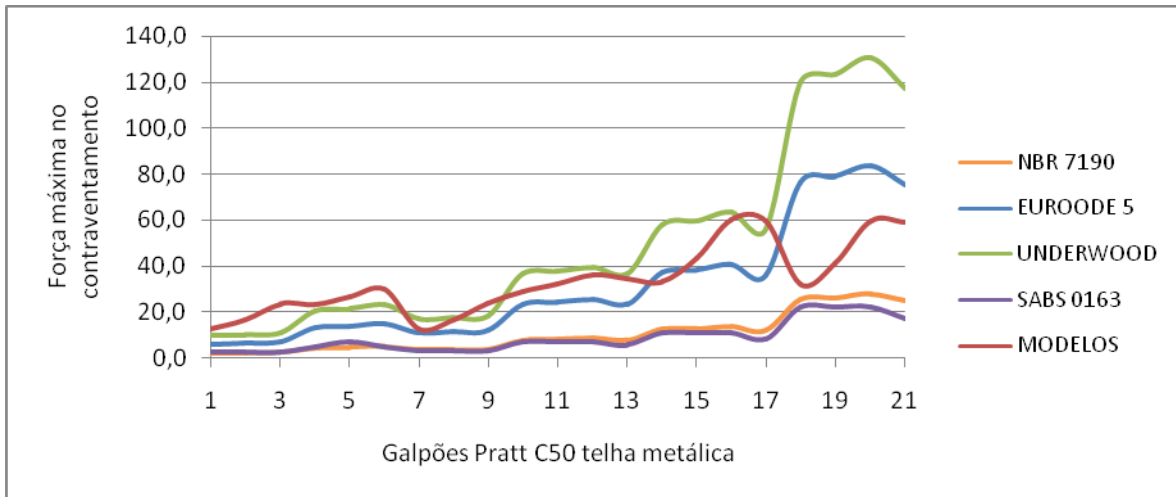


Gráfico 27 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 telha metálica)

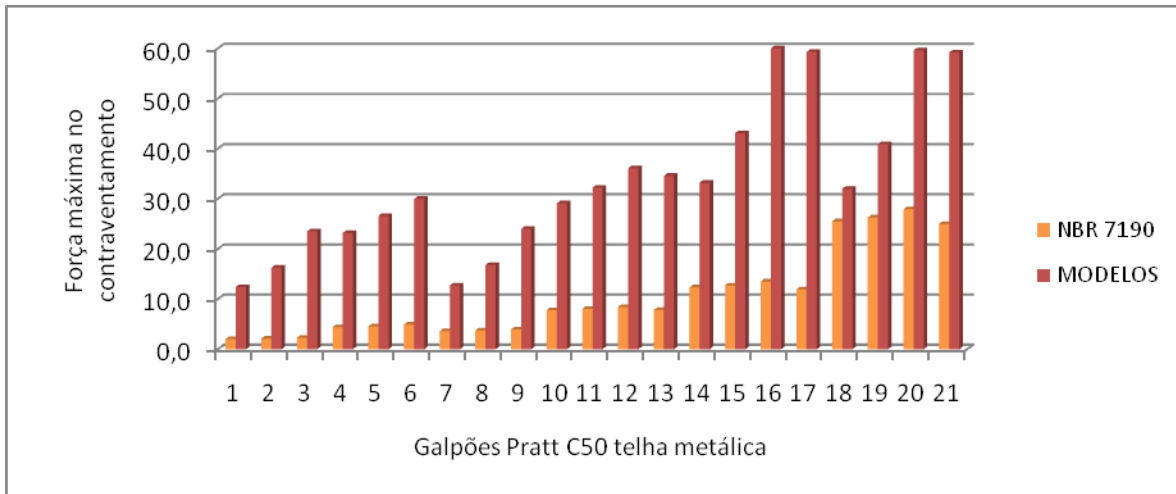


Gráfico 28 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 telha metálica)

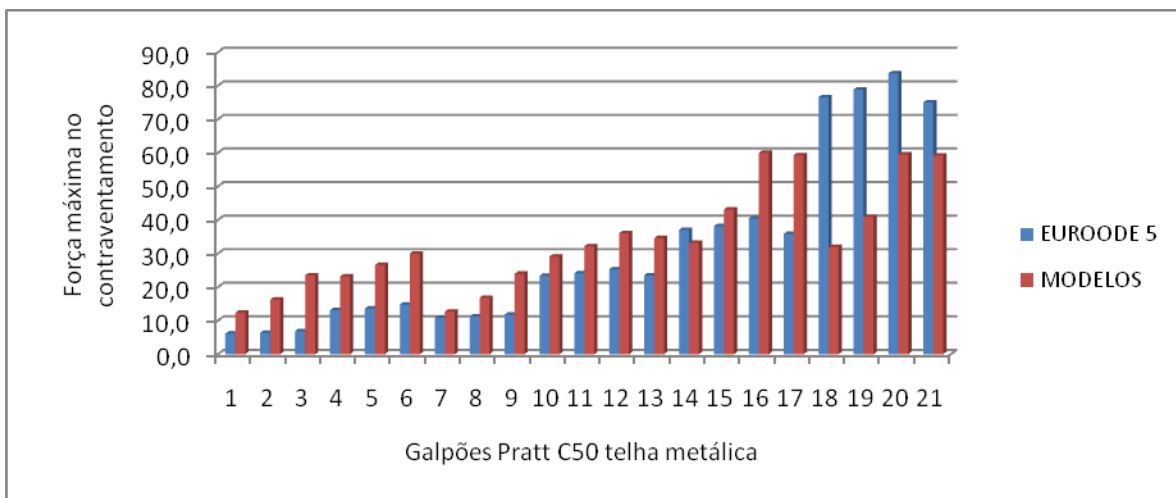


Gráfico 29 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 telha metálica)

