

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SOLUÇÕES  
ESTRUTURAIS EM AÇO PARA TELHADOS COLONIAIS**

**MIRVANE VASCONCELOS SANTOS MELO**

Ouro Preto, dezembro de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SOLUÇÕES  
ESTRUTURAIS EM AÇO PARA TELHADOS COLONIAIS**

**MIRVANE VASCONCELOS SANTOS MELO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula

Ouro Preto, dezembro de 2011

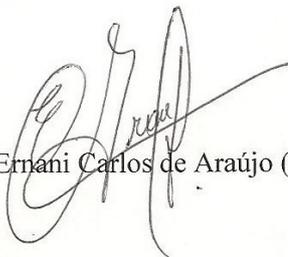
**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS EM AÇO  
PARA TELHADOS COLONIAIS**

**AUTORA: MIRVANE VASCONCELOS SANTOS MELO**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 06 de dezembro de 2011, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula (Orientador / UFOP)



Prof. Dr. Ernani Carlos de Araújo (UFOP)



Prof. Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr (USP)

## **Dedicatória**

À amiga Gislayne E. Gonçalves, pela amizade sincera, incentivo, apoio e constante colaboração para a execução deste trabalho. Muito Obrigada!

## **Agradecimentos**

A Deus, pela força e coragem para buscar a conclusão desta dissertação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula que com sua dedicação, paciência e conhecimentos, me fez tornar real este trabalho que é, pra mim, mais que um trabalho de pesquisa e sim um sonho conquistado.

Ao bolsista de iniciação científica e graduando em engenharia civil Francisco de Assis G. Silvério pela valiosa e indispensável colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Dr. Ernani Carlos de Araujo, Dr. Henor Artur de Souza e mestre Jaime Florencio Martins, pela atenção, conhecimentos e disposição na busca da conclusão deste ideal.

À Marcela Grobério, pela amizade e por acreditar em mim.

A todos os meus amigos do mestrado pelos momentos de companheirismo e aprendizado conquistado.

Aos familiares e amigos pelas orações e apoio.

À Universidade Federal de Ouro Preto, pela grande oportunidade e formação profissional.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida através da Universidade Federal de Ouro Preto.

## Resumo

Neste trabalho foi realizado um estudo focado na avaliação do desempenho das soluções estruturais em aço visando à aplicação em telhados coloniais. As tipologias estruturais consistem em tesouras metálicas do tipo Howe, Howe simplificada, Pratt e Fink empregadas em coberturas coloniais de duas águas e direcionadas para a arquitetura de pequenos e médios vãos, constituídas por perfis formados a frio. A metodologia adotada levou-se em consideração a variação de características que influencia na resposta estrutural do objeto de estudo como os vãos livres de 06, 08, 10, 12 metros, espaçamentos entre tesouras de 1,50; 2,00 e 3,00 metros e pé direito da edificação de 3,00 metros, comprimento longitudinal da edificação de 12,00 e 18,00 metros. O estudo destas variações de características possibilitou desenvolver 48 modelos estruturais que foram analisados no programa computacional SAP 2000, versão 11. O dimensionamento dos elementos constituintes das tesouras foi realizado em planilhas elaboradas no programa computacional Microsoft Excel, versão 2007, de acordo com as prescrições da norma brasileira para o dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Para avaliar a eficiência do sistema estrutural utilizou-se como parâmetro de avaliação tanto a taxa de consumo de aço e a resposta estrutural quanto ao desempenho das tesouras.

Palavras-chave: telhados coloniais, avaliação do desempenho, tesouras metálicas, perfis leves.

## **Abstract**

In this paper a study was carried out focused on performance evaluation of the structural steel solutions aiming at the application in colonial roofs. The structural typologies consist of metal shears like Howe, Howe simplified, Pratt and Fink used in colonial roofs of two slopes and directed to the architecture of small and medium spans, consisted of cold formed steel. In the methodology adopted it was taken into account the variation of characteristics that influence on structural response of the object of study such as the free spans of 06, 08, 10, 12 meters, spacing among shears of 1.50, 2.00 and 3.00 meters and the building right foot of 3.00 meters, the longitudinal length of the building of 12.00 and 18.00 meters. The study of these variations of characteristics made it possible to develop 48 structural models that were analyzed using the SAP 2000 computer program, version 11. The sizing of the constituent elements of the shears was performed in spreadsheets elaborated in the computer program Microsoft Excel, version 2007, according to the requirements of the Brazilian standard for sizing of steel structures consisting of cold-formed profiles. To evaluate the efficiency of the structural system it was used as evaluation parameter both the rate of consumption of steel and the structural response for performance of the shears.

**Key words: colonial roofs, performance evaluation, metal shears, light profiles.**

## Lista de Figuras

Figura 2.1 - Telhado tipo uma água, o qual consiste em um plano com inclinação lateral: (a) elevação e (b) planta.....	8
Figura 2.2 - Telhado tipo duas águas os dois planos se encontram no meio do vão da planta, seguindo uma aresta de nível, denominada cumeeira: (a) elevação e (b) planta. ....	9
Figura 2.3 - Forma triangular da planta fornece uma solução para o telhado que consiste em três tacaniças ou águas triangulares iguais: (a) elevação e (b) planta. ....	10
Figura 2.4 - Telhado em formato quadrado as quatro águas são iguais entre si formando um vértice, sem cumeeira: (a) elevação e (b) planta.....	11
Figura 2.5 - Telhado de quatro águas, as águas são iguais e opostas simetricamente duas a duas. As águas trapezoidais denominam-se águas mestras e as triangulares são chamadas de espigões: (a) elevação e (b) planta .....	12
Figura 2.6 - Telhados cônicos utilizados para cobrir plantas circulares: (a) elevação e (b) planta .....	13
Figura 2.7 - Telhado poligonal devera ter tantas águas conforme a planta poligonal tiver: (a) elevação (b) planta .....	14
Figura 2.8 - Telhados composto, podem cobrir plantas de formatos variados iguais ou diferentes, com formas geométricas infinitas elaboradas a luz da imaginação do arquiteto: (a) elevação e (b) planta. ....	15
Figura 2.9 - Cobertura denominada cúpula ou domo é uma abóbada semi-esférica ou esteróide: (a) elevação e (b) planta .....	16
Figura 2.10 - Telhado shed, caracteriza - se por telhas em forma de dente de serra contendo uma face de pouca inclinação e outra quase vertical: (a) elevação e (b) planta .....	17
Figura 2.11- Telhas cerâmicas do tipo colonial.....	19
Figura 2.12- Elementos estruturais componentes dos telhados coloniais.....	21
Figura 2.13- Tesoura canga-de-porco ou caibro armado. (Fonte: REIS, 1996) .....	22

Figura 2.14 - Tesoura canga-de-porco com linha baixa. (Fonte: REIS, 1996) .....	23
Figura 2.15 - Tesoura pendural ou tesoura treliçada ou asna vulgar. (Fonte: REIS, 1996) .....	23
Figura 2.16 - Tesoura com linhas cruzadas. (Fonte: REIS, 1996).....	23
Figura 2.17 - Treliça Alemã.....	26
Figura 2.18 - Treliça Howe ou Inglesa. ....	26
Figura 2.19 - Treliça Pratt .....	26
Figura 2.20 - Treliça Belga .....	26
Figura 2.21 - Treliça Fink, Polonceau ou Wiegman.....	27
Figura 2.22 - Treliça Warren .....	27
Figura 2.23- Treliça Russa .....	27
Figura 2.24 - Treliça Bowstring .....	27
Figura 2.25 - Variação da treliça Bowstring .....	28
Figura 2.26 - Treliça de Marquise .....	28
Figura 2.27 - Treliça Shed (dente de serra) .....	28
Figura 3.1 - Desenhos esquemáticos para demonstração dos diagramas de cobertura 6,00 x 12,00m (a), 6,00 x 18,00m (b) .....	37
Figura 3.2 - Desenhos esquemáticos para demonstração da Treliça Howe Simplificada (a), Treliça Howe (b), Treliça Pratt (c), Treliça Fink (d).....	40
Figura 3.3 - Perfil U enrijecido .....	41
Figura 4.1 - Atuação da ação permanente (G e F) treliça modelo TH.....	43
Figura 4.2 - Atuação da sobrecarga na treliça modelo TH .....	44
Figura 4.3 - Análise SAP para treliça Howe Simplificada (vão 6-espacamento 1,50).....	47
Figura 4.4- Análise SAP para treliça Howe Simplifica-esforços (espacamento 1,50) .....	47
Figura 4.5 - Análise SAP para treliça Howe Simplificada-deformação (vão 6m – espacamento 1,50m).....	48
Figura 4.6- Análise SAP para treliça Howe (vão 6m - espacamento 1,50m) .....	48
Figura 4.7-Análise SAP para treliça Howe - esforços(vão 6m – espacamento 1,50m).....	49
Figura 4.8- Análise SAP para treliça Howe - deformação (vão 6m - espacamento 1,50m) .....	49

Figura 4.9- Análise SAP para treliça Pratt(vão 6m - espaçamento 1,50) .....	50
Figura 4.10-Análise SAP para treliça Pratt - esforços (vão 6m - espaçamento 1,50m) .....	50
Figura 4.11-Análise SAP para treliça Pratt - deformação (vão 6m - espaçamento1,50m) .....	51
Figura 4.12- Análise SAP para treliça Fink (vão 6m - espaçamento 1,50m) .....	51
Figura 4.13- Análise SAP para treliça Fink - esforços (vão 6m e espaçamento 1,50m) .....	52
Figura 4.14- Análise SAP para treliça Fink - deformação (vão 6m e espaçamento 1,50m) .....	52
Figura 5.1- Posição dos perfis U enrijecido no modelo tipo TH .....	64
Figura 5.2- Taxa de consumo de aço global para as tipologias TH, TF, TP e THS em função do espaçamento de 1,50 m.....	82
Figura5. 3- Taxa de consumo de aço global para as tipologias TH, TF, TP e THS em Função do espaçamento de 1,50.....	84
Figura 5.4 - Taxa de consumo de aço global para as tipologias TH, TF, TP e THS em função do espaçamento de 3,00 .....	84
Figura 5.5- Taxa de consumo de aço tesoura Fink, admitindo os espaçamentos de 1,50m, 2,00m e 3,00 m .....	84

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Parâmetros considerados no estudo crítico.....	38
Tabela 4.1 - Ação permanente na treliça modelo TH.....	43
Tabela 4.2 - Sobrecarga de cobertura para treliça modelo TH.....	44
Tabela 4.3 - Resultado dos esforços solicitante para treliça modelo TH.....	53
Tabela 4.4 - Coeficiente de flambagem local $k_l$ para a seção complementar em barra sob compressão centrada. ....	59
Tabela 4.5 - Valores mínimos da relação $D/b_w$ de barras com seção U enrijecido e seção Z enrijecido submetidas à compressão, para dispensar a verificação da flambagem distorcional.....	60
Tabela 4.6 - Valores do coeficiente de flambagem local $K_l$ para barras sob compres são centrada.....	63
Tabela 5.1 - Relação dos perfis constituintes das barras pertencentes aos modelos estruturais.....	65
Tabela 5.2 - Treliça Howe simplificada (vão 6m - espaçamento 1,50m) .....	66
Tabela 5.3 - Treliça Howe simplificada (vão 6m - espaçamento 2,00m) .....	67
Tabela 5.4 - Treliça Howe simplificada (vão 6m - espaçamento 3,00m) .....	68
Tabela 5.5 - Treliça Howe simplificada (vão 8m - espaçamento 1,50m) .....	69
Tabela 5.6 - Treliça Howe simplificada (vão 8m - espaçamento 1,50m) .....	70
Tabela 5.7 - Treliça Howe simplificada (vão 8m - espaçamento 3,00m) .....	71
Tabela 5.8 - Treliça Howe simplificada (vão 8m - espaçamento 3,00m) .....	72
Tabela 5.9 - Treliça Howe simplificada (vão 10m - espaçamento 2,00m) .....	73
Tabela 5.10 - Treliça Howe simplificada (vão 10m - espaçamento 3,00m) .....	74
Tabela 5.11 - Treliça Howe simplificada (vão 12m - espaçamento 1,50m) .....	75
Tabela 5.12 - Treliça Howe simplificada (vão 12m - espaçamento 2,00m) .....	76
Tabela 5.13 - Treliça Howe simplificada (vão 12m - espaçamento 3,00m) .....	77
Tabela 5.14 - Treliça Howe (vão 6m - espaçamento 1,50m).....	78
Tabela 5.15 - Treliça Howe (vão 6m - espaçamento 2,00m) .....	79

Tabela 5.16 - Treliça Howe (vão 6m - espaçamento 3,00m) .....	80
Tabela 5.17 - Treliça Howe (vão 8m - espaçamento 1,50m) .....	81
Tabela 5.18 - Consumo de aço para a tesoura Fink.....	84

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2 Motivações para Desenvolvimento do Trabalho</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>4</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 Telhados</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2 Tipos de Coberturas</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 <i>Elementos da Geometria dos Telhados</i> .....	<b>18</b>
2.2.2 <i>Tipos de Telhas</i> .....	<b>18</b>
<b>2.3 Elementos Estruturais Componentes dos Telhados</b> .....	<b>19</b>
<b>2.4 Principais Tipologias Estruturais de Telhados no Período Colonial</b> .....	<b>21</b>
<b>2.5 Algumas Considerações Sobre Tesouras</b> .....	<b>24</b>
<b>2.6 Tipologias Estruturais Isostáticas Utilizadas em Coberturas</b> .....	<b>25</b>
<b>2.7 A Evolução da Resistência do Ferro Fundido e das Estruturas de Aço na Construção Civil</b> .....	<b>30</b>
<b>2.8 O Avanço do Uso do Aço na Recuperação dos Telhados Coloniais</b> .....	<b>30</b>
<b>2.9 Considerações sobre os Perfis Formados a Frio</b> .....	<b>31</b>
2.9.1 <i>Trabalho a Frio</i> .....	<b>32</b>
<b>3 SELEÇÃO DE PARÂMETROS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTU- DO</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 Considerações Preliminares</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2 Variação dos Parâmetros</b> .....	<b>35</b>
<b>3.3 Definição dos Modelos</b> .....	<b>36</b>
<b>3.4 Materiais Utilizados</b> .....	<b>41</b>
<b>4 ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DOS MODELOS</b> .....	<b>42</b>
<b>4.1 Ações Atuantes</b> .....	<b>42</b>
4.1.1 <i>Ações Permanentes (G)</i> .....	<b>42</b>
4.1.2 <i>Ações Variáveis</i> .....	<b>43</b>
4.1.2.1 <i>Sobrecarga de Cobertura (Q)</i> .....	<b>44</b>

4.1.2.2 Ação dos Ventos (V).....	45
<b>4.2 Combinações de Ações.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 Análise Estrutural.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4 Dimensionamento dos Modelos Estruturais.....</b>	<b>54</b>
4.4.1 <i>Generalidades</i> .....	54
4.4.2 <i>Roteiro para o dimensionamento de perfis formados a frio submetidos a esforços..</i> <i>axiais</i> .....	55
4.4.2.1 - Barras submetidas à força axial de tração .....	55
4.4.2.2 Barras submetidas à força axial de compressão.....	56
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>85</b>
<b>6.1 Conclusões .....</b>	<b>85</b>
<b>6.2 Sugestões .....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES.....</b>	<b>90</b>

# 1 INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas são utilizadas em escala industrial desde 1750. No entanto, o uso de estruturas metálicas no Brasil teve início somente em 1812. Acredita-se a construção da Ponte de Paraíba do Sul foi à primeira obra a empregar o ferro fundido, no Estado do Rio de Janeiro, cuja data de construção é de 1857. (NOGUEIRA, 2009).

Entretanto, o grande avanço na fabricação de perfis em larga escala no Brasil ocorreu com a implantação das grandes siderúrgicas e graças aos avanços tecnológicos da siderurgia que a construção civil é hoje um importante setor de consumo de aço em todo o mundo. Diversos tipos de perfis de aço podem ser empregados na composição da estrutura, mas o uso de perfis de aço formados a frio conhecido como PFF é muito difundido em diversas aplicações, principalmente devido às reduzidas taxas de consumo de aço por unidade de área alcançada nos projetos. Em função disso, a oferta de PFF aumentou significativamente no mercado brasileiro. (TEOBALDO, 2004).

A ampliação e a modernização das usinas nacionais processaram um efeito multiplicador que permitiu alcançar elevados índices de produtividade e de qualidade. O Brasil passou da tradicional condição de importador para a condição de exportador de aço e assim incentivou o emprego nacional das estruturas metálicas em diferentes áreas da construção civil. A partir deste momento o aço passou realmente a ser uma interessante alternativa ao concreto armado e a madeira, pois é um material que pode ser usado em todos os níveis da reabilitação estrutural.

Segundo Brasil (2008), a construção civil, no país, utiliza a madeira como principal material estrutural para a construção dos elementos que compõem os telhados coloniais, sobretudo, as tesouras ou treliças. Porém, devido às leis ambientais empregadas no controle do uso deste material, o aço surge como uma alternativa a esta demanda. Além disso, é necessário destacar que os programas mais ambiciosos para o desenvolvimento das indústrias siderúrgicas foram elaborados no Brasil.

Ademais, em decorrência do mercado competitivo e globalizado, o custo dos empreendimentos é um parâmetro decisivo para o sucesso de qualquer negócio e no mercado da construção civil não é diferente, em particular, para as empresas fabricantes

de estruturas metálicas. Os produtos contemporâneos devem conjugar aspectos fundamentais, tais como qualidade, velocidade de execução, durabilidade e custo, garantindo assim a competitividade no mercado.

Dentre os diversos aspectos relacionados à construção metálica, destacam-se a maior resistência mecânica do aço quando comparada às dos outros materiais, a eficiência de construções industrializadas, flexibilidade das soluções arquitetônicas e estruturais, facilidade de montagem e desmontagem, além da facilidade de reforço e ampliação. Como conseqüências diretas destas características, podem-se obter ganhos como alívio das fundações, aumento da área útil da construção, redução do tempo de execução da obra, diminuição da área disponível no terreno reservada ao canteiro de obras, dentre outros. Vale ressaltar a importância do desenvolvimento dos softwares que proporcionam velocidade e eficiência da atividade de projetar na arquitetura e nas engenharias. A utilização destes softwares viabiliza ferramentas eficazes, o que tornam as empresas mais eficientes e proporcionam uma maneira hábil de se identificar a melhor solução para os projetos dentre as inúmeras soluções disponíveis.

O projeto de uma estrutura é um processo que envolve diversas etapas como a definição do sistema estrutural, identificação e quantificação de ações, escolha de materiais, análise estrutural, dimensionamento das tipologias, detalhamento, especificações, etc. O resultado final representa uma síntese de decisões que são tomadas, ao longo do desenvolvimento do projeto.