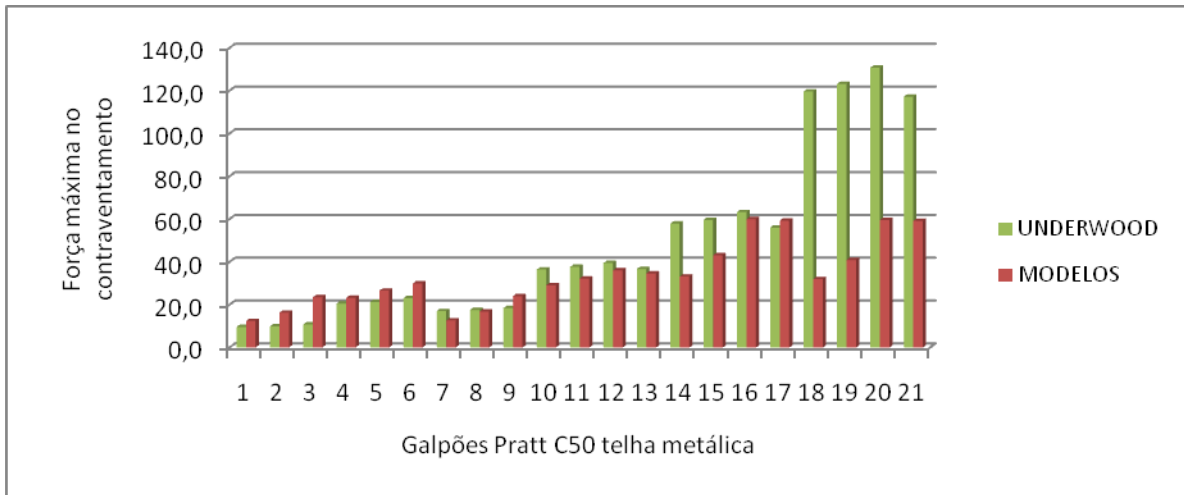
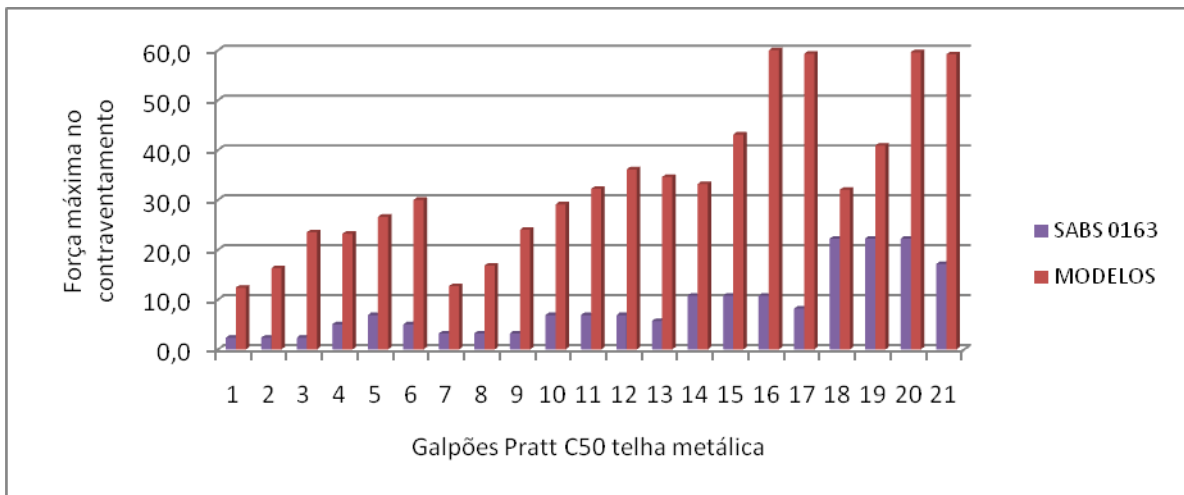


Gráfico 30 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 telha metálica)



5.7 Treliças PRATT C50 telha cerâmica

Tabela 5.25 - Comparativo entre o método da NBR 7190 (1997) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha cerâmica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS							
L (vão)		12	12	12	18	18	18
h (altura central)		1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25
z (altura do pilar)		3	4	6	3	4	6
e (dist. entre treliças)		3	3	3	3	3	3
MÉTODO NBR 7190 (1997)							
Compressão _{máx} (kN)		155,2	157,6	163,5	278,1	282,0	287,7
F _d (kN)	F _{1d}	1,0	1,1	1,1	1,9	1,9	1,9
	n = 7	4,8	4,9	5,1	8,7	8,8	9,0
	n = 15	10,3	10,5	10,9	18,5	18,8	19,2
MODELOS NUMÉRICOS							
Compressão _{máx} (kN)		167,7	171,4	176,0	290,3	296,2	303,6
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,9	14,3	15,9
	n = 15	12,7	16,8	24,0	10,4	12,1	18,2
COMPARATIVO Galpão/Treliça							
Compressão _{máx} (kN)		1,08	1,09	1,08	1,04	1,05	1,06
N _{d,t} /F _d	n = 7	2,57	3,32	4,62	1,61	1,63	1,78
	n = 15	1,23	1,60	2,20	0,56	0,64	0,95