Em se tratando de projeto de estrutura metálica existe uma ampla gama de possibilidades que pode ser adotada. Normalmente, o projetista deve ser capaz de definir a solução mais adequada para o arranjo estrutural dentre as diversas soluções possíveis, mesmo sem realizar inúmeras simulações de projeto. Há algum tempo, isso só era viável com base em uma grande experiência do profissional. A informática, por meio do avanço no desenvolvimento de programas computacionais, tornou possível a simulação do desempenho de diversas tipologias estruturais, antes de se tomar uma decisão final sobre a melhor solução a ser adotada. (BRASIL, 2008).

No caso específico do projeto de telhados coloniais, nota-se que o conhecimento necessário para se decidir quanto à tipologia estrutural mais eficiente e adequada, ainda não é um assunto amplamente difundido no meio técnico da construção civil.

A partir dos resultados desta pesquisa, espera-se contribuir para as áreas de arquitetura e engenharia na seleção de tesouras mais competitivas, buscando a tipologia com menor consumo de aço e melhor desempenho estrutural, em relação a outros materiais que estão no mercado. Neste contexto, busca-se obter estruturas de telhados mais produtivas e adequadas para a concepção dos projetos afins, além de propor o uso de tipologias que tenham uma estética aceitável facilitando o início de uma quebra da resistência cultural do emprego do aço por parte do consumidor final.

## **1.1 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de soluções estruturais em aço para telhados coloniais, ou seja, as tesouras isostáticas, compostas por perfis formados a frio.

Os objetivos específicos são:

- Identificar tipologias típicas utilizados na concepção de telhados coloniais;
- Determinar a taxa de consumo de aço de cada estrutura;
- Comparar a taxa de consumo de aço e a resposta estrutural dos modelos;
- Avaliar a eficiência das soluções estruturais selecionadas.

## **1.2 Motivações para Desenvolvimento do Trabalho**

Neste país, o uso da madeira na construção de telhados é uma prática adotada desde a época do Brasil colônia. Mas uma questão ainda não completamente compreendida é possivelmente a falta do desenvolvimento de uma tecnologia aplicável em escalas comerciais que atenda à demanda deste mercado, para a confecção destes sistemas estruturais no contexto atual. Entretanto, devem ser considerados também, no âmbito das restaurações, manutenção e recuperação das coberturas coloniais os problemas patológicos que permeiam o uso da madeira, como a umidade, ação de insetos, cupins, etc. Outro aspecto preocupante que vem tornando inviável a utilização da madeira na construção civil é a questão ambiental, na qual as ações do IBAMA e demais órgãos afins atuam na preservação das florestas naturais. Estas ações juntamente

com certas políticas governamentais, que por razões ainda não completamente compreendidas, não tem progredido como deveria, com o fomento agrícola na plantação de florestas artificiais, para atender a demanda do mercado. Dentro deste contexto, o aço surge como uma alternativa em potencial para a construção das estruturas de telhados em situações diversificadas.

O Brasil tem se destacado com projetos de alta qualidade e como resposta positivas a fabricação e montagem de estruturas metálicas comparáveis aos países do primeiro mundo. Portanto, pretende-se estar agregando valores de cunho tecnológico a este referido histórico com a contribuição deste trabalho, numa alternativa que atenda ao mercado com economia e racionalização de seus procedimentos construtivos, aplicáveis a telhados de edificações contemporâneas e históricas.

Observa-se ainda que no Brasil há uma resistência cultural, já relatada anteriormente, quanto ao uso do aço na construção, recuperação e restauração de telhados coloniais. Essa resistência aliada a fatores como a escassez da madeira, fatores patológicos, bem como a falta de mão de obra qualificada para serviços de carpintaria da madeira aplicados às estruturas de telhados, como as tesouras, pode-se justificar um estudo direcionado à avaliação do uso do aço em sistemas estruturais adequados à aplicabilidade em coberturas das edificações históricas do sítio colonial e contemporâneo. (TEOBALDO, 2004).

Assim sendo, o desenvolvimento de pesquisas na área de estruturas metálicas, a criação de novas tecnologias e a adequação das atuais, de tal forma a aumentar a sua eficácia e a diminuir o custo destes processos podem contribuir para a ampliação do uso do aço na construção civil.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

No segundo capítulo, é apresentada uma breve revisão bibliográfica, evidenciando os telhados do tipo colonial, alguns formatos de cobertura de maior destaque na arquitetura nacional e os elementos que compõem um telhado. Objetivou-se priorizar o elemento estrutural, como a tesoura, o qual é o foco de estudo dessa dissertação. Além disso, é relatada uma breve história da evolução do uso do aço na construção civil e finalmente são apresentadas algumas considerações sobre perfis

formados a frio. No terceiro capítulo, são abordados os parâmetros selecionados que possibilitaram a avaliação do desempenho das tipologias estruturais consideradas no estudo, tais como as tesouras Howe simplificada, Howe, Pratt e Fink empregadas em coberturas coloniais de duas águas e direcionadas a arquitetura de pequeno e médio vãos. Procurou-se considerar também a variação das características que influenciam na resposta estrutural do objeto de estudo, como os espaçamentos entre treliças e a variação dos vãos livres. Em seguida, no quarto capítulo, são descritas as estratégias da análise numérica e do dimensionamento das tipologias. Também são comentados os programas computacionais utilizados na análise e desempenho das soluções estruturais adotadas. Já no quinto capítulo, são apresentados os resultados obtidos e uma discussão sobre os mesmos, tendo como principal referência avaliar a taxa de consumo do aço entre as tipologias e o melhor desempenho das soluções estruturais. Por fim, no sexto capítulo, são relatadas as conclusões da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica, evidenciando os telhados do tipo colonial, os formatos de coberturas mais encontrados na arquitetura brasileira, os elementos da sua geometria, alguns tipos de telhas mais comuns no mercado, além de seus elementos estruturais. Objetivou-se priorizar as treliças isostáticas, foco de estudo desta dissertação, uma vez que elas representam as tipologias estruturais mais encontradas desde o período colonial até a atualidade. Também busca-se descrever resumidamente a história da evolução da resistência do ferro fundido para uso na construção civil, o aço na recuperação e restauro dos telhados. Por fim, são relatadas algumas considerações sobre perfis de aço formados a frio, material escolhido para ser utilizado nas treliças de estudo.

### **2.1 Telhados**

Na construção civil, o telhado destina-se a proteger o edifício contra ações das intempéries, tais como chuvas, ventos, raios solares, neve, além de impedir a penetração de poeira e ruídos no seu interior. (MOLITERNO, 2010). Porém, como função secundária, não menos importante, o telhado contribui para o aspecto estético e conforto térmico da edificação, proporcionando, portanto, aos arquitetos grande liberdade para criar várias formas e inclinações de telhados, além de atribuir estilo e expressão plástica a uma edificação.

Os telhados podem ser definidos como uma composição de duas partes básicas descritas a seguir:

- (i) Cobertura, a qual pode ser de materiais diversificados, desde que impermeável às águas pluviais e resistentes à ação dos ventos e intempéries. Pode-se, citar alguns desses materiais, tais como telha cerâmica, telha de concreto (plana ou capa e canal) ou telhas de chapas onduladas de cimento amianto, telha de aço zincado, de madeira aluminizada, de PVC, de fiber-glass, de ardósia e de chapa de cobre.

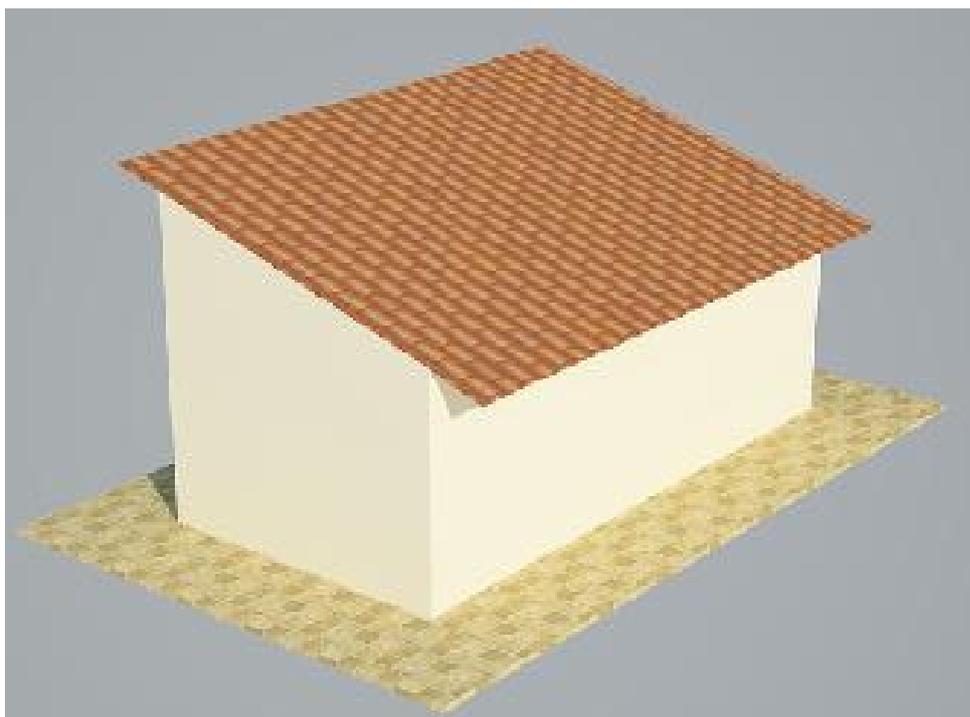
Sendo que, os dois últimos tipos de telhas citados foram praticamente banidos da nossa arquitetura.

- (ii) Armação ou Trama, como tesouras, terças, caibros, ripas, os quais correspondem ao conjunto de elementos estruturais para sustentação da cobertura. Essas estruturas que compõem a armação do telhado podem ser total ou parcialmente executadas em aço, alumínio ou concreto armado e em madeira, este último também conhecido como madeiramento. No entanto, algumas coberturas podem dispensar a armação, quando empregamos perfis especiais auto-portantes em cimento amianto, aço galvanizado, concreto protendido ou fiber-glass.

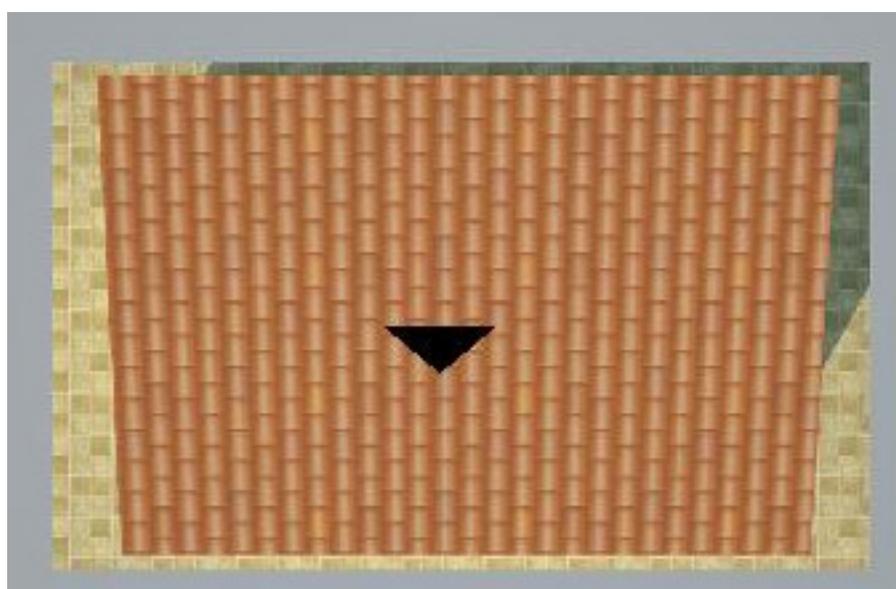
Demais definições designadas a telhado, são relatadas na literatura. Pode-se citar como exemplo a definição dada por Logsdon (2002); o qual afirma que o telhado é composto pelo conjunto formado por trama, estrutura principal (tesouras ou treliças) e contraventamentos. Entretanto, talvez por parecer o coletivo de telhas, o termo telhado, tem sido utilizado também como sendo o conjunto de telhas e madeiramento que cobre a obra (vedação ou cobertura). Esse impasse generalizou-se ao longo do tempo e, atualmente, alguns autores utilizam o termo telhado indistintamente, tanto para designar a cobertura, quanto o próprio telhado.

## **2.2 Tipos de Coberturas**

As coberturas ou superfícies dos telhados podem ser construídas nos mais diferentes formatos. Alguns tipos de coberturas têm sua denominação originada no número de planos para escoamento das águas pluviais, denominadas “águas do telhado”. (LOGSDON, 2002). Uma superfície de telhado pode ser formada por um ou mais planos (uma água, duas águas, três águas, quatro águas ou múltiplas águas), ademais podem ser encontradas em formas curvas que tem o mesmo nome da sua geometria como arco, cúpula ou arcos múltiplos. A título de ilustração as Figuras 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 e 2.10 mostram diferentes elevações e respectivos formatos de telhados.



(a)

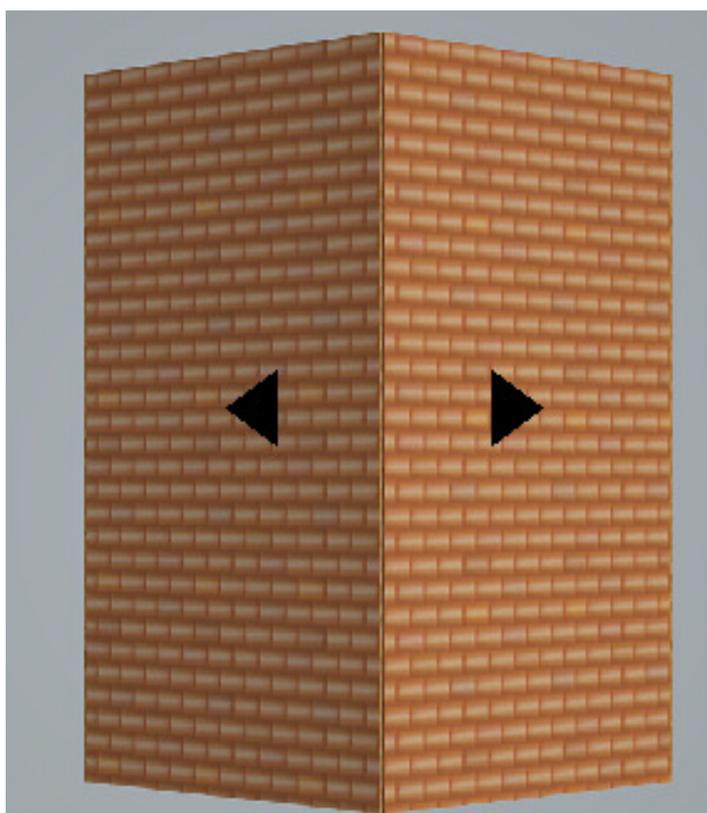


(b)

**Figura 2.1-** Telhado tipo uma água, o qual consiste em um plano com inclinação lateral:  
(a) elevação e (b) planta

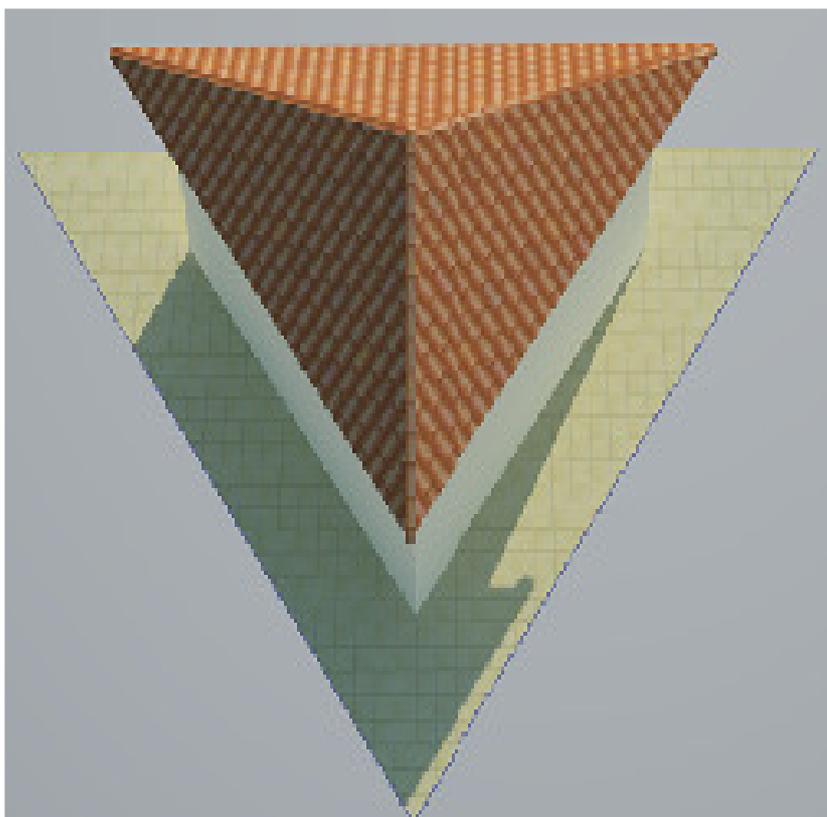


(a)

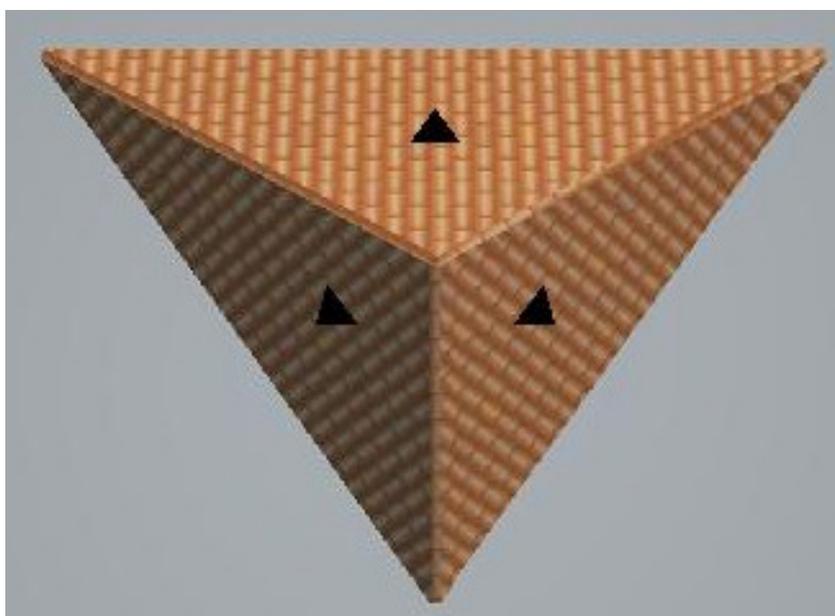


(b)

**Figura 2.2** - Telhado tipo duas águas os dois planos se encontram no meio do vão da planta, seguindo uma aresta de nível, denominada cumeeira: (a) elevação e (b) planta

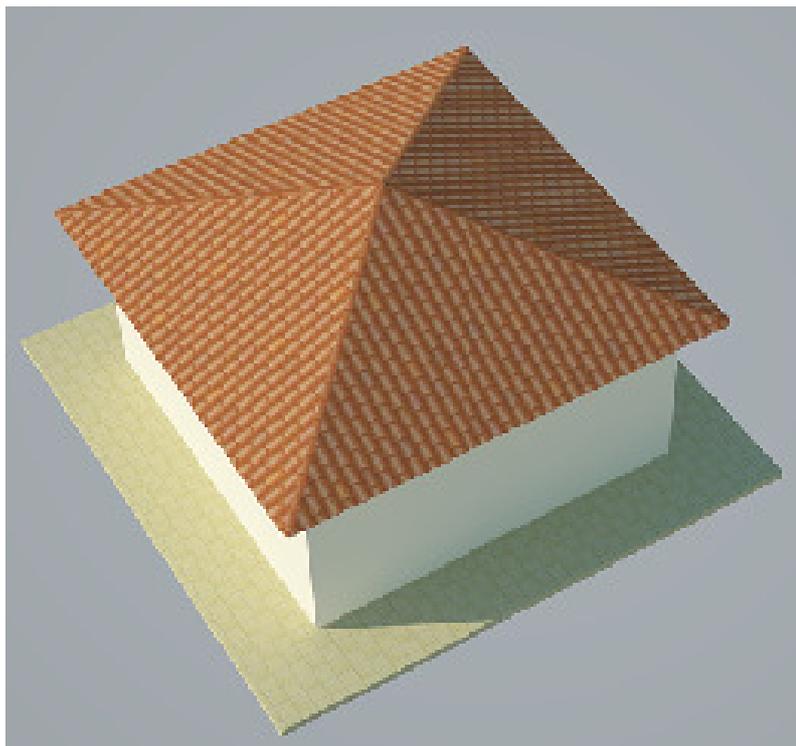


(a)

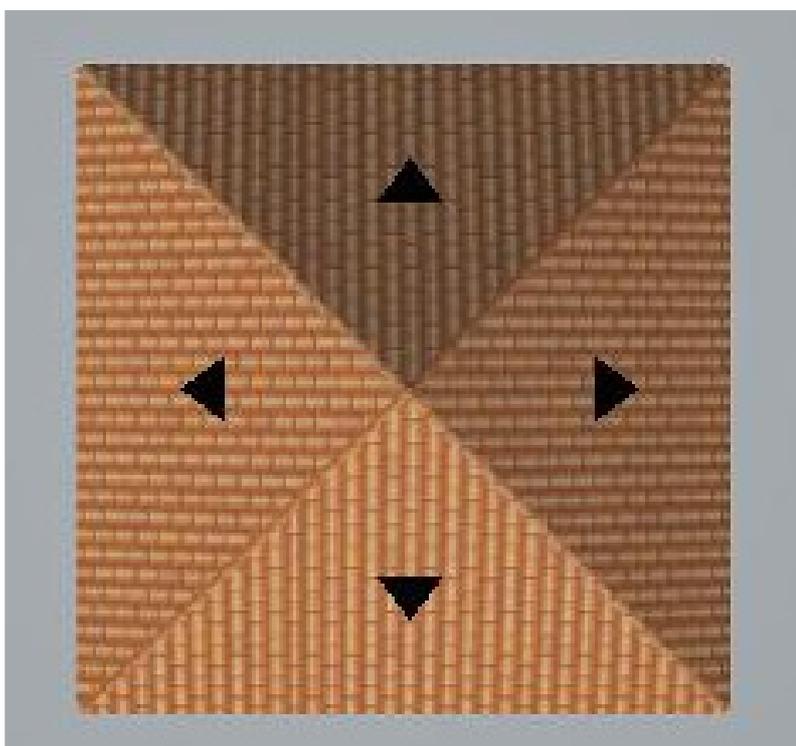


(b)

**Figura 2.3** - A forma triangular da planta fornece uma solução para o telhado que consiste em três tacaniças ou águas triangulares iguais: (a) elevação e (b) planta

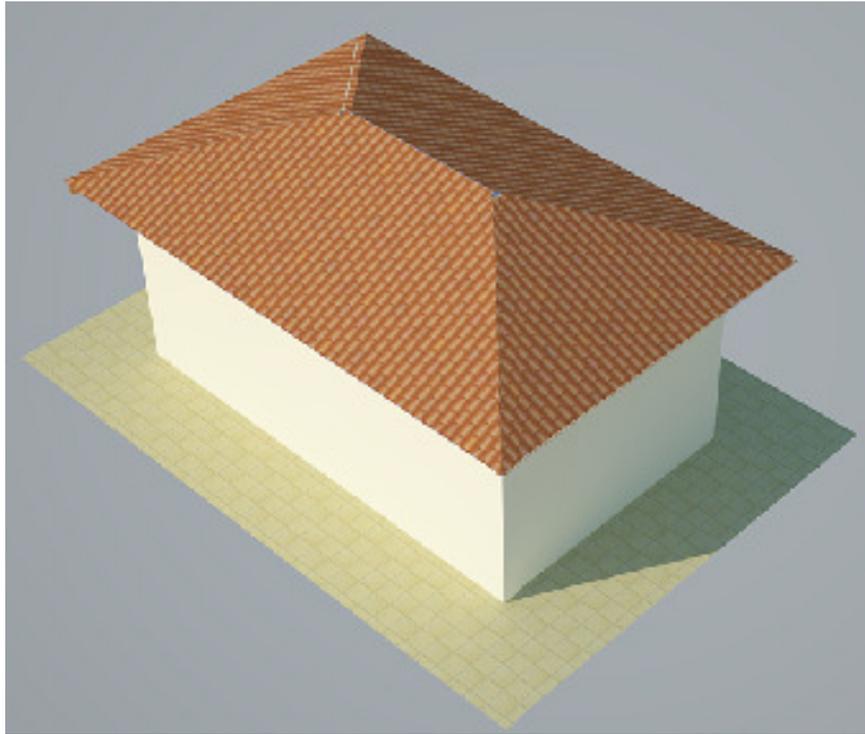


(a)

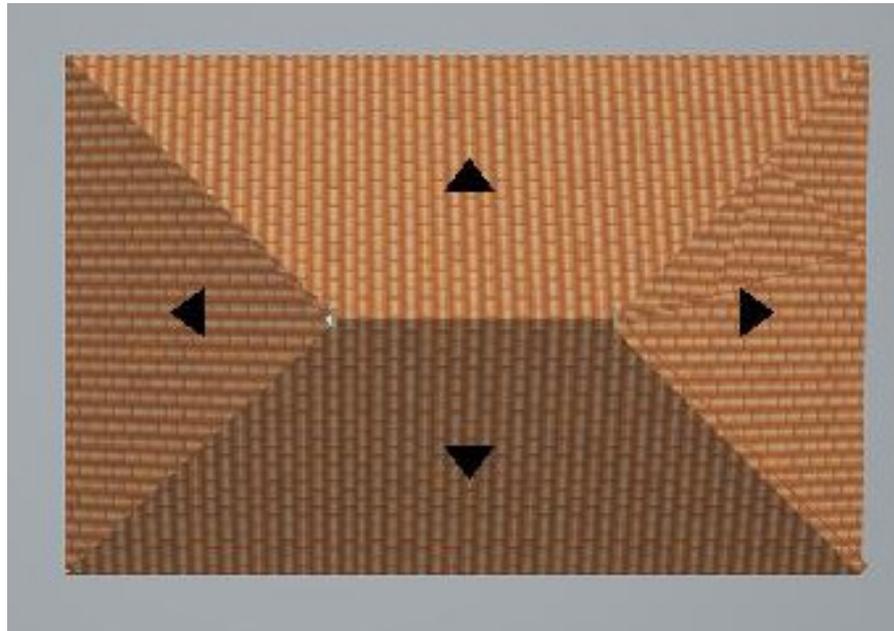


(b)

**Figura 2.4** - Telhado em formato quadrado, as quatro águas são iguais entre si formando um vértice, sem cumeeira: (a) elevação e (b) planta

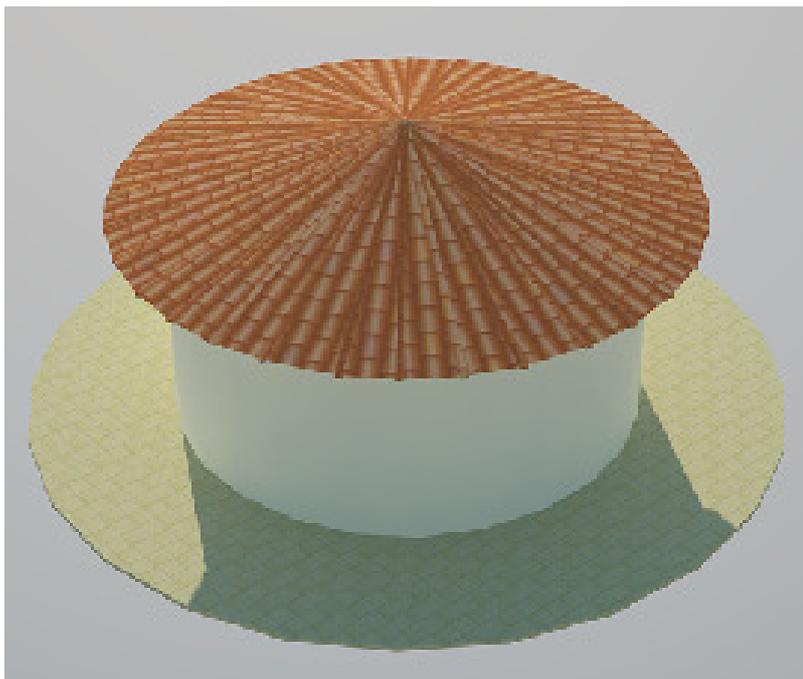


(a)

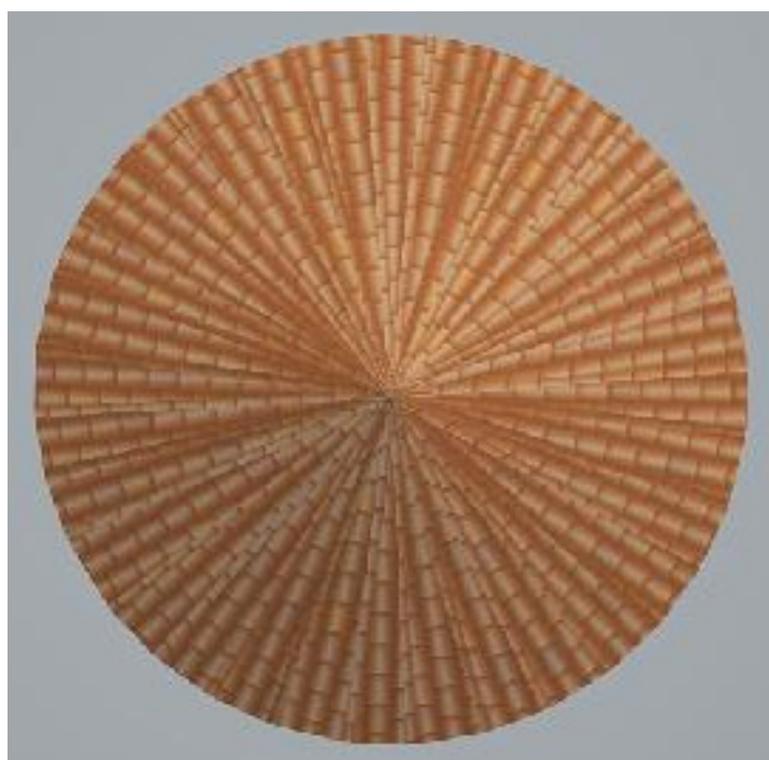


(b)

**Figura 2.5** - Telhado de quatro águas, as águas são iguais e opostas simetricamente duas a duas. As águas trapezoidais denominam-se águas mestras e as triangulares são chamadas de espigões: (a) elevação e (b) planta

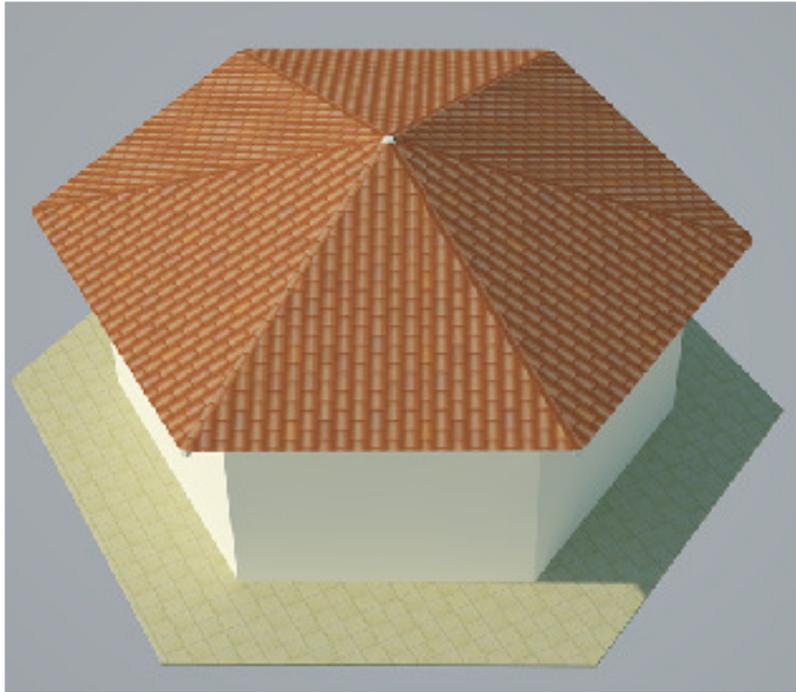


(a)

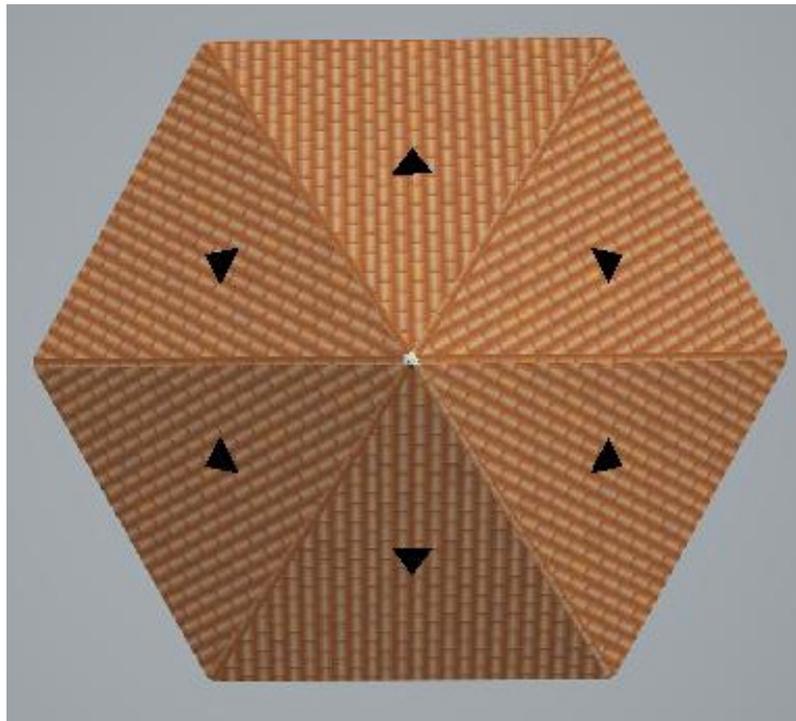


(b)

**Figura 2.6** - Telhados cônicos utilizados para cobrir plantas circulares. (a) elevação e (b) planta

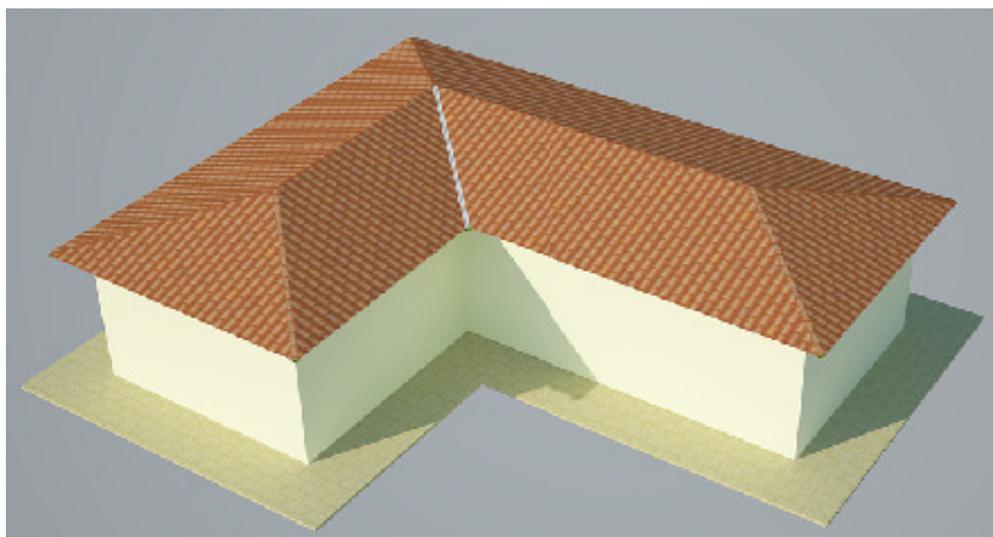


(a)

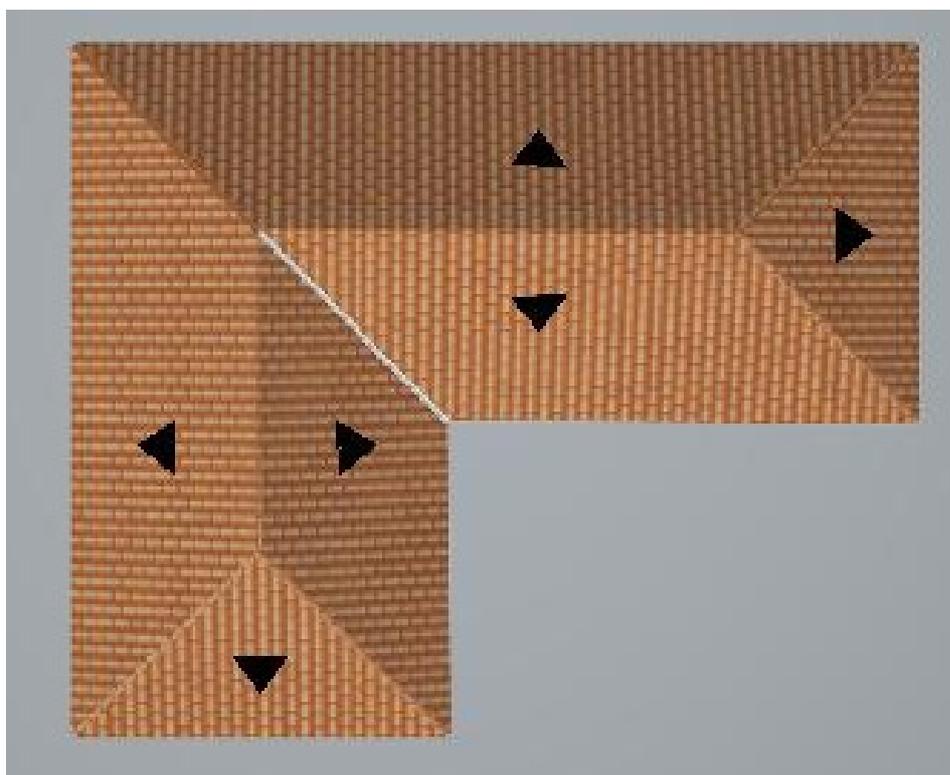


(b)