Tabela 5.26 - Comparativo entre o método do EUROCODE 5 e os modelos tridimensionais (cerâmica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS							
L (vão)		12	12	12	18	18	18
h (altura central)		1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25
z (altura do pilar)		3	4	6	3	4	6
e (dist. entre treliças)		3	3	3	3	3	3
MÉTODO EUROCODE 5							
Compressão _{máx} (kN)		155,2	157,6	163,5	278,1	282,0	287,7
F _d (kN)	F _{1d}	3,1	3,2	3,3	5,6	5,6	5,8
	n = 7	14,5	14,7	15,3	26,0	26,3	26,9
	n = 15	31,0	31,5	32,7	55,6	56,4	57,5
MODELOS NUMÉRICOS							
Compressão _{máx} (kN)		167,7	171,4	176,0	290,3	296,2	303,6
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,9	14,3	15,9
	n = 15	12,7	16,8	24,0	10,4	12,1	18,2
COMPARATIVO Galpão/Treliça							
Compressão _{máx} (kN)		1,08	1,09	1,08	1,04	1,05	1,06
N _{d,t} /F _d	n = 7	0,86	1,11	1,54	0,54	0,54	0,59
	n = 15	0,41	0,53	0,73	0,19	0,21	0,32

Tabela 5.27 - Comparativo entre o método de UNDERWOOD (2000) e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha cerâmica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS							
L (vão)	12	12	12	18	18	18	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	
MÉTODO UNDERWOOD (2000)							
Compressão _{máx} (kN)	155,2	157,6	163,5	278,1	282,0	287,7	
F _d (kN)	F _{1d}	4,9	4,9	5,1	8,7	8,8	9,0
	n = 7	22,6	23,0	23,8	40,6	41,1	42,0
	n = 15	48,5	49,3	51,1	86,9	88,1	89,9
MODELOS NUMÉRICOS							
Compressão _{máx} (kN)	167,7	171,4	176,0	290,3	296,2	303,6	
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,9	14,3	15,9
	n = 15	12,7	16,8	24,0	10,4	12,1	18,2
COMPARATIVO Galpão/Treliça							
Compressão _{máx} (kN)	1,08	1,09	1,08	1,04	1,05	1,06	
N _{d,t} /F _d	n = 7	0,55	0,71	0,99	0,34	0,35	0,38
	n = 15	0,26	0,34	0,47	0,12	0,14	0,20

Tabela 5.28 - Comparativo entre o método do SABS 0163 e os modelos tridimensionais (PRATT C50 telha cerâmica)

GEOMETRIAS DAS TRELIÇAS							
L (vão)	12	12	12	18	18	18	
h (altura central)	1,5	1,5	1,5	2,25	2,25	2,25	
z (altura do pilar)	3	4	6	3	4	6	
e (dist. entre treliças)	3	3	3	3	3	3	
MÉTODO SABS 0163							
Compressão _{perm} (kN)	109,5			202,5			
F _d (kN)	F _{1d}	2,7			3,4		
	n = 7	12,8	12,8	12,8	15,8	15,8	15,8
	n = 15	27,4	33,8	27,4	33,8	33,8	33,8
MODELOS NUMÉRICOS							
Compressão _{máx} (kN)	167,7	171,4	176,0	290,3	296,2	303,6	
N _{d,t} (kN) Terças	n = 7	12,4	16,3	23,5	13,9	14,3	15,9
	n = 15	12,7	16,8	24,0	10,4	12,1	18,2
COMPARATIVO Galpão/Treliça							
N _{d,t} /F _d	n = 7	0,97	1,28	1,84	0,88	0,91	1,01
	n = 15	0,46	0,50	0,88	0,31	0,36	0,54

Gráfico 31 - Linhas comparativas dos métodos (PRATT C50 telha cerâmica)

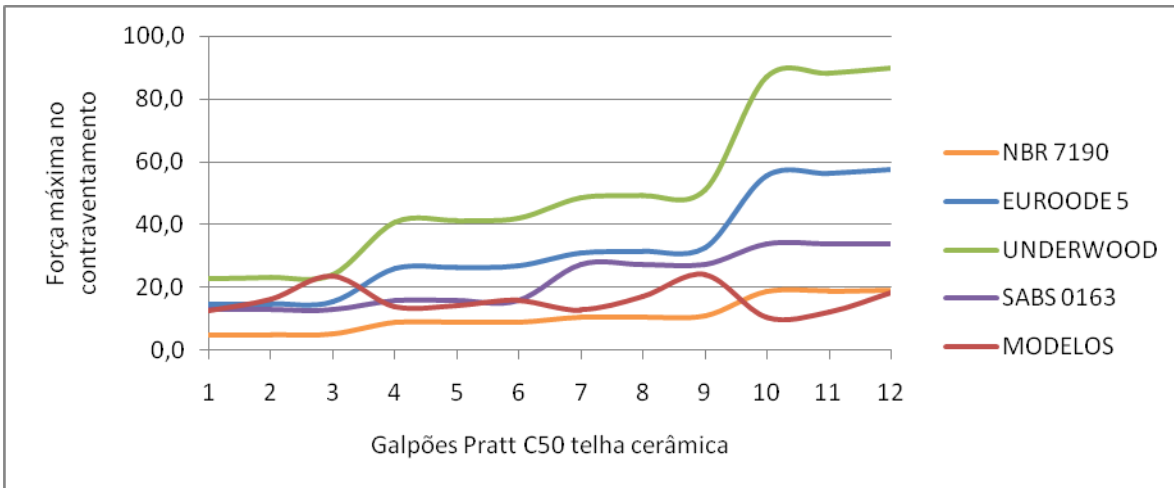


Gráfico 32 - Colunas comparativas do método NBR 7190 (PRATT C50 telha cerâmica)

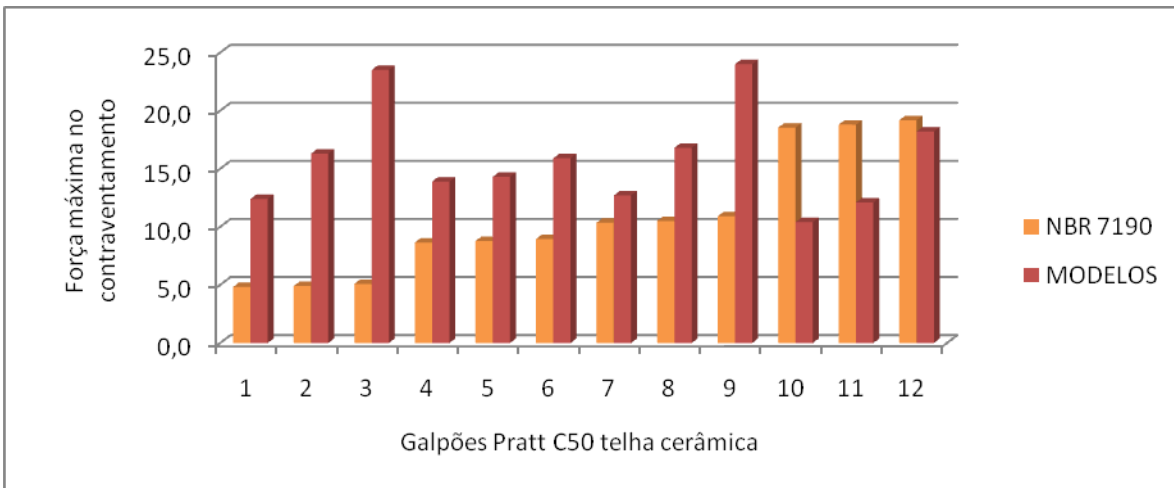


Gráfico 33 - Colunas comparativas do método EUROCODE 5 (PRATT C50 telha cerâmica)

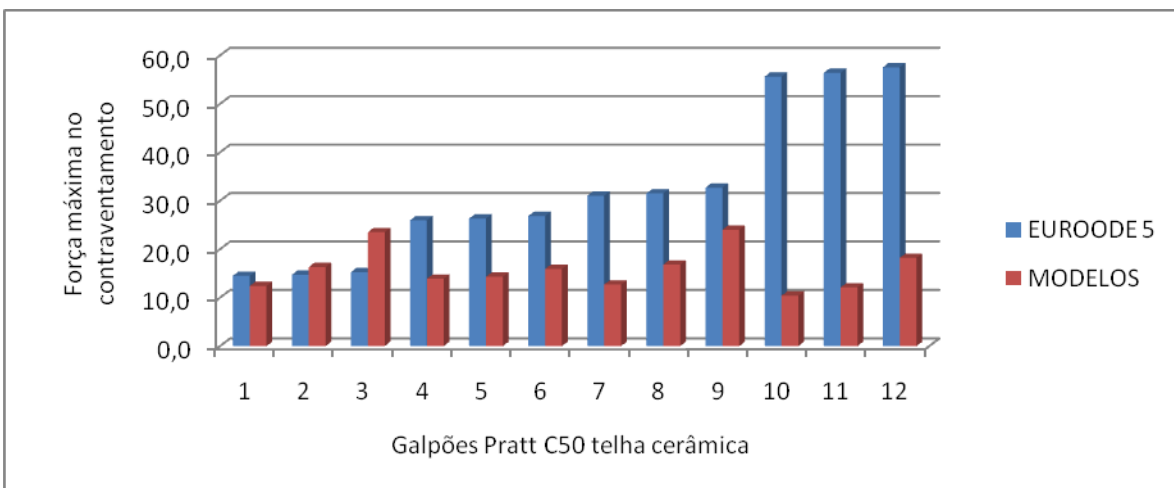


Gráfico 34 - Colunas comparativas do método UNDERWOOD (PRATT C50 telha cerâmica)

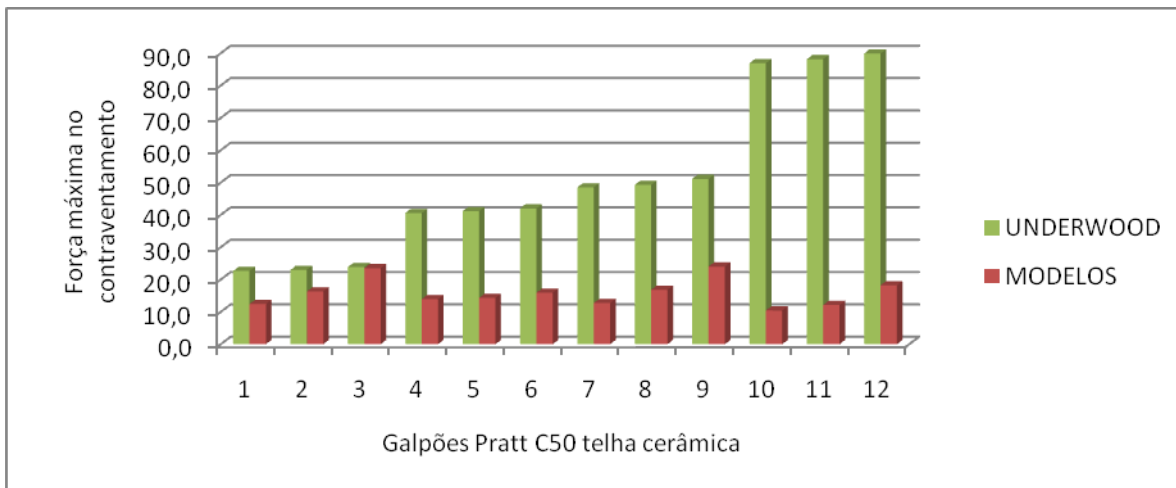
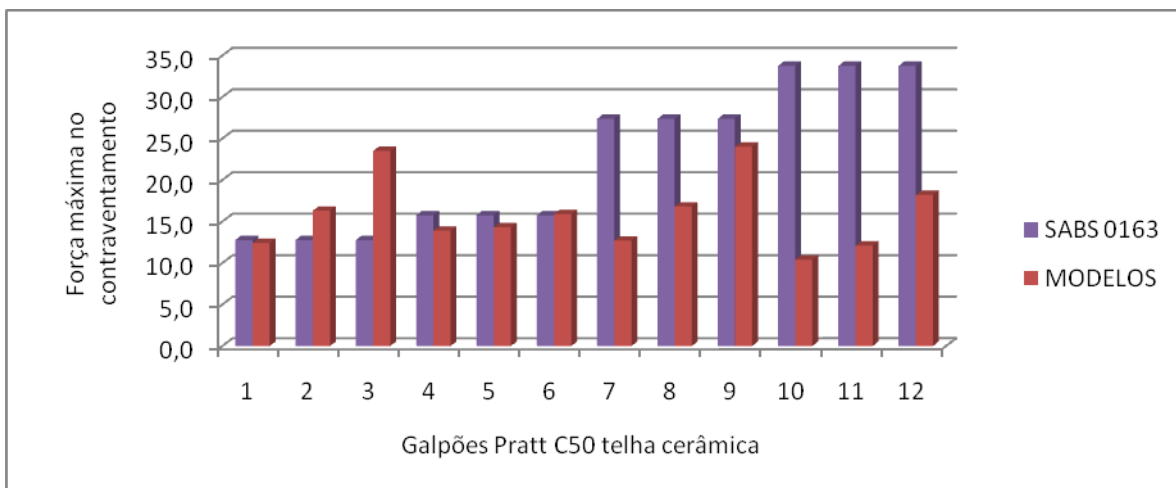