**Figura 2.7** - Telhado poligonal deverá ter tantas águas conforme a planta poligonal tiver: (a) elevação e (b) planta

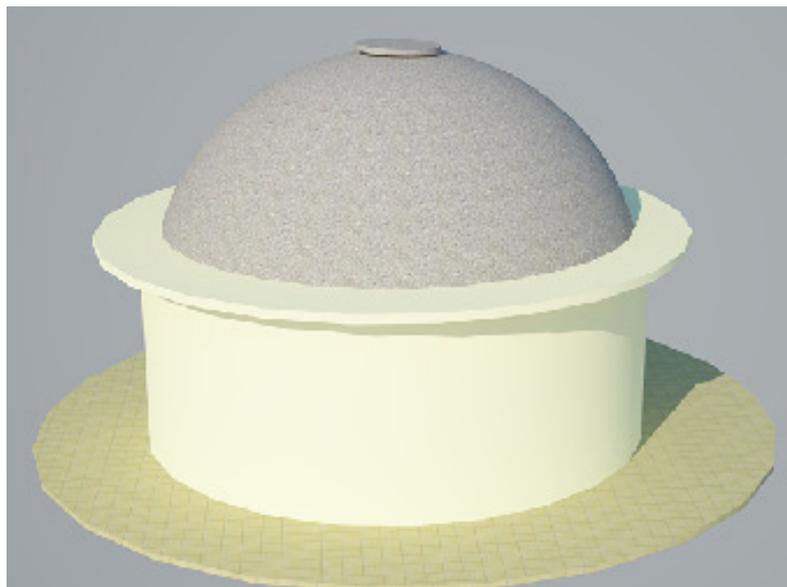


(a)



(b)

**Figura 2.8** - Telhados compostos podem cobrir plantas de formatos variados iguais ou diferentes, com formas geométricas infinitas elaboradas a luz da imaginação do arquiteto: (a) elevação e (b) planta

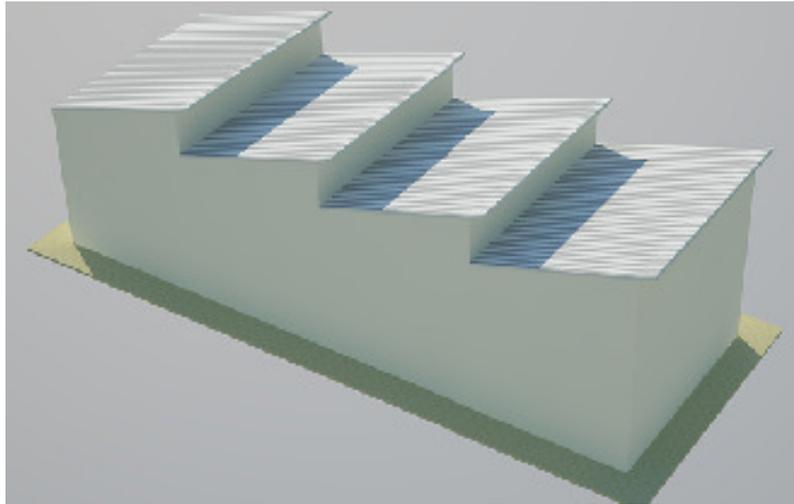


(a)

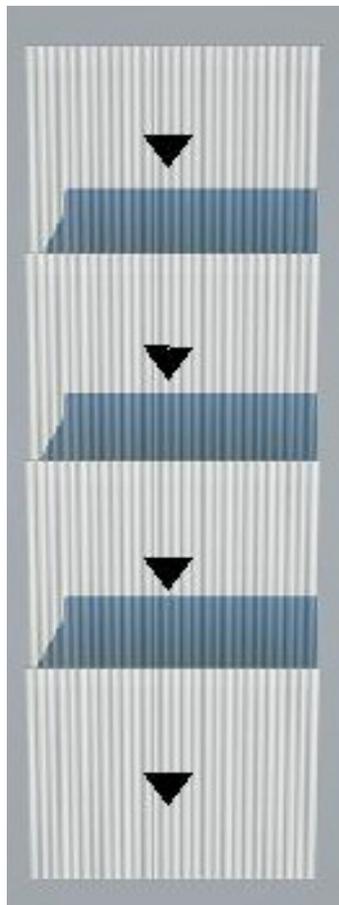


(b)

**Figura 2.9** - Coberturas denominadas cúpula ou domo é uma abóbada semi-esférica ou esteróide: (a) elevação e (b) planta.



(a)



(b)

**Figura 2.10** - Telhado shed, caracteriza-se por telhas em forma dente de serra contendo uma face de pouca inclinação e outra quase vertical: (a) elevação e (b) planta.

### *2.2.1 Elementos da Geometria dos Telhados*

Pode-se afirmar que, de uma forma geral os telhados são compostos por um conjunto de elementos, os quais são detalhados a seguir:

- (i) inclinação - surge da relação entre a superfície de uma água e a linha horizontal da construção;
- (ii) cumeeira - formada pelo encontro entre as duas águas principais do telhado, e geralmente corresponde à linha média da área coberta;
- (iii) espigão - aresta saliente formada pelo encontro de duas águas;
- (iv) rincão - aresta que surge no sentido contrário ao espigão, formada pelo encontro de duas águas. A incidência de rincão exige a colocação de calha para escoamento de água de chuva;
- (v) mansarda - tipo de cobertura secundária que aproveita a inclinação do telhado, constituindo um cômodo denominado sótão;
- (vi) oitão - paredes extremas paralelas às tesouras, que muitas vezes servem de apoio para terças;
- (vii) beiral - consiste no prolongamento da cobertura, fora do alinhamento das paredes.

### *2.2.2 Tipos de Telhas*

As telhas podem ser encontradas em diversos materiais, tais como: aço corrugado, alumínio, zinco, madeira, barro (cerâmicas), fibrocimento (cimento amianto) e outras. As telhas cerâmicas e as de fibrocimento são as mais utilizadas no Brasil. Já aquelas produzidas em chapa de aço corrugado, ou por alumínio, são de aplicação quase restrita às indústrias. No entanto as telhas galvanizadas, pouco utilizadas atualmente, são encontradas em obras rústicas, depósitos e abrigo para animais. Por fim, as demais produzidas em madeira e utilizadas em países europeus, são recobertas com material betuminoso e se parecem com “escamas”. Contudo as telhas de madeira, que são utilizadas no Brasil, são como chapas de compensado, mas onduladas e, em geral, recobertas por fina camada de material metálico. (MOLITERNO, 2010).

As telhas cerâmicas também são produzidas em formatos para encaixe, que apresentam em suas bordas saliências e reentrâncias que permitem o encaixe (ajuste) entre elas. Pode se mencionar ainda sobre as telhas de encaixe romanas e portuguesas, também são conhecidas por telhas “capa e canal peça única”, por sua semelhança com as telhas tipo capa e canal.



**Figura 2.11** - Telha cerâmica do tipo colonial  
(Fonte: Arquivo pessoal, 2010)

### **2.3 Elementos Estruturais Componentes dos Telhados**

As terminologias dos elementos que compõem um telhado são muito diversificadas nas várias regiões do Brasil. Este fato, provavelmente, deve ser por herança dos primeiros carpinteiros oriundos de vários pontos de Portugal e outros países da Europa Central.

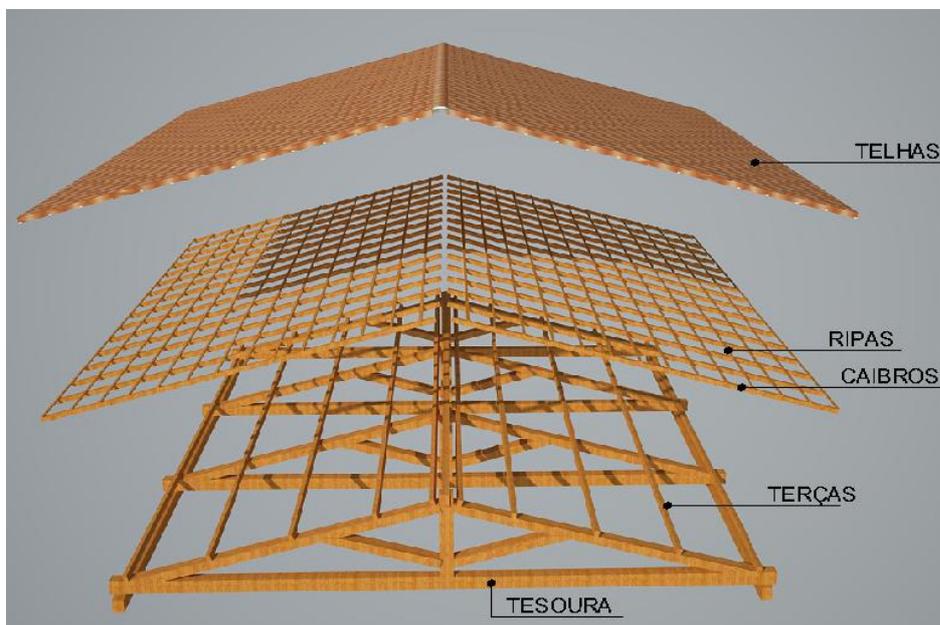
Os elementos da estrutura de um telhado, bem como suas terminologias correspondentes encontradas no país, são ilustrados na Figura (2.12) e são descritos a seguir (MOLITERNO, 2010):

- (i) Trama, é uma armação constituída de diferentes peças, posicionadas em direções perpendiculares para assentamento e acomodação das telhas. Estas são formadas pelas ripas, caibros e terças. As telhas se apóiam sobre as ripas, que se apóia sobre os caibros, que se apóiam sobre vigas, denominadas terças, que descarregam as ações sobre as tesouras.

- (ii) Ripas, são peças de madeira de pequena dimensão que recebem as telhas e são pregadas sobre os caibros, para sustentação das mesmas. Geralmente têm seção de 1,5 cm x 5,0 cm ou de 1,0 cm x 5,0 cm. O espaçamento entre elas, normalmente é denominado “galga”, depende do tipo e tamanho das telhas usadas, motivo pelo qual se utiliza um gabarito, construído na obra, para fixar as telhas nos caibros. Entretanto, para o cálculo do madeiramento é usual adotar 35 cm para o espaçamento entre ripas. Em se tratando de ripas, com espessura de 1,5 cm ou 1,0 cm, pode-se considerar que estas suportam bem as cargas usuais de um telhado, mas não suportam o peso de um homem. Pensando na segurança da obra alguns profissionais têm utilizado os ripões (2,5 cm x 5,0 cm) no lugar de ripas.
- (iii) Caibros, são peças de madeira apoiadas sobre as terças e servem de apoio às ripas. Estes geralmente têm seção de 5,0 cm x 6,0 cm ou 6,0 cm x 6,0 cm. O espaçamento entre os caibros depende do tipo de telhas usado e da resistência das ripas, Assim sendo, este pode variar entre 40 e 60 cm, sendo comum utilizar 50 cm.
- (iv) Terças, são vigas de madeira apoiada sobre as tesouras ou sobre paredes, para sustentação dos caibros. Pode se dizer também que as terças são vigas que recebem o carregamento dos caibros e o descarrega nas estruturas principais do telhado (tesouras ou treliça). Estas, geralmente, têm a seção de 6,00 cm x 12,00 cm ou de 6,00 cm x 16,00 cm. O espaçamento entre terças depende basicamente do tipo de telha utilizada e da resistência dos caibros. No entanto, pode-se considerar que essa distância é de aproximadamente 1,50 m para telhas cerâmicas. As terças também funcionam como travamentos, reduzindo o comprimento de flambagem do banzo superior da tesoura; motivo pelo qual a ligação entre a terça e esta estrutura deve ser bastante resistente.
- (v) As tesouras, que são viga em forma de treliça plana vertical, formada de barras dispostas de maneira a formar um triângulo, tornando o sistema estrutural indeslocável. As treliças podem ser compostas pelos seguintes elementos e respectivas denominações: banzo superior também chamado de (asna, perna, empena ou membrana superior); banzo inferior (linha, rochante,

tirante, tensor, ou membrana inferior); montante (pontalete, suspensório ou pendural); diagonal (escora).

- (vi) Contraventamentos, os quais são estrutura formada por barras cruzadas dispostas de maneira a servir de sustentação para a ação das forças que atuam na estrutura, travando tesouras ou treliças e impedindo sua rotação e deslocamento, principalmente contra a ação do vento. Atua também como elemento de vinculação de peças comprimidas contra a flambagem lateral.
- (vii) Tábuas de beiral, também chamado de testeira, tabeira ou aba.



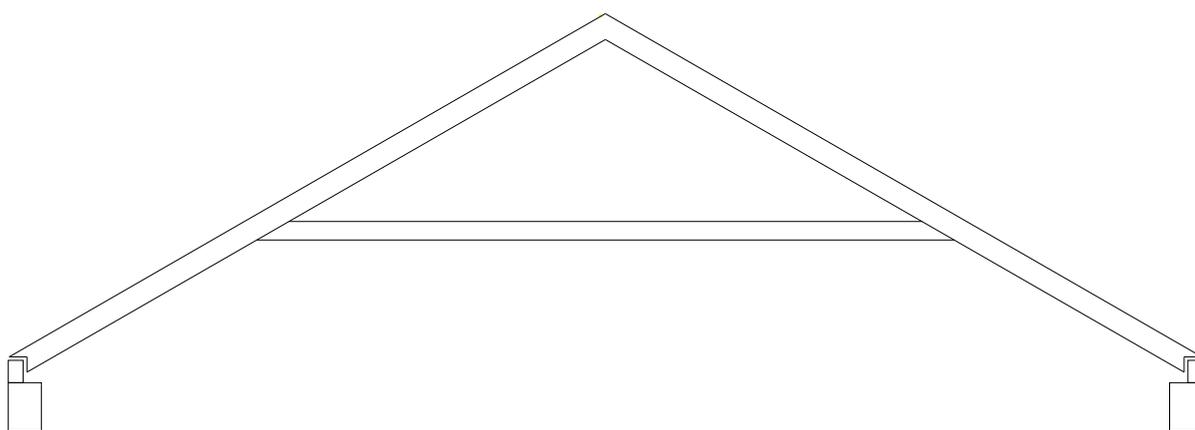
**Figura 2.12** - Elementos estruturais componentes dos telhados coloniais.

(Fonte: Desenho arquivo pessoal, 2011)

## 2.4 Principais Tipologias Estruturais de Telhados no Período Colonial

De acordo com os trabalhos relatados por Santos (1951); os quais estão relacionados com a busca de estruturas de madeira mais encontrados na década de 50. Pode-se constatar que a maioria dos casos se repetia nos madeiramentos dos telhados, soluções antiqüíssimas, que muito se afastam da técnica atual e que, por esse motivo, mereciam ser estudadas com atenção.

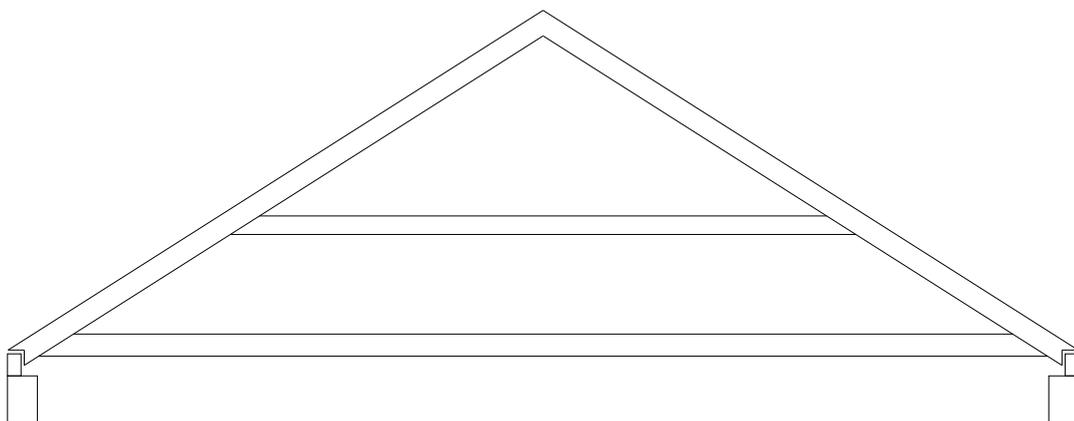
Assim sendo, para telhados em duas águas, a solução mais simples empregada foi o sistema de caibro armado, ou canga-de-porco, conforme Figura 2.13. Este se difere das tesouras modernas na maioria das vezes com apenas duas asnas e uma linha alta, encontrado com freqüência nas estruturas das coberturas na cidade de Ouro Preto, por exemplo. A ausência da linha baixa para trabalhar a tração, resulta na persistência do problema do empuxo lateral sobre as paredes da edificação, contribuindo para sua rotação.



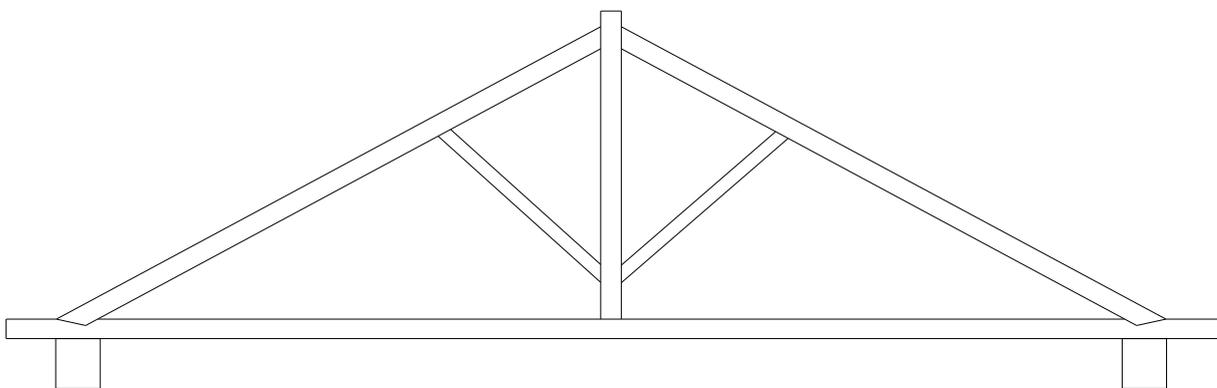
**Figura 2.13** - Tesoura canga-de-porco ou caibro armado (Fonte: REIS, 1996)

O segundo tipo mais encontrado, que pode ser visto através da Figura 2.14, foi à tesoura canga-de-porco com linha baixa. Já a terceira estrutura de telhado encontrado e com maior relevância é do tipo pendural ou tesoura treliçada ou ainda asna vulgar, conforme mostrado na Figura 2.15, o qual, por possuir esforços normais à alvenaria, é considerada a estrutura a mais estável, uma vez que não apresenta riscos as edificações quanto ao problema das rotações das paredes. A utilização desse sistema teve início no princípio do século XIX. Sendo que, pode-se considerar que este é o tipo clássico de tesoura, bastante eficiente e largamente utilizada nos dias de hoje, a qual é composta por duas pernas cujas extremidades superiores encaixam-se no topo do pendural e as inferiores na linha baixa. Além disso, são dotadas de duas escoras que unem as pernas à extremidade inferior do pendural, constituindo um quadro rígido, de modo que o pendural pode sustentar a linha baixa ou tirante no seu ponto mais desfavorável.