Gráfico 35 - Colunas comparativas do método SABS 0163 (PRATT C50 telha cerâmica)



5.8 Comparativo entre tipos de treliças e classes de resistência

A seguir são comparados os tipos de treliças e classes de madeira.

Tabela 5.29 - Forças de compressão máximas nos banzos das treliças de telha fibrocimento

Galpão	HOWE C50	PRATT C50	HOWE C30	PRATT C30	PRATT C50 madeira
1	92,3	94,0	88,2	89,8	100,2
2	95,9	97,7	91,7	93,5	103,6
3	100,4	102,3	96,2	98,1	107,9
4	92,2	93,8	88,1	89,8	101,0
5	95,8	97,5	91,7	93,5	104,5
6	92,5	94,2	91,6	97,9	101,4
7	149,7	152,5	156,8	164,6	157,3
8	155,3	158,2	166,7	170,4	162,8
9	162,4	165,4	173,8	177,7	169,7
10	148,2	153,0	159,0	165,1	164,2
11	153,8	158,8	164,7	170,9	169,9
12	160,9	166,1	171,7	180,5	177,1
13	209,2	216,6	214,3	224,4	233,8
14	238,1	246,0	241,2	248,9	263,5
15	245,6	254,0	248,6	256,9	271,3
16	254,0	263,2	257,0	266,2	280,2
17	307,3	318,1	314,9	324,9	343,2
18	230,6	243,2	239,6	245,7	261,0
19	244,0	251,3	247,2	253,8	269,0
20	236,4	243,2	239,6	245,7	261,1
21	293,4	296,4	295,2	298,4	322,0

Gráfico 36 - Colunas comparativas das forças (kN) de compressão máximas nos banzos

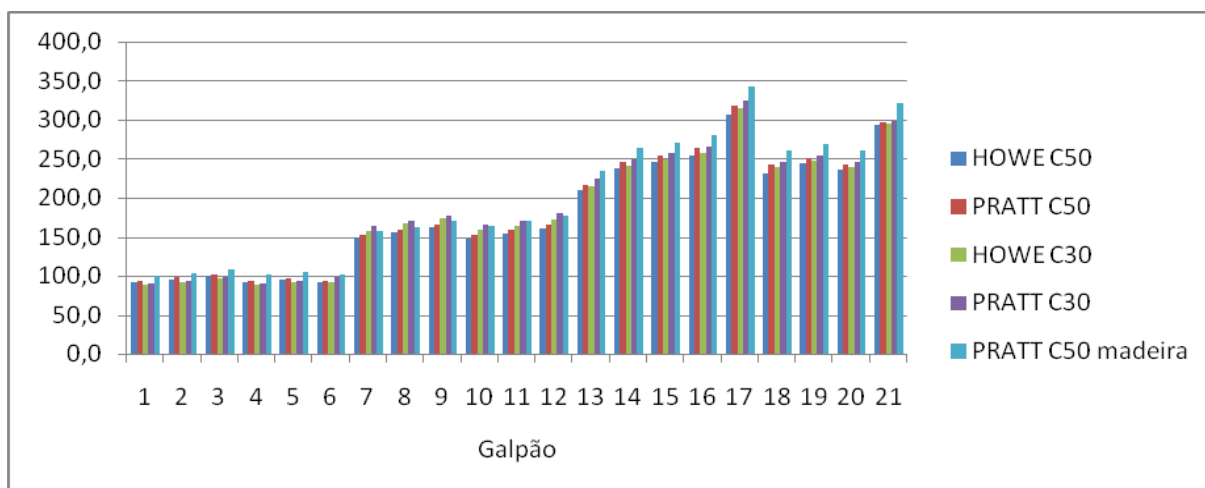
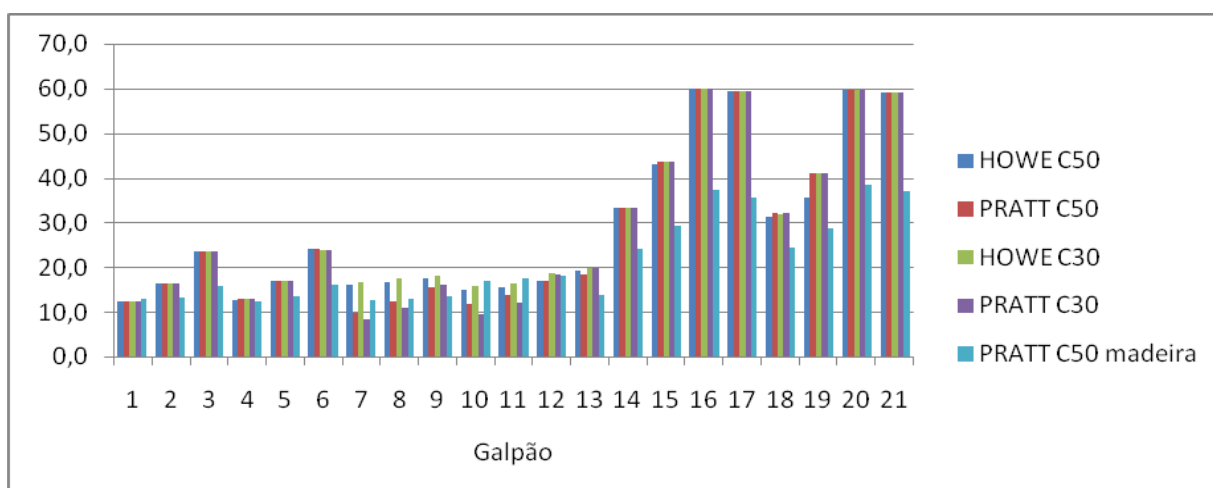


Tabela 5.30 - Forças de compressão máximas no contraventamento

Galpão	HOWE C50	PRATT C50	HOWE C30	PRATT C30	PRATT C50 madeira
1	12,4	12,4	12,4	12,4	12,8
2	16,3	16,3	16,3	16,3	13,3
3	23,5	23,5	23,5	23,5	15,8
4	12,8	12,8	12,8	12,8	12,4
5	16,9	16,9	16,9	16,9	13,5
6	24,0	24,0	23,8	23,8	16,1
7	16,1	9,7	16,7	8,4	12,5
8	16,7	12,4	17,4	11,0	12,9
9	17,5	15,4	18,2	16,1	13,4
10	14,8	11,9	15,7	9,4	17,0
11	15,4	13,7	16,3	12,1	17,4
12	17,0	17,0	18,7	18,4	18,0
13	19,1	18,5	19,9	19,7	13,7
14	33,2	33,3	33,2	33,4	24,2
15	43,1	43,5	43,5	43,6	29,3
16	60,0	60,0	60,0	60,0	37,3
17	59,3	59,3	59,3	59,4	35,7
18	31,4	32,1	31,9	32,2	24,3
19	35,5	41,0	40,9	41,1	28,8
20	59,6	59,6	59,6	59,7	38,5
21	59,2	59,2	59,2	59,2	36,9

Gráfico 37 - Colunas comparativas das forças (kN) de compressão máximas no contraventamento



5.9 Comparativo entre tipos de telhas

Os gráficos comparam as forças máximas de compressão nas treliças e no contraventamento dos galpões.

Tabela 5.31 - Forças de compressão máximas nos banzos das treliças Pratt C50

Galpão	METÁLICA	FIBROCIMENTO	CERÂMICA
1	71,0	94,0	167,6
2	75,9	97,7	167,5
3	80,4	102,3	175,9
4	72,2	93,8	167,7
5	75,9	97,5	171,4
6	105,7	94,2	176,0
7	121,0	152,5	288,1
8	126,7	158,2	293,9
9	134,0	165,4	301,2
10	121,0	153,0	290,3
11	126,8	158,8	296,2
12	134,1	166,1	303,6
13	171,4	216,6	
14	195,0	246,0	
15	202,9	254,0	
16	212,7	263,2	
17	258,4	318,1	
18	192,1	243,2	
19	200,1	251,3	
20	192,1	243,2	
21	237,6	316,3	

Gráfico 38 - Colunas das forças máximas de compressão nos banzos

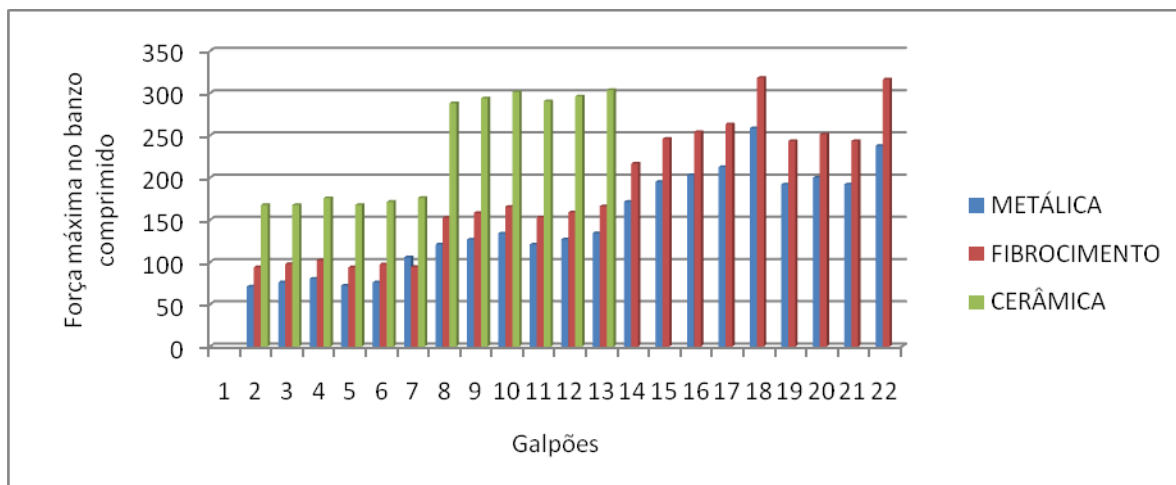


Tabela 5.32 - Forças de compressão máximas no contraventamento das treliças Pratt C50