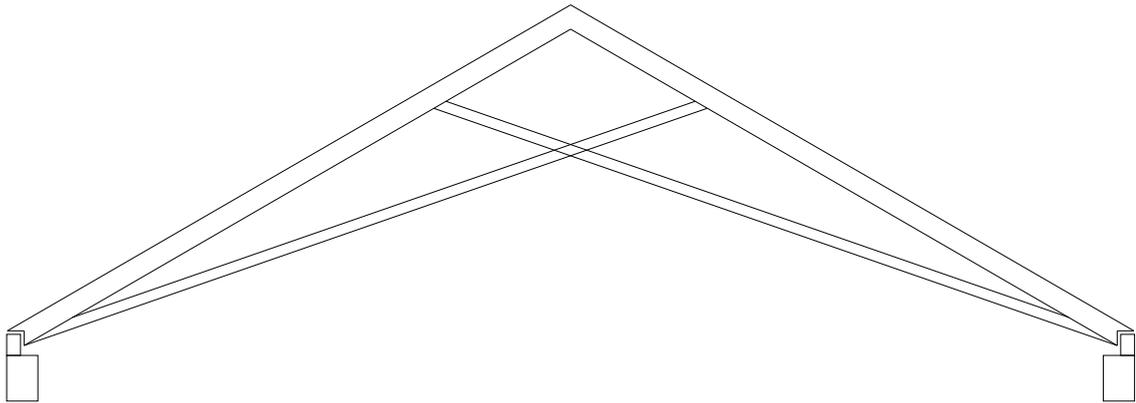
É importante mencionar também que Reis (1996) acrescenta na seleção de Santos (1951) a tesoura com linhas cruzadas, como sendo uma das estruturas de cobertura mais encontradas nos edifícios históricos, conforme ilustrado na Figura 2.16.



**Figura 2.14** - Tesoura canga-de-porco com linha baixa (Fonte: REIS, 1996)



**Figura 2.15** - Tesoura pendural ou tesoura treliçada ou asna vulgar. (Fonte: REIS, 1996)



**Figura 2.16** - Tesoura com linhas cruzadas. (Fonte: REIS, 1996)

## 2.5 Algumas Considerações Sobre Tesouras

A tesoura é uma treliça plana destinada ao suporte de uma cobertura, que também pode ser considerada como uma estrutura linear composta por barras retas ligadas por articulações. Deve-se considerar algumas hipóteses básicas sobre treliças tais como: os nós como articulações perfeitas; o peso próprio das barras deve encontrar-se concentrado em suas extremidades (nós); as ações são aplicadas somente nos nós da treliça; a geometria da treliça não deve variar conforme o carregamento aplicado; finalmente, suas barras devem ser solicitadas somente por forças normais (ação e compressão).

Em geral as barras de uma treliça são finas e podem suportar pequena carga lateral. Todas as cargas são, portanto, aplicadas às juntas (nós) e não às barras. Embora, as barras sejam unidas por meio de conexões pivotadas ou soldadas costumam-se considerar que as barras são unidas através de dispositivos de ligação. Portanto, as forças que atuam em cada extremidade de uma barra reduzem-se a uma única força sem nenhum momento. Cada barra pode então, ser tratada como uma barra sob a ação de duas forças; e a treliça pode ser considerada como um grupo de dispositivos de ligação e barras com duas forças. A ação das forças sobre uma barra individual pode provocar esforços de tração ou compressão. (PARTEL, 2000).

A principal característica das treliças é apresentarem pequeno peso próprio em relação a outros tipos de elementos com a mesma função estrutural. Logo, podem ser formadas, basicamente, a partir da figura mais simples entre as "indeformáveis", que é o

triângulo, conceito relatado anteriormente. A partir de dois triângulos ligados por uma barra na parte superior, forma-se uma nova treliça, cuja barra superior ficará solicitada por um esforço de compressão. Contudo, dispondo-se vários triângulos em um mesmo plano, tem-se uma treliça plana e, se os triângulos forem dispostos em planos distintos, tem-se uma treliça tridimensional, também denominada treliça espacial.

Considera-se também que as treliças, de modo geral, podem ser usadas em diversas situações estruturais, embora as constituídas por perfis tubulares sejam mais freqüentemente empregadas como coberturas espaciais. Podendo, assim apresentar vantagens ao serem utilizadas como vigas, bem como em pontes e passarelas, entre outras aplicações.

De acordo com a destinação do elemento estrutural e considerando-se que, as cargas são transmitidas às treliças através de seus nós (pontos de encontro das barras) e que, além disso, ocorrem apenas esforços axiais (tração e compressão) em seus elementos, o princípio fundamental a ser seguido no planejamento do arranjo das treliças é utilizar as barras internas (montantes) para diminuir o comprimento livre das barras principais denominados banzos superiores e inferiores de tal forma que esses elementos tenham sua resistência à flambagem aumentada conseqüentemente.

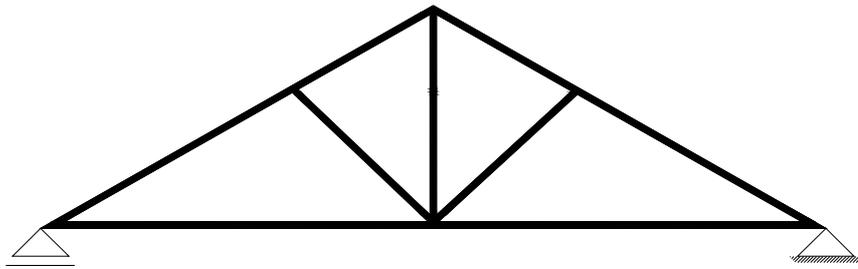
Em se tratando de coberturas, dependendo da inclinação do telhado, a disposição dos montantes (barras verticais) e das diagonais pode dar origem a treliças que apresentam maior ou menor eficiência, em termos de consumo de material.

Assim sendo, é importante lembrar que, quando os esforços não são aplicados diretamente nos nós, alguns elementos da treliça ficarão submetidos a esforços de flexão, o que poderá exigir a necessidade de utilização de perfis mais pesados e torná-la antieconômica, situação incompatível com este estudo. A inclinação das diagonais deve ficar em 30 e 60 graus, situação que favorece os processos de fabricação, a economia de material e a melhor distribuição de esforços.

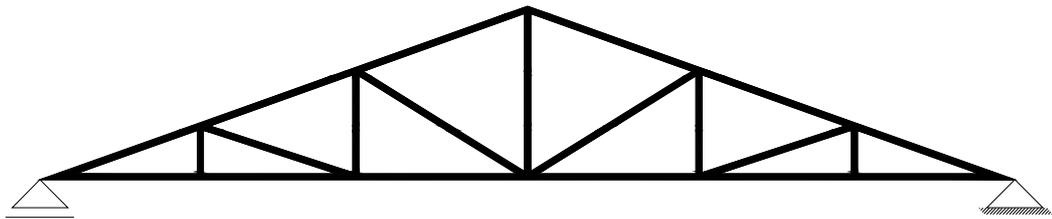
## **2.6 Tipologias Estruturais Isostáticas Utilizadas em Coberturas**

De acordo com o formato desejado para cobertura ou conforme a finalidade da edificação proposta, várias tipologias estruturais podem ser utilizadas para receber uma

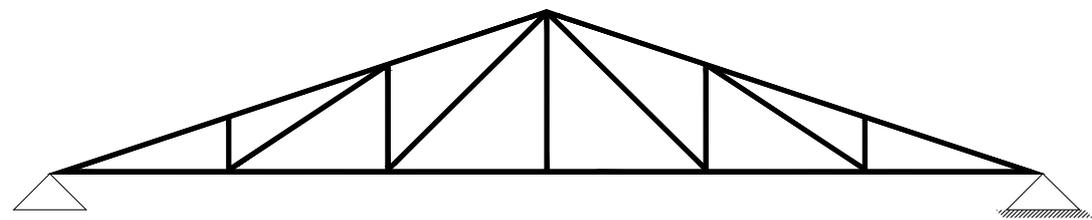
trama. A título de ilustração as Figuras 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 e 2.27 mostram as diferentes geometrias estruturais que são mais comumente utilizadas em coberturas.



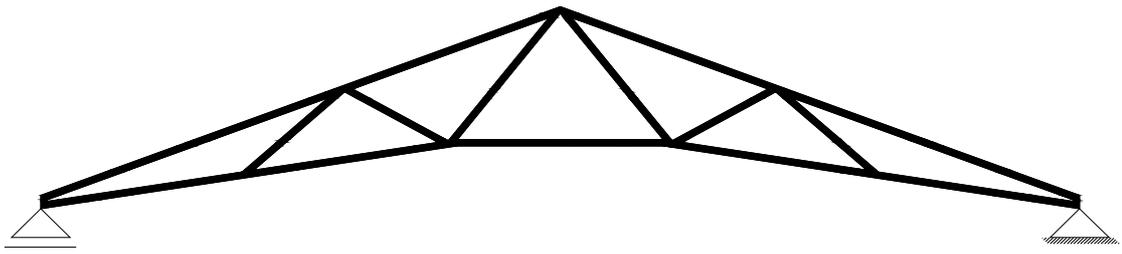
**Figura 2.17** - Treliça Howe Simplificada. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



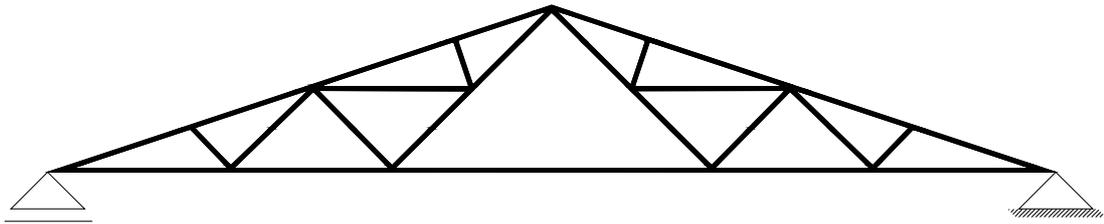
**Figura 2.18** - Tesoura Howe ou Inglesa. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



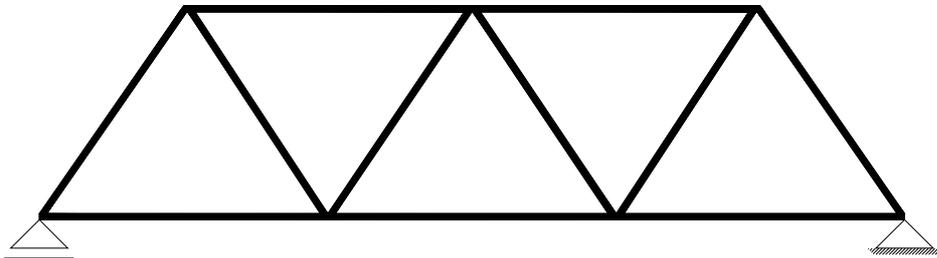
**Figura 2.19** - Tesoura Pratt. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



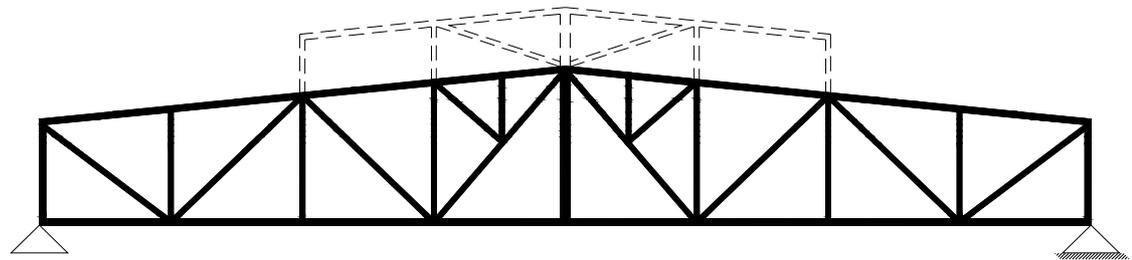
**Figura 2.20** - Trelça Belga. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



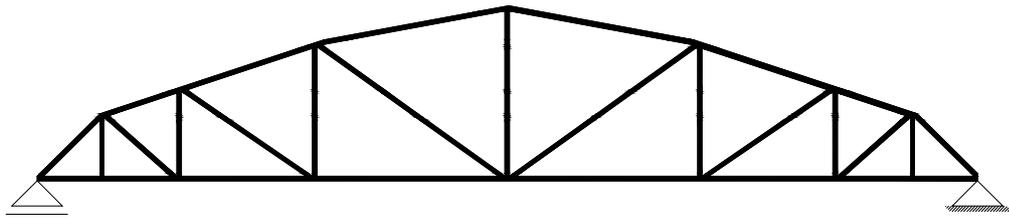
**Figura 2.21** - Tesoura Fink. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



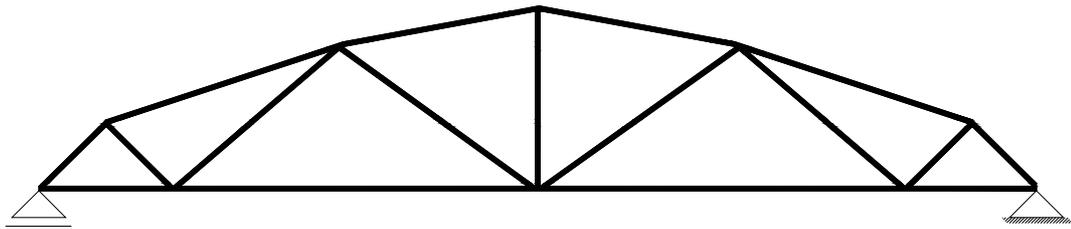
**Figura 2.22** - Trelça Warren. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



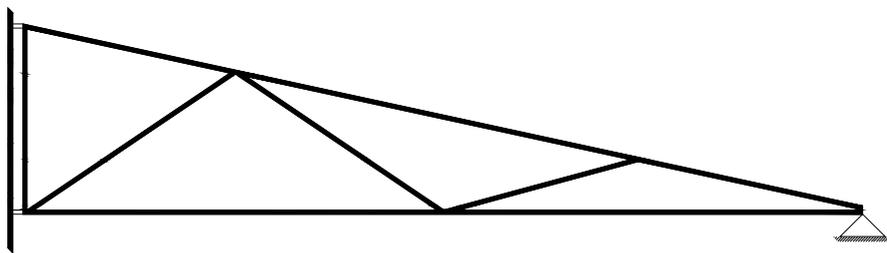
**Figura 2.23** - Trelça Russa. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



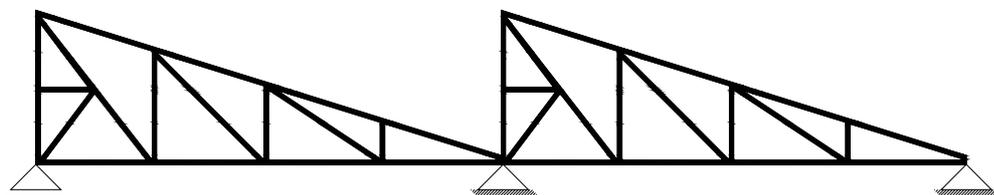
**Figura 2.24** - Treliça Bowstring. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



**Figura 2.25** - Variação da treliça Bowstring. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



**Figura 2.26** - Tesoura de Marquise. (Fonte: MOLITERNO, 2010)



**Figura 2.27** - Treliça Shed (dente de serra). (Fonte: MOLITERNO, 2010)

Em geral, ao se utilizar estruturas treliçadas procura-se evitar momentos fletores secundários posicionando as terças sobre os nós. Entretanto ao se utilizar as treliças bowstring, de acordo com Logsdon (2002); deve-se fugir a esta regra, colocando propositalmente as terças entre os nós, para criar um o momento secundário que alivie o momento causado pelo produto da força normal e a excentricidade do banzo superior.

Tesouras são estruturas planas verticais projetadas para receber cargas, que atuem paralelamente a seu plano, transmitindo-as aos apoios. Pode se definir ângulo entre o banzo superior e inferior da treliça como inclinação do telhado.

O espaçamento encontrado na literatura entre as tesouras de madeira é limitado pela resistência das terças e geralmente varia entre 2,50 m e 3,00 m, quando utilizadas em telhados coloniais tipicamente brasileiros, compostos por coberturas em telhas cerâmicas no estilo francês ou romano. Destaca-se também o espaçamento entre tesouras utilizado para telhas em fibrocimento que fica entre 3,00m e 5,00m e finalmente o espaçamento convencional para telhas metálicas que é de 3,00 m a 6,00 m.

Deve-se mencionar também que as treliças ainda podem ser vantajosamente utilizadas como vigas, bem como em pontes e passarelas, entre outras aplicações. Dependendo da destinação da estrutura e considerando-se que, por hipótese, as cargas são transmitidas às treliças através de seus nós e que ocorrem apenas esforços axiais (tração e compressão) em seus elementos, o princípio fundamental a ser seguido no planejamento do arranjo das treliças é utilizar as barras internas para diminuir o comprimento livre das barras principais (as mais solicitadas), de modo que sua resistência à flambagem seja aumentada e, conseqüentemente, a resistência da treliça.

Em se tratando de coberturas, dependendo da inclinação do telhado, a disposição dos montantes (barras verticais) e das diagonais pode dar origem a treliças que apresentam maior ou menor eficiência, em termos de consumo de material.

É importante ressaltar que, quando os esforços não são aplicados diretamente nos nós, alguns elementos da treliça ficarão submetidos a esforços de flexão, o que poderá exigir a necessidade de utilização de perfis mais pesados e torná-la antieconômica. A inclinação das diagonais deve ficar entre 30 e 60 graus, situação que favorece os processos de fabricação, a economia de material e a melhor distribuição de esforços.

## **2.7 A Evolução da Resistência do Ferro Fundido e das Estruturas de Aço na Construção Civil**

A resistência das estruturas de aço e ferro fundido utilizados em edifícios aumentou muito com a evolução da manufatura e produção. De tal forma que nos relatos antigos é divulgada uma tensão admissível para o ferro fundido e para o ferro forjado era de aproximadamente, respectivamente 15 MPa (SI) e 75 MPa (SI). Sendo que, a tensão de escoamento do aço fabricado atualmente, obtida de acordo com os novos padrões de cálculo de estruturas de aço é muito superior. No entanto a resistência de estruturas existentes em aço ou ferro fundido deve ser considerada com relação aos padrões de carregamento da época da construção original, embora possa se justificar um aumento dessa resistência através da realização de diversos testes de acordo com Brasil (2008).