Galpão	METÁLICA	FIBROCIMENTO	CERÂMICA
1	12,4	12,4	12,4
2	16,3	16,3	16,3
3	23,5	23,5	23,5
4	12,7	12,8	12,7
5	16,8	16,9	16,8
6	23,9	24,0	24,0
7	13,0	9,7	13,9
8	15,7	12,4	14,3
9	18,4	15,4	15,9
10	16,2	11,9	10,4
11	18,0	13,7	12,1
12	20,8	17,0	18,2
13	19,1	18,5	
14	33,2	33,3	
15	43,1	43,5	
16	60,0	60,0	
17	59,3	59,3	
18	32,0	32,1	
19	40,9	41,0	
20	59,6	59,6	
21	59,2	59,2	

Gráfico 39 - Colunas das forças máximas de compressão no contraventamento

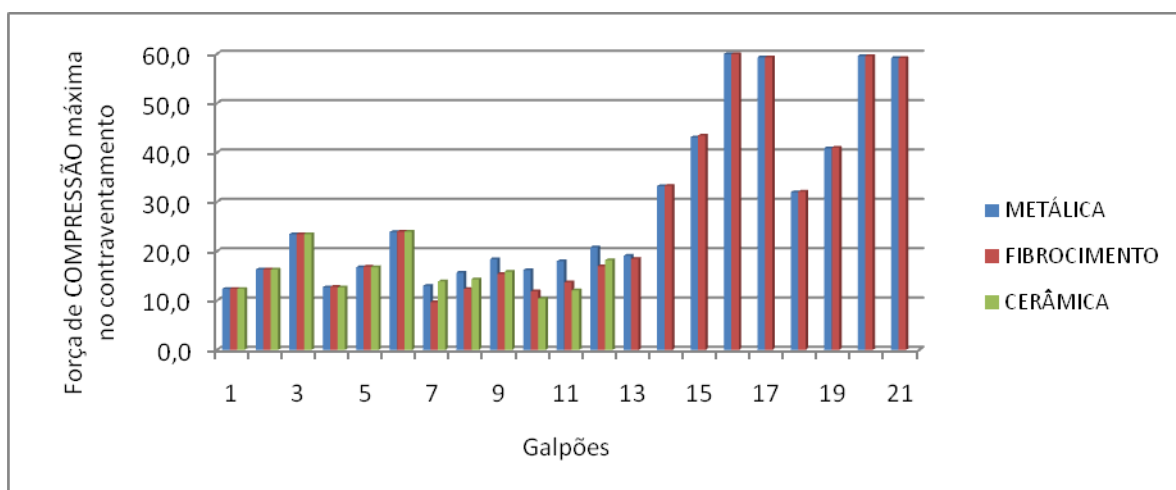
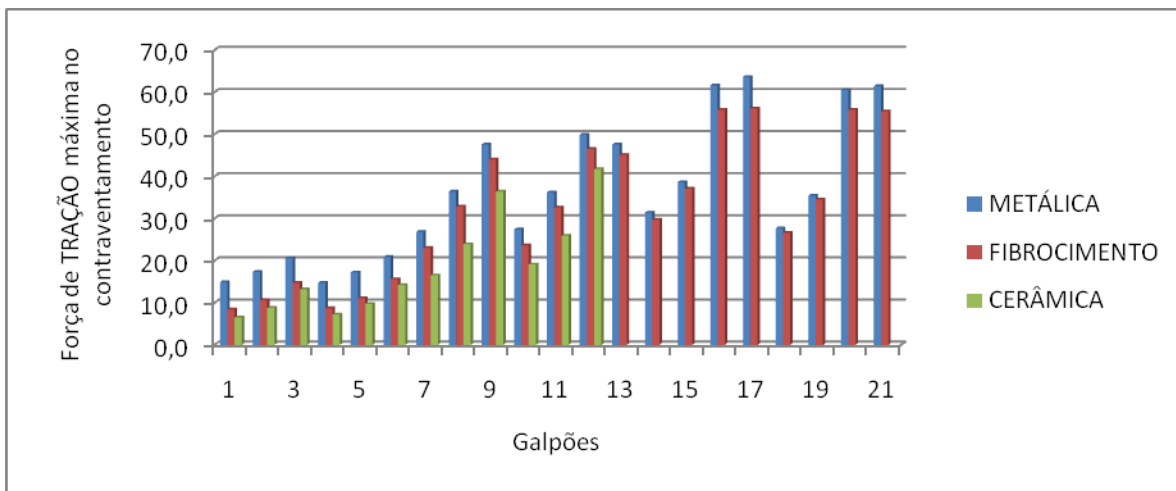


Tabela 5.33 - Forças de tração máximas no contraventamento das treliças Pratt C50

Galpão	METÁLICA	FIBROCIMENTO	CERÂMICA
1	14,9	8,4	6,5
2	17,3	10,6	8,8
3	20,6	14,7	13,2
4	14,7	8,7	7,2
5	17,2	11,1	9,7
6	20,9	15,6	14,2
7	26,8	23,0	16,5
8	36,4	32,8	23,9
9	47,6	44,0	36,4
10	27,4	23,6	19,1
11	36,2	32,6	25,9
12	49,9	46,5	41,7
13	47,6	45,1	
14	31,4	29,7	
15	38,6	37,1	
16	61,6	55,8	
17	63,6	56,1	
18	27,7	26,6	
19	35,4	34,5	
20	60,5	55,8	
21	61,4	55,4	

Gráfico 40 - Colunas das forças máximas de tração no contraventamento



5.10 Considerações sobre a análise dos resultados

O método da NBR 7190 (1997) apresentou todos os valores inferiores aos modelos computacionais, com exceção do Galpão 18 (24x96 z=3 e=3 n=31).

O método do EUROCODE 5 mostrou valores superiores aos observados em cerca 75% dos modelos. Para os modelos com contraventamento de madeira a margem de valores superiores aos dos modelos computacionais sobe para 85%.

O método apresentado por UNDERWOOD (2000) apresentou valores superiores em cerca 90% dos modelos estudados.

O método do SABS 0163 apresentou valores inferiores a quase todos os modelos.

As mudanças de tipo de treliça (Howe e Pratt), de classe de resistência (C30 e C50) e de tipo de telha (metálica, fibrocimento e cerâmica) nos modelos, apresentaram valores próximos, sem variações significativas, das forças de compressão máximas nos banzos das treliças e no contraventamento.

O modelo com contraventamento em madeira apresentou valores das forças máximas no contraventamento inferiores aos modelos com contraventamento de aço.

6 CONCLUSÕES

O método da NBR 7190 (1997) de estimativa da força mínima em barras integrantes do contraventamento de estruturas treliçadas leva a valores inferiores aos obtidos nos modelos tridimensionais que consideram o funcionamento global da estrutura. Apresentam, assim, valores que possam comprometer a segurança das referidas estruturas.

Os métodos da NBR 7190 (1997) e do SABS 0163 apresentaram quase todos os valores inferiores aos obtidos na análise tridimensional.

As formulações propostas pelo EUROCODE 5 apresentaram valores das forças no contraventamento próximos aos obtidos nos modelos computacionais, com 75% de valores superiores.

O método apresentado por UNDERWOOD (2000) apresentou 90% dos valores superiores aos obtidos nos modelos tridimensionais.

O aumento do número de treliças paralelas nos modelos tridimensionais não provocou aumento da força no contraventamento, ao contrário de que ocorre nos métodos baseados na instabilidade lateral dos elementos.

A variação do tipo de treliça entre Howe e Pratt, da classe de resistência da madeira entre C30 e C50, e do tipo de telha entre metálica, fibrocimento e cerâmica, apresentou valores de forças no contraventamento similares, mostrando-se praticamente neutra na análise realizada. Também não foram observadas diferenças significativas da força no contraventamento quando variados os espaçamentos entre treliças de três para quatro metros. De acordo com o que consta no Gráfico 37, Gráfico 39 e Gráfico 40.

Portanto, os valores das forças máximas nos elementos do contraventamento, segundo o funcionamento global das estruturas estudadas neste trabalho, se relacionam com o vão da treliça e a altura do pilar que a sustenta, os quais determinam as ações dos ventos na estrutura.

Sugere-se, finalmente, que os projetos de estruturas treliçadas para cobertura sejam desenvolvidos considerando o funcionamento global da estrutura ou outras análises mais

refinadas, tendo em vista as ferramentas computacionais hoje disponíveis à análise estrutural. Deste modo, serão evitados eventuais problemas decorrentes da adoção dos parâmetros propostos pela NBR7190 (1997) no tocante às forças nas barras integrantes do contraventamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190 Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BARALDI, L. T. Ação diafragma de cobertura aplicada às construções em pórtico de madeira. São Carlos: SET/EESC/USP (tese de doutorado), 2001.

CALIL JR., C. Trelças de madeira para coberturas. Apostila. São Carlos : EESC/SAP, s.d.

CALIL JR., C.; ROCCO LAHR, F. A.; DIAS, A. A. Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira. Barueri: Manole, 2003.

CALIL JR., C. South America Timber Structures Code. Concepción, Chile: Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology, 2008.

CORDOVIL, F. A. B. Contraventamento de peças comprimidas. São Carlos: vii ebramem, 2000.

FRUCHTENGARTEN, J. Dimensionamento de estruturas de aço. São Paulo: Núcleo de Tecnologia da Construção Metálica, 1988.

GONÇALVES, R. M. et al. Ação do vento nas edificações: teoria e exemplos. São Carlos: SET/EESC/USP, 2007.

MADSEN, B. Structural Behaviour of Timber. Vancouver: Timber Engineering, 1992.

MADSEN, B. Behaviour of Timber Connections. Vancouver: Timber Engineering, 2000.

PFEIL, W.; PFIEL, M. Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: LCT, 2003.

RAMPAZZO, S. E.; SPONCHIADO, M. O uso da madeira de reflorestamento na construção civil em enfoque na habitação. Erechim: Revista de Pesquisa e Pós-Graduação, 2000.

ROCCO LAHR, F. A. et al. Contribuição do contraventamento no cálculo de estruturas treliçadas espaciais de madeira. Londrina: xi ebramem, 2008.

SANTOS, L. B.; MORALES, E. A. M.; ROCCO LAHR, F. A. Algumas considerações sobre os critérios propostos pela NBR 7190(1997) para a verificação da segurança em pilares de madeira. Uberlândia: viii ebramem, 2002.

SANTOS, L. B.; ROCCO LAHR, F. A.; CÉSAR, S. F. Curvas de flambagem para dimensionamento de elementos comprimidos em estruturas de madeira. Cuiabá: ix ebramem, 2004.

UNDERWOOD, C. R. Permanent bracing design for MPC Wood roof truss webs and chords. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University (master of science thesis), 2000.