## **2.8 O Avanço do Uso do Aço na Recuperação dos Telhados Coloniais**

È uma tendência do mercado, a utilização do aço na reabilitação, modernização e recuperação de edificações antigas e recentes. Os antigos edifícios de alvenaria, danificados, muitas vezes, pelo tempo de uso, e pelas intempéries, requerem sua reabilitação funcional que passa pela recuperação estrutural. Isto também ocorre nas edificações mais novas devido à falta de manutenção. Dentre as principais vantagens da utilização de estruturas de aço na reabilitação de estruturas, as quais se destacam são a resistência, a leveza e a facilidade de montagem que estas proporcionam. Essas vantagens são levadas em consideração, principalmente, devido à importância arquitetônica e histórica da edificação do período colonial. (TEOBALDO, 2004).

A necessidade de se realizar trabalhos de reparação e reforço estrutural em edifícios urbanos está diretamente relacionada com a oportunidade e a necessidade de se recuperar espaços e volumes não utilizados, impedindo a sua completa degradação, possibilitando assim, uma nova utilização. Estas intervenções devem usar todas as possibilidades proporcionadas pelos modernos sistemas de reparação e de reforço estrutural, visando encontrar as melhores soluções para os problemas de perda de

resistência, transporte, colocação em obra, operacionalidade em espaços reduzidos e de compatibilidade funcional e estética diante das estruturas existentes.

Geralmente, as intervenções de reforço estrutural devem possuir um caráter distinto e autônomo, sendo capazes de se evidenciar diante das estruturas existentes. Do ponto de vista operacional, estas intervenções de reforço devem ser baseadas em sistemas estruturais estaticamente autônomos, de fácil inspeção, com características de pré-fabricação e facilmente reversíveis. Em particular, não são aconselháveis soluções que dificultem a inspeção e manutenção da estrutura, principalmente as soluções técnicas que prever a interpenetração de materiais novos com antigos, adulterando os materiais antigos e impedindo a reversibilidade das soluções.

## **2.9 Considerações sobre os Perfis Formados a Frio**

No Brasil o emprego dos perfis de aço formados a frio iniciou-se por volta da década de 60, época em que algumas empresas buscaram novos equipamentos para a realização de processos de dobramentos a frio (MALITE et al., 1998). No entanto, a maior divulgação do uso desses perfis se deu a partir da publicação da NBR 14762:2010. (ABNT, 2010).

Os perfis estruturais formados a frio (PFF) também conhecidos como perfis de chapas dobradas ou ainda, perfis leves, estão sendo utilizados de forma crescente na execução de estruturas metálicas. Ao passo que podem ser fabricados nas dimensões desejadas e se adequar a elementos estruturais pouco solicitados no mercado. Possuem vantagens como a leveza, facilidade de fabricação, facilidade de manuseio, facilidade de transporte, resistência e ductibilidade adequada ao uso de estruturas e, sobretudo, facilidade de adaptação a outros materiais, como a madeira por exemplo.

A idéia principal na escolha PFF para composição das tesouras de estudo está na simplicidade da sua produção, uma vez que podem ser obtidos a partir da dobragem a frio (em temperatura ambiente) das chapas. Não obstante, ainda apresenta a possibilidade de se treinar uma mão de obra para execução das tesouras ao alcance, não somente das grandes construtoras, mas também do pequeno empreendedor.

### 2.9.1 Trabalho a Frio

A conformação a frio dos perfis de aço podem ser realizadas através de dois processos, tais como através de prensas dobradeiras e mesas de roletes (perfiladeiras). (CHODRAUI, 2006). O dobramento é executado devido ao impacto produzido por uma barra biselada superior em uma chapa cortada previamente em guilhotina, a qual é posicionada entre uma base (ou matriz) inferior fixa e uma ferramenta superior móvel. Este processo é empregado, por exemplo, na fabricação de cantoneiras, perfis do tipo U, U enrijecido, Z e Z enrijecido.

A perfilação, por outro lado, é feita por calandragem em rolos dispostos em linha de produção, como exemplo pode se mencionar aquela utilizada na fabricação de calhas, tubos, telhas, painéis de fechamento, pisos e etc. As propriedades mecânicas dos perfis de aço formados a frio não são as mesmas das chapas de aço antes do dobramento (aço virgem). Tendo em vista que a operação de conformação a frio eleva a resistência ao escoamento do aço, a resistência à ruptura do aço na tração, e diminuindo a ductilidade.

O método mais adequado de produção do PFF é em prensa dobradeira. Sendo que, para seu corte, o mais recomendado e que possivelmente junto com a prensa-dobradeira é utilizada uma prensa-guilhotina, fato que torna economicamente mais rentável para fabricação do mesmo.

Vale ressaltar que os perfis de aço formados a frio possuem características peculiares, tais como (CHODRAUI, 2006):

- possibilidade de se obter estruturas mais econômicas para pequenos vãos (maior relação inércia/peso), sendo que no Brasil uma grande quantidade de obras se enquadra nesta categoria;
- configurações não usuais da seção transversal podem ser utilizadas quando necessário, devido à facilidade de dobramento das chapas;
- apresentam elevadas relações largura-espessura, o que exige considerações sobre a flambagem local e distorcional, além da resistência pós-flambagem;
- elevada possibilidade de interação entre os modos de instabilidade. A distribuição das tensões residuais, proveniente do efeito do trabalho a frio, difere daquelas causadas pelo resfriamento nos perfis laminados;

- as ligações devem ser cuidadosamente analisadas devido à pequena espessura das chapas; Além destas diferenças supracitadas entre os perfis de aço formados a frio e os laminados e soldados, outras são citadas por YU (2000):
- rigidez à torção nos formados a frio normalmente é baixa, pois normalmente o centro de gravidade não coincide com o centro de torção, normalmente, os perfis são monossimétricos;
- método das larguras efetivas para análise da instabilidade local nos perfis formados a frio conduz a possíveis recálculos das propriedades geométricas da seção transversal, com translações do centro de gravidade. Fato que não é previsto nos procedimentos de cálculo para perfis laminados e soldados;
- enrugamento da alma (web crippling), devido ao fato de não ser comum o uso de enrijecedores de alma nos perfis formados a frio;
- análise plástica não usual nos perfis formados a frio devido à elevada relação largura espessura. Uma vez que, normalmente, conduz à ocorrência de algum modo de instabilidade localizado antes da plastificação da seção;

Por fim, embora as curvas de resistência à compressão adotadas pela NBR 14762:2002 e pela NAS: 2004 (suplemento atual da NAS: 2001) respectivamente, segundo Nogueira (2009); tenham sido desenvolvidas para perfis laminados e soldados, as mesmas têm sido utilizadas para os formados a frio. Este fato se ampara em alguns estudos que aceitam essa utilização, enquanto que existem indicações explícitas na literatura quanto à necessidade de estudos mais aprofundados para os formados a frio. Principalmente devido às características únicas destes quanto às tensões residuais, imperfeições geométricas iniciais e possível interação entre os modos de instabilidade.

### **3 SELEÇÃO DE PARÂMETROS PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO**

Tendo em vista que o objetivo principal deste trabalho é o de avaliar o desempenho de soluções estruturais em aço para coberturas coloniais, presentes em grande quantidade, na arquitetura contemporânea e no sítio histórico nacional. Para sua composição serão utilizados os perfis de aço formados a frio.

Apresentam-se neste capítulo uma seleção de parâmetros que possibilite avaliar as soluções estruturais comumente empregadas em coberturas de duas direcionadas a arquitetura residencial e institucional do tipo que apresentem pequenos e médios vãos como escolas, hospitais, galerias, museus etc. Portanto, fez-se uma análise panorâmica das soluções estruturais consideradas como geometrias consagradas no meio técnico, às tesouras isostáticas: Howe simplificada, Howe, Pratt e Fink.

#### **3.1 Considerações Preliminares**

Será avaliado o desempenho de cada uma das soluções estruturais para os vãos livre e espaçamentos adotados, o estudo deste trabalho é centralizado em vencer vãos médios e pequenos, que segundo Carrasco (2006); pode-se considerar dentro da média dos usualmente, vãos teóricos, que dificilmente excedem 8,00 metros em edificações residenciais no estilo colonial.

Este trabalho abrange um pouco além dessa média com o intuito de ampliar o universo de pesquisa que possa ir além do que foi encontrado na literatura dando sua contribuição para a cultura da substituição das tesouras de madeira em telhados coloniais por treliças metálicas preservando o estilo arquitetônico original ou desejado da cobertura, e ainda entrar para lista das novas soluções arquitetônicas de menor impacto ambiental, pois o objeto de pesquisa inicialmente já preenche alguns critérios de avaliação positiva como: velocidade de execução, maior durabilidade, facilidade de reposição da matéria prima, diminuição do uso da madeira na construção civil que persiste ainda que numa resistência cultural.

### 3.2 Variação dos Parâmetros

A seleção de parâmetros para o desenvolvimento do estudo sobre o desempenho das soluções estruturais em aço para telhados coloniais pode ser estabelecida, a partir da variação de diversas características que influenciam o comportamento da estrutura da cobertura, e que exercem uma maior ou menor influência na taxa de consumo de aço e na resposta estrutural.

Neste trabalho foi avaliada a influencia dos seguintes parâmetros:

- tipologias das tesouras;
- pé direito da edificação;
- vão livre da edificação;
- comprimento das edificações;
- espaçamento entre tesouras;
- inclinação da cobertura de 30% usual para telhados coloniais;
- tipo de telhas francesas ou romana;
- velocidade do vento.

Para a avaliação do desempenho das soluções estruturais em aço para telhados coloniais consideram-se:

- quatro vãos livres (6,00; 8,00; 10,00; 12,00 metros);
- três espaçamentos entre treliças (1,50; 2,00; 3,00 metros);
- pé direito do tipo de edificação abrangida na pesquisa de (3,00 metros).

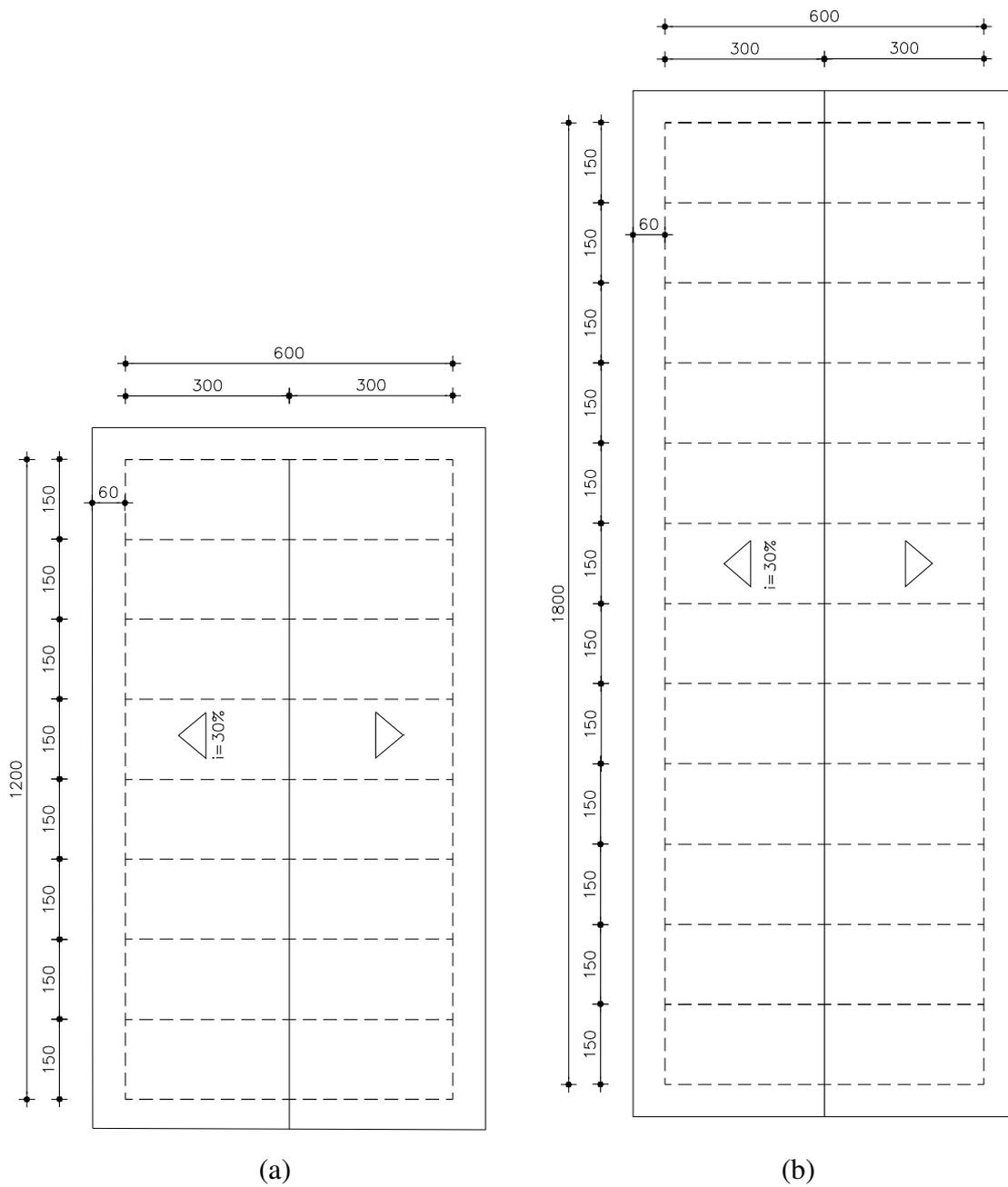
Em função da variação dos parâmetros propostos, geram-se 48 modelos geométricos de treliças planas para edificações de um só pavimento com o propósito de comparação entre as tipologias e constituindo uma base para a avaliação do melhor desempenho das soluções estruturais selecionadas.

### 3.3 Definição dos Modelos

Neste item são propostas as características geométricas de todas as tipologias das treliças planas escolhidas no decorrer desta pesquisa, para serem utilizadas em coberturas de duas águas e toma-se como referencia uma inclinação de 30%, o que é usual no caso de telhados coloniais.

O programa computacional SAP 2000, versão 11 (COMPUTERS AND STRUCTURES, 2005) foi utilizado para análises lineares das estruturas tratadas neste trabalho. Vale ressaltar, que este programa é amplamente utilizado no meio técnico e acadêmico.

Portanto, as tipologias de tesouras que se apresentaram inicialmente mais adequadas para serem trabalhadas são Treliça Howe (TH), Treliça Howe Simplificada (THS), Treliça Fink (TF) e Treliça Pratt (TP). Os parâmetros definidos para serem analisados são mostrados na Tabela 3.1. Dentre estes parâmetros podem-se citar os diagramas de cobertura que são ilustrados na Figura 3.1. Estes diagramas representam as medidas de comprimento longitudinal 12,00 m e 18,00 m das edificações estabelecidas nesta pesquisa, sendo o espaçamento entre treliças de 1,50 m. No entanto, é importante mencionar que os espaçamentos de 2,50 m e 3,00m foram igualmente estudados.



**Figura 3.1** - Desenhos esquemáticos para demonstração dos diagramas de cobertura  
 (a) 6,00 x 12,00m (b) 6,00 x 18,00m. (Fonte: Desenho arquivo pessoal, 2010)

**Tabela 3.1** - Parâmetros considerados no estudo critico

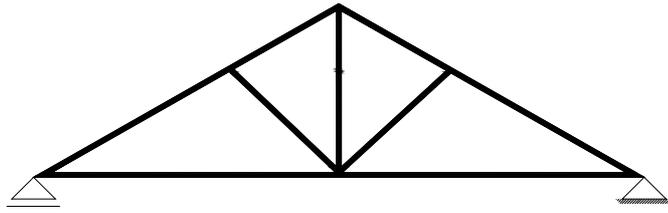
<b>Tipologia</b>	<b>Vão Livre (m)</b>	<b>Simbologia</b>	<b>Espaçamento entre Tesouras (m)</b>	<b>Pé Direito da Edificação (m)</b>				
<b>THS</b>	06	THS-06	1,50 2,00 3,00	3,00				
	08	THS-08						
	10	THS-10						
	12	THS-12						
<b>TH</b>	06	TH-06			1,50 2,00 3,00	3,00		
	08	TH-08						
	10	TH-10						
	12	TH-12						
<b>TP</b>	06	TP-06					1,50 2,00 3,00	3,00
	08	TP-08						
	10	TP-10						
	12	TP-12						
<b>TF</b>	06	TF-06	1,50 2,00 3,00	3,00				
	08	TF-08						
	10	TF-10						
	12	TF-12						

Existem diversas alternativas para a substituição das estruturas de madeira nos telhados coloniais por estruturas em aço. Nesse trabalho as treliças escolhidas para o desenvolvimento do estudo são as mais encontradas no Brasil, mas talvez todas elas não representem, necessariamente, a melhor solução estrutural, arquitetônica e econômica para coberturas em geral.

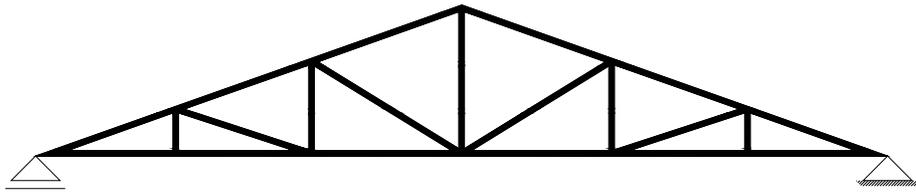
Tendo em vista a substituição das tesouras em madeira convencional de telhado por estrutura de aço, nota-se que existe uma tendência de aumentar a distância entre treliças, o que leva à busca de espaçamentos maiores entre as mesmas, além da conseqüente diminuição do peso do aço na cobertura o que é um dos fatores determinantes para viabilização de uma obra civil, além da redução do custo.

A busca por geometrias que conduza a uma melhor solução para a substituição estrutural nos telhados coloniais é fator primordial nesta pesquisa, além do objetivo de proporcionar uma visão mais clara de qual tipologia terá melhor desempenho. Contudo, a fim de permitir o melhor desenvolvimento do trabalho foram consideradas algumas hipóteses básicas, tais como os nós das treliças, que são articulações perfeitas; o peso próprio das barras, os quais se concentram em suas extremidades; as ações que serão aplicadas somente nos nós; as geometrias que não variam conforme o carregamento determinado; e, por fim, as barras serão solicitadas apenas por esforços de tração e compressão.

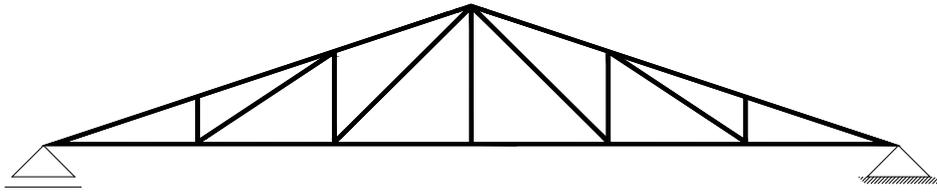
A forma geométrica das quatro tesouras lineares adotadas, nesta pesquisa e a nomenclatura das barras retas ligadas por suas articulações perfeitas, uma hipótese, são mostradas nas Figuras 3.2.



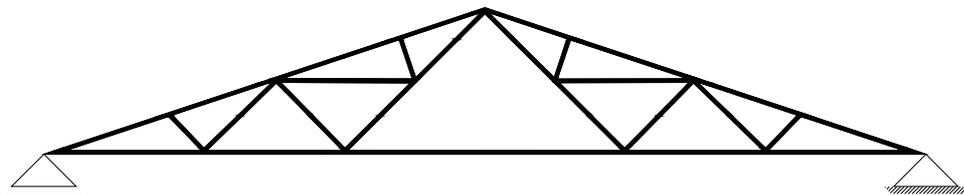
(a)



(b)



(c)



(d)

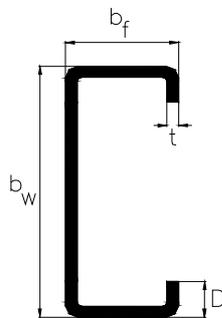
**Figura 3.2** - Desenhos esquemáticos para demonstração das Treliças: (a) Howe Simplificada (b) Treliça Howe, (c) Treliça Pratt, (d) Treliça Fink

### 3.4 Materiais Utilizados

A NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) recomenda a utilização de aço para perfis com qualificação estrutural e possuam propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Portanto, devem apresentar a relação entre a resistência a ruptura e a resistência ao escoamento  $f_u / f_y$  maior ou igual a 1,08 e o alongamento após a ruptura não deve ser menor que 10% para base de medida igual a 50 mm ou 7% para base de medida igual a 200 mm, tomando-se como referencia os ensaios de tração segundo as prescrições da norma ASTM A370. (YU, 2000).

Os valores nominais numéricos da resistência ao escoamento  $f_y$  e da resistência a ruptura  $f_u$  de aços relacionados por normas brasileiras referentes a chapa fina para uso estrutural encontram-se na tabela 1 da NBR 14762:2010 (ABNT, 2010). Vale ressaltar que não são relacionados os aços com resistência ao escoamento inferior a 250 MPa, pois não estão sendo utilizados na prática.

Neste trabalho as barras da tesoura foram constituídas pelo perfil U enrijecido formado a frio, também conhecidos como perfil leve. Os procedimentos de dimensionamento são estabelecidos pela NBR 14622:2010 (ABNT, 2010). Os fatores que determinaram a adoção deste perfil, para confecção das tesouras, são características relevantes do mesmo tais como: suas chapas são menos suscetíveis as imperfeições do tipo local se comparado ao perfil do tipo U simples e, portanto, oferece a estrutura maior segurança. Segue ilustrada na Figura 3.3 a seção transversal do perfil U enrijecido, onde  $b_f, b_w, t$  e  $D$  são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado.



**Figura 3.3** - Perfil U enrijecido. (Fonte: Desenho arquivo pessoal, 2011)

## 4 ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO DOS MODELOS

Neste trabalho de pesquisa foram analisados 48 modelos, os quais foram abordados no capítulo 4, de tal forma a detalhar os parâmetros adotados para as tipologias de treliças, os vãos livres, a velocidade básica do vento, espaçamento entre as estruturas e as medidas de comprimento longitudinal. Em sequência, neste capítulo, são abordados e explicados os principais aspectos da análise e dimensionamento dos modelos que compõem o estudo da avaliação do desempenho das tipologias estruturais de coberturas compostos por perfis formados a frio.

### 4.1 Ações Atuantes

As ações atuantes nos modelos foram determinadas de acordo com as recomendações descritas no item 6 da NBR 14762 : 2010 (ABNT, 2010).

#### 4.1.1 Ações Permanentes (*G*)

As ações permanentes aplicadas nas treliças simples correspondem ao peso próprio dos elementos constituintes da estrutura e dos materiais a ela ligados. O peso próprio dos elementos estruturais avaliado após o pré-dimensionamento das treliças foi calculado usando a fórmula de howe representada pela expressão (4.1), segundo Moliterno (2010).

$$PP=2,45(1+0,33L) \quad (4.1)$$

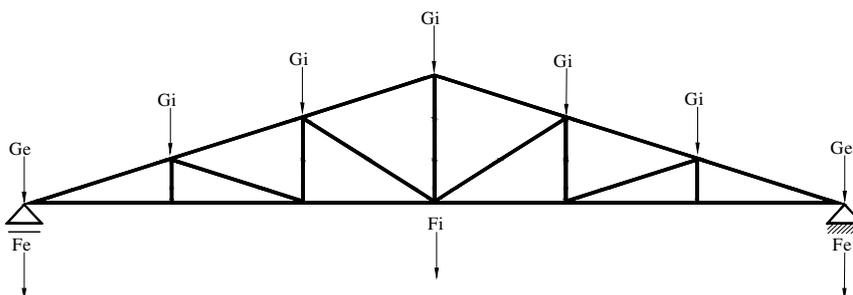
Onde: L representa a medida do vão livre em metros.

Para todos os modelos considerou-se o peso próprio das telhas, ripas e caibros, além de uma carga de 30% a mais do peso das telhas cerâmicas devido à absorção de água pluvial e uma carga de 0,1471 kN/m<sup>2</sup> devido ao peso do forro. A título de ilustração e para o melhor entendimento a Figura 4.1 ilustra o sentido e a forma de atuação destas ações permanentes no modelo considerado. Apresentam-se na Tabela 4.1

os valores da ação permanente para a tipologia modelo TH, levando-se em consideração a variação do espaçamento entre as treliças.

**Tabela 4.1** - Ação permanente na treliça modelo TH

AÇÃO PERMANENTE		
Tipologia adotada = TH		
Vão livre (L) = 6,00 m		
Pé Direito (m) = 3,00		
Espaçamento entre Tesouras	Gi (kN)	Ge (kN)
1,5	1, 5196	1, 451
2,0	2, 0261	1, 9347
3,0	3, 0392	2, 902



**Figura 4.1** - Atuação da ação permanente (G e F) na treliça modelo TH.  
(Fonte: Desenho arquivo pessoal, 2010)

#### 4.1.2 Ações Variáveis

As ações variáveis são aquelas cargas que resultam do uso ou da ocupação da edificação ao longo de sua vida útil e representam valores significativos. No caso das estruturas de cobertura estudadas neste trabalho as ações variáveis aplicadas as estruturas são a sobrecarga de cobertura e a ação do vento que estão contextualizadas a seguir.

#### 4.1.2.1 Sobrecarga de Cobertura (Q)

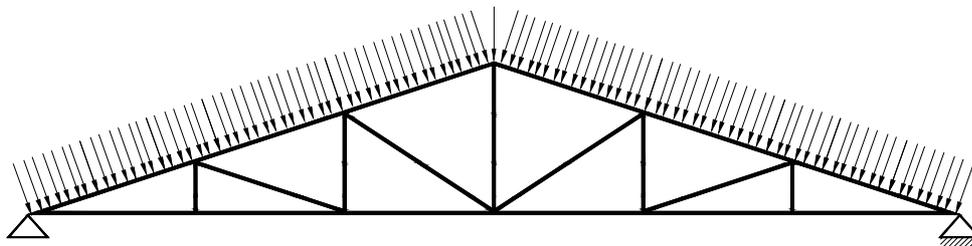
Em se tratando de coberturas comuns e na ausência de especificação mais rigorosa, deve ser prevista uma sobrecarga nominal mínima de  $1,50 \text{ kN/m}^2$  NBR 6120:1980 (ABNT, 1980). Sendo assim, para os modelos considerados foi acrescentado à carga normal uma sobrecarga de cobertura de  $1,50 \text{ kN/m}^2$ , conforme recomendação da NBR 6120: 1980 (ABNT, 1980). Ademais consideramos ainda ao valor dessa sobrecarga a ação do vento de sucção.

Os valores encontrados referentes à sobrecarga de cobertura para tesoura modelo TH, com vão livre de 6,00 metros, levando-se em consideração a variação dos espaçamentos entre as treliças estão apresentados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** - Sobrecarga de cobertura para tesoura modelo TH

SOBRECARGA DE COBERTURA	
Espaçamento entre tesouras (m)	SC (kN/m)
1,5	2,2066
2,0	2,9421
3,0	4,4132

A Figura 4.3 ilustra a direção e o sentido de aplicação da sobrecarga de cobertura na treliça modelo TH.



**Figura 4.2** - Atuação da sobrecarga na treliça modelo TH.  
(Fonte: Desenho arquivo pessoal, 2010).

#### 4.1.2.2 Ação dos Ventos (V)

As ações dos ventos na estrutura de cobertura são significativas e, conseqüentemente, consideradas neste trabalho, se dão por sucção e sob pressão, A ação por sucção, no caso particular de coberturas com telhas cerâmicas, quando não amarradas ou fixadas por meio de pregos na estrutura de armação do telhado, não tem significado. Portanto, considera-se que para um vento de sucção que supere o peso próprio das telhas, haverá um destelhamento sem prejudicar a estrutura (MOLITERNO, 2010). Entretanto, desconsidera-se o efeito do vento de sucção na cobertura, para uma facilitação deste estudo.

Com relação à ação de sobrepressão é uma questão relevante nesta pesquisa, de acordo com a NBR 6120:1980 item 2.2.1.4, “Todo elemento isolado de cobertura (ripas, terças e barras do banzo superior de tesouras ou treliças) deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 1,0 kN, além da carga permanente.” (ABNT, 1980) Denomina-se como carga uniforme equivalente: no meio da terça ou do banzo superior  $P = 1,0 \text{ kN}$ , segundo Moliterno (2010).

## 4.2 Combinações de Ações

Os critérios para combinação das ações, ou seja, que há probabilidade de ocorrer simultaneamente num período de tempo, estão definidos na NBR14762:2010 (ABNT, 2010). Na referida norma está prescrito a seguinte expressão para combinação última normal de ações:

$$F_d = \sum_{i=1}^n (\gamma_i F_{G_i,k}) + \gamma_{Q1,k} F_{Q1,k} + \sum_{i=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (4.2)$$

onde:

$F_{G_i,k}$  = os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  = o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$  = valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

- Combinação 01:  $1,25 \times G + 1,5 \times Q + 1,40 \times 0,6 \times P$
- Combinação 02:  $1,25 \times G + 1,4 \times P + 1,50 \times 0,50 \times Q$

**Nota:** nas combinações anteriores, **G** representa o peso próprio, **Q** representa a sobrecarga e **P** representa o vento.

Para a treliça modelo:

- Combinação 01:

$$F_{sd} = 1,25 \times 1,4904 + 1,50 \times 2,250 + 1,40 \times 0,60 \times 0,9807 = 6,0618 \text{ kN}$$

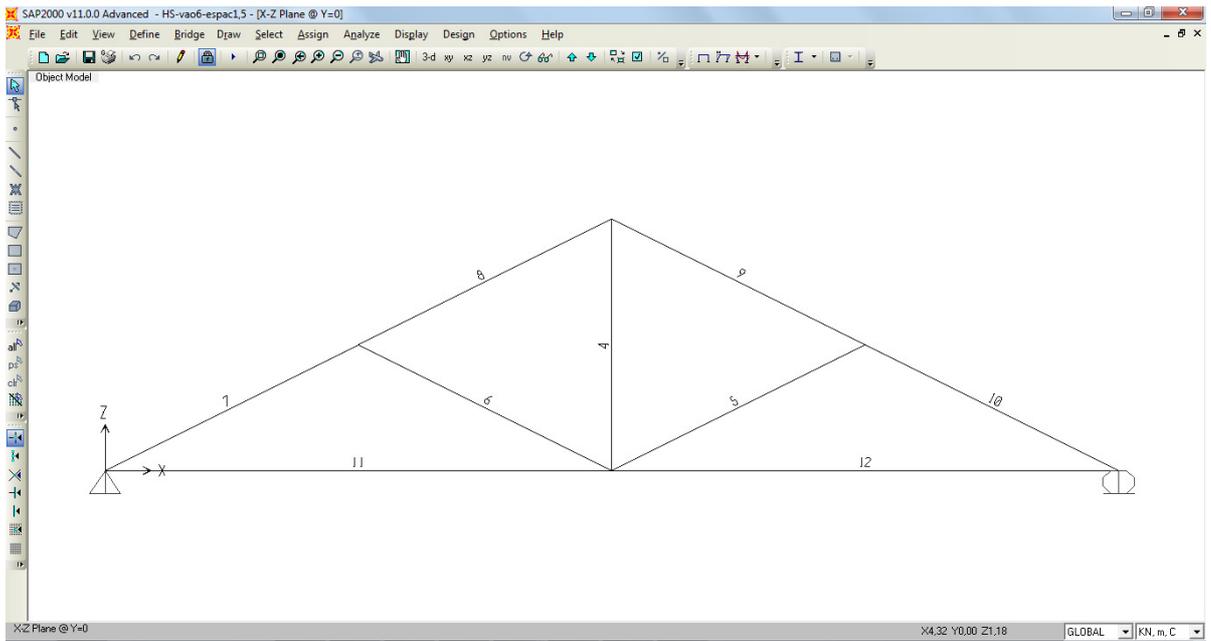
- Combinação 02:

$$F_{sd} = 1,25 \times 1,4904 + 1,40 \times 0,9807 + 1,50 \times 0,50 \times 2,250 = 4,9235 \text{ kN}$$

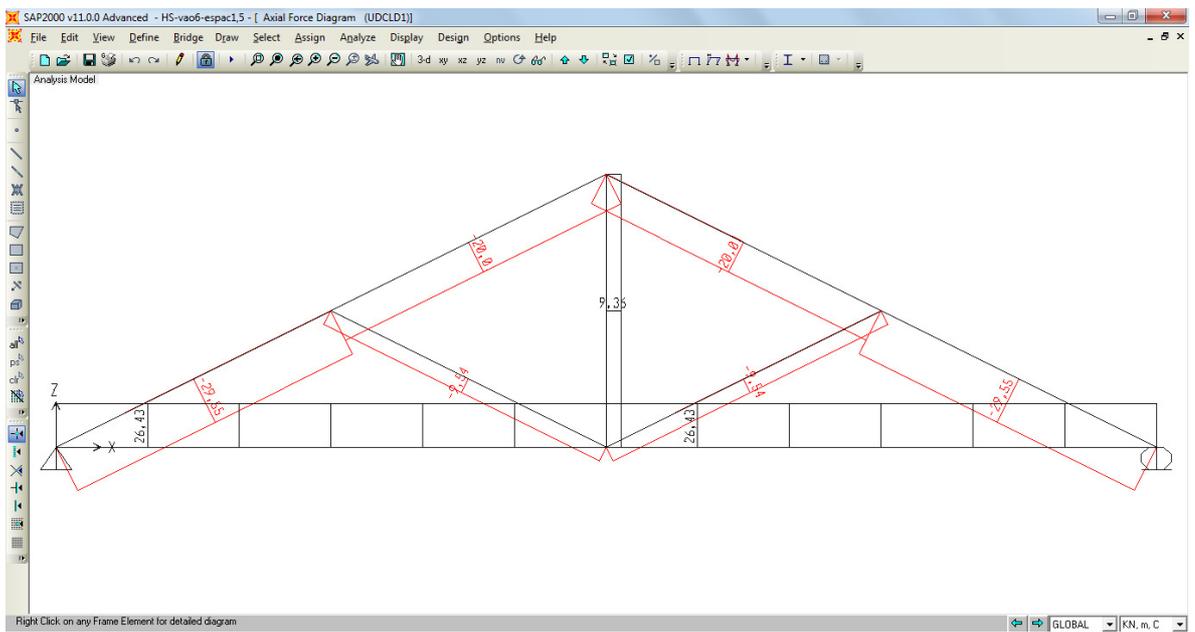
Dessa forma, adotaremos o maior esforço para cálculo dos esforços solicitantes e posterior dimensionamento.

### 4.3 Análise Estrutural

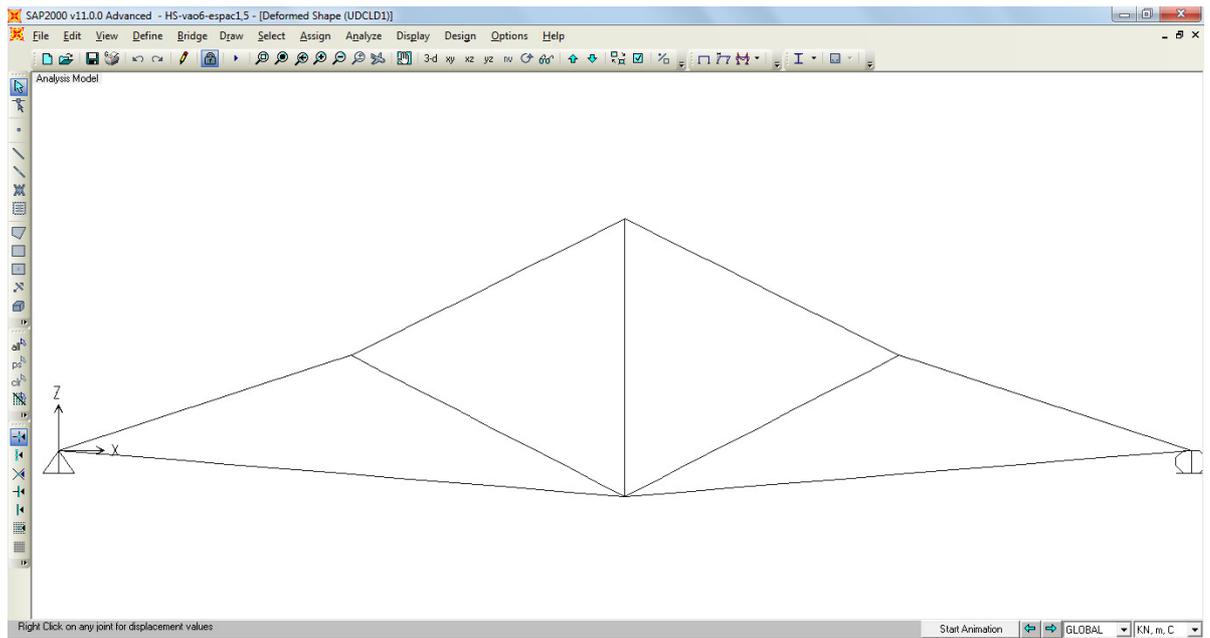
O fator determinante na escolha do tipo da análise estrutural a ser feita é assegurar que os resultados obtidos serão a representação do real comportamento da estrutura. No sentido de auxiliar esta análise estrutural, há no mercado internacional diversos programas computacionais, amplamente empregados na avaliação do comportamento de um grande número de problemas de engenharia. Muitos desses programas são baseados no Método dos Elementos Finitos, enquanto outros, que estão limitados a elementos de barras, utilizam o Método dos Deslocamentos. Neste contexto, no atual trabalho, utiliza-se o programa computacional SAP 2000, versão 11 (COMPUTERS AND STRUCTURES, 2005), dito anteriormente, para realização das análises estruturais e dimensionamento dos modelos. Objetivando um melhor entendimento do desempenho das tesouras, as Figuras 4.3 a 4.14 ilustram em detalhes e em seqüência de etapas de aplicação de esforços solicitantes e conseqüentes deformações para treliça modelo TH, THS, TP e TF que foram geradas pelo programa, conforme pode também ser percebido pelos dados mostrados na Tabela 4.3.



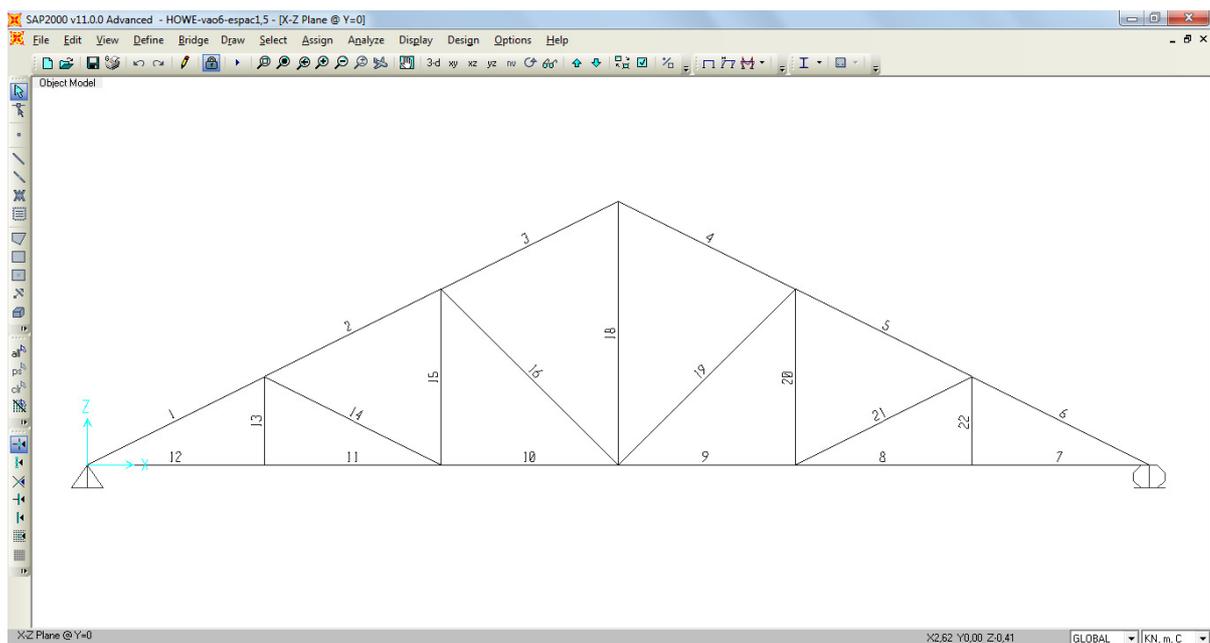
**Figura 4.3** - Análise SAP para treliça Howe Simplificada (vão 6m - espaçamento 1,50m)



**Figura 4.4** - Análise SAP para treliça Howe Simplificada - esforços (vão 6m - espaçamento 1,50m)



**Figura 4.5 - Análise SAP para treliça Howe Simplificada- deformação**  
(vão 6m - espaçamento 1,50m)



**Figura 4.6 - Análise SAP para treliça Howe (vão 6m - espaçamento 1,50m)**



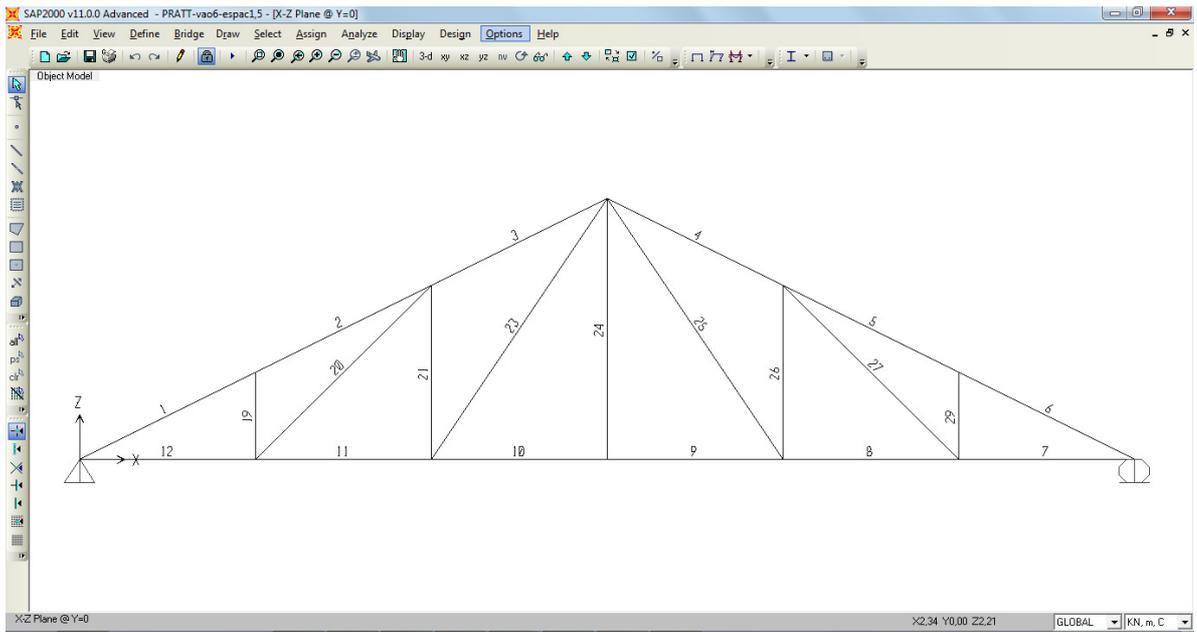


Figura 4.9 - Análise SAP para treliça Pratt (vão 6m - espaçamento 1,50m)

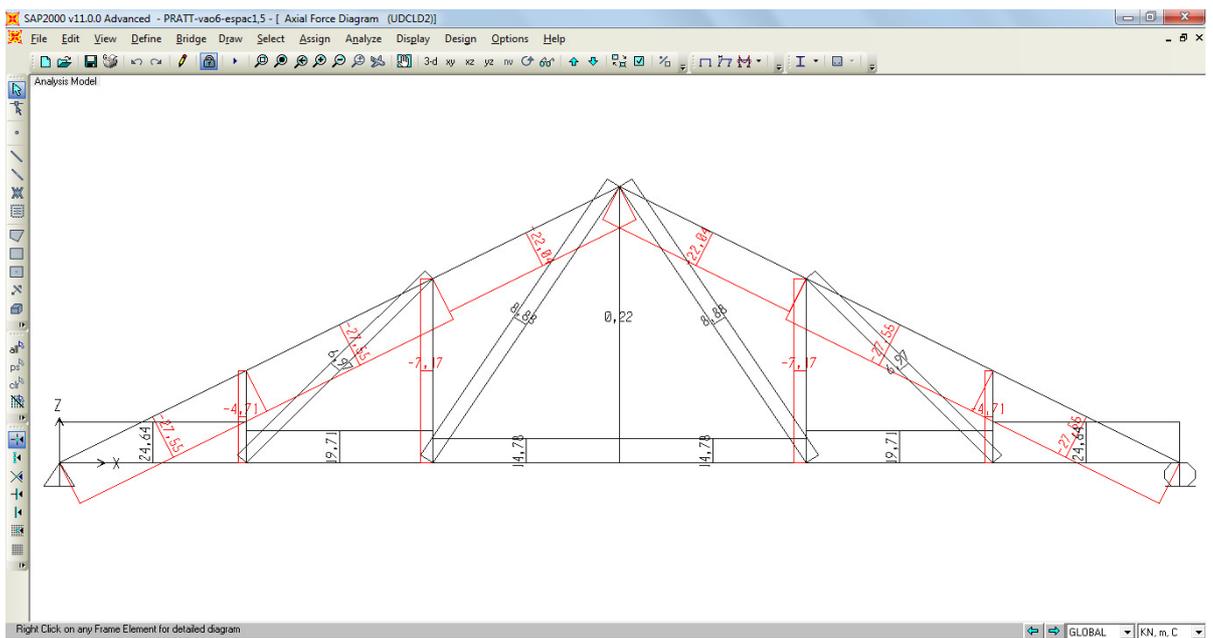
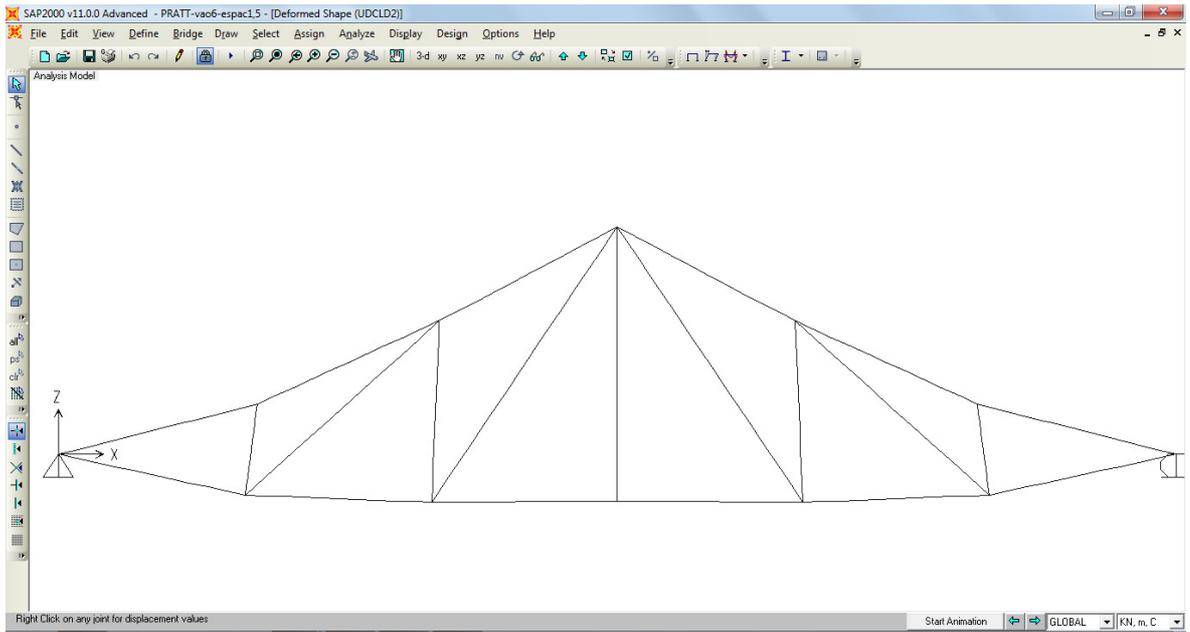
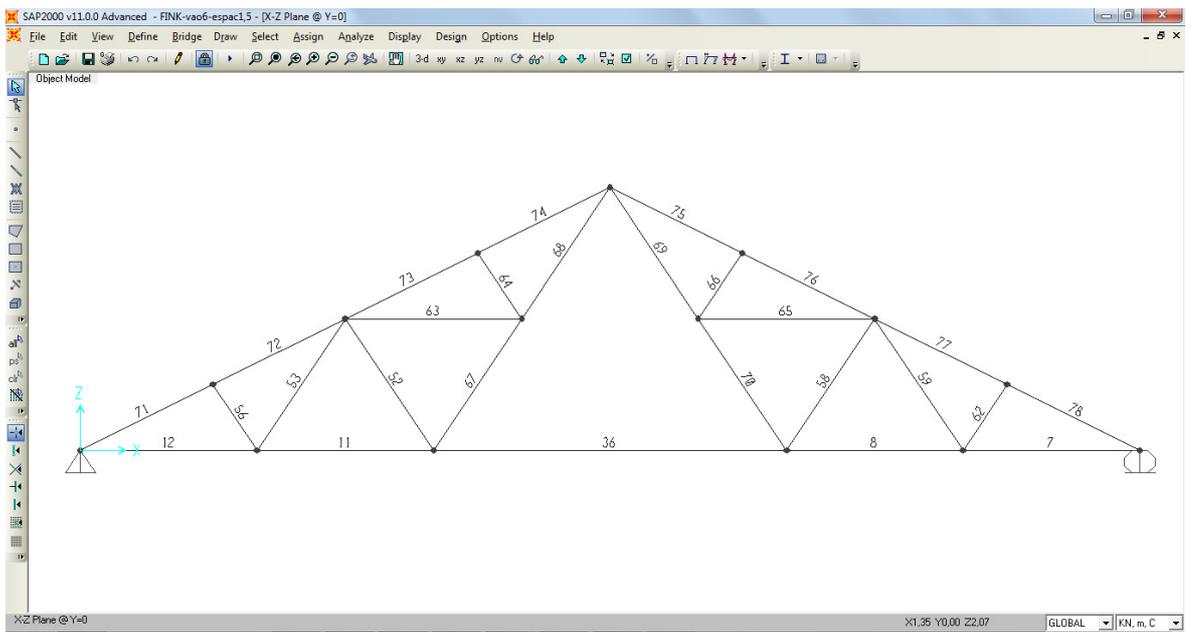


Figura 4.10 - Análise SAP para treliça Pratt - esforços (vão 6m - espaçamento 1,50m)



**Figura 4.11-** Análise SAP para treliça Pratt - deformação (vão 6m - espaçamento 1,50m)



**Figura 4.12 -** Análise SAP para treliça Fink (vão 6m - espaçamento 1,50m)

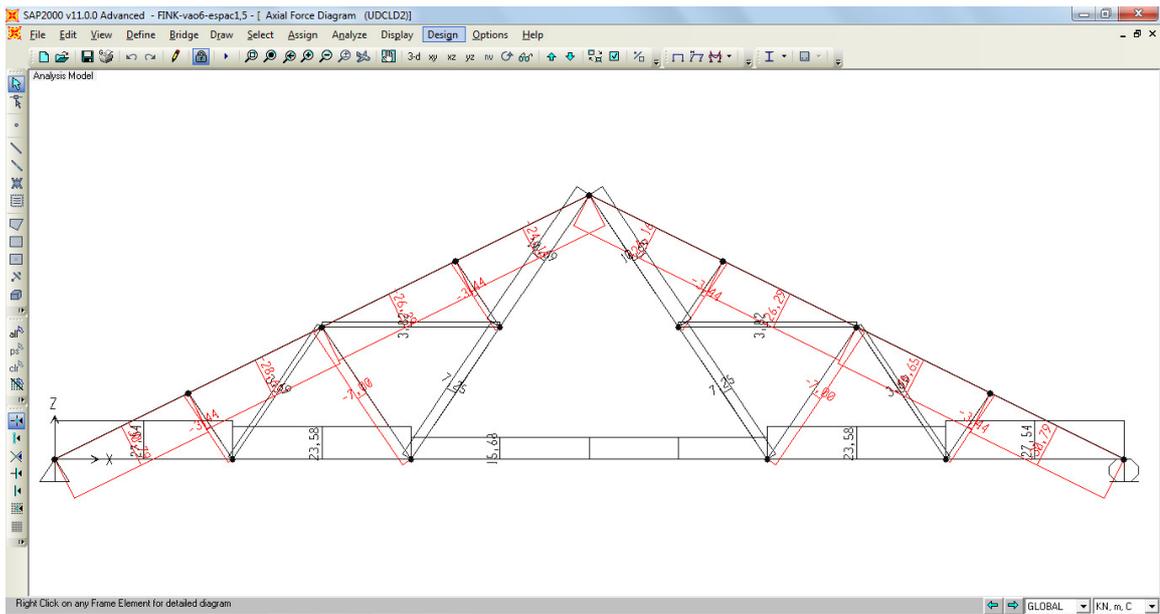


Figura 4.13 - Análise SAP para treliça Fink- esforços (vão 6m - espaçamento 1,50m)

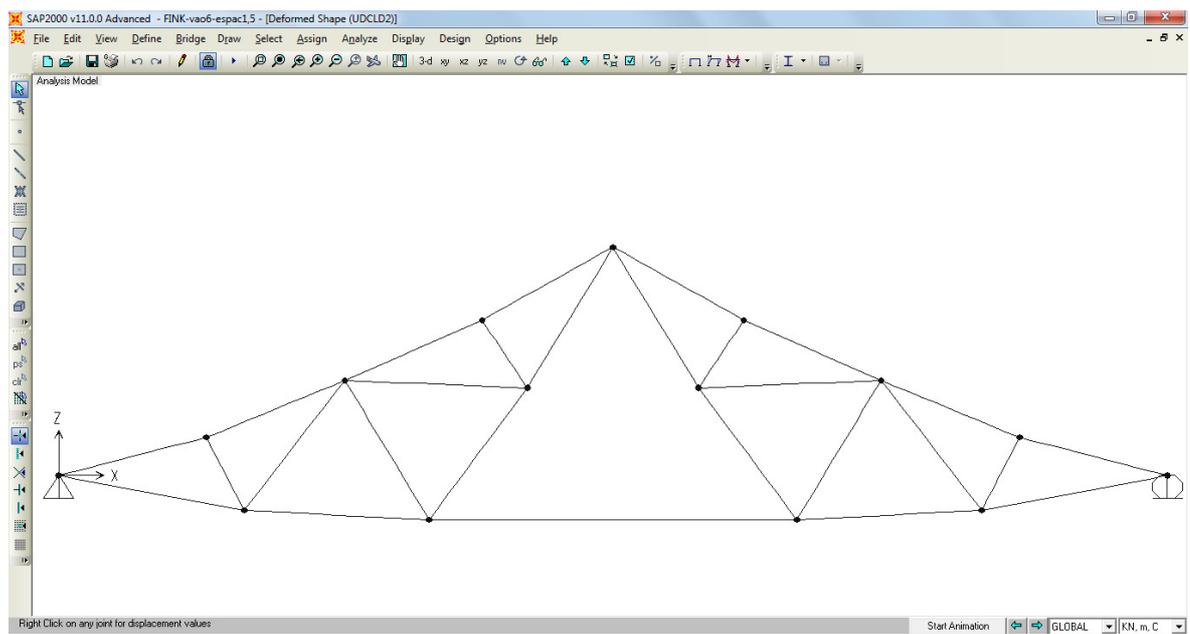


Figura 4.14 - Análise SAP para treliça Fink - deformação (vão 6m e espaçamento 1,50m)

**Tabela 4.3** - Resultado dos esforços solicitantes para treliça modelo (TH)

<b>Tesoura Howe (vão 6m - espaçamento 1,50m)</b>			
<b>Barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Força Normal (kN)</b>	<b>Tipos de Esforço</b>
01	1,11803	-35,065	Compressão
02	1,11803	-28,052	Compressão
03	1,11803	-21,039	Compressão
04	1,11803	-21,039	Compressão
05	1,11803	-28,052	Compressão
06	1,11803	-35,065	Compressão
07	1,00000	31,363	Tração
08	1,00000	31,363	Tração
09	1,00000	25,090	Tração
10	1,00000	25,090	Tração
11	1,00000	31,363	Tração
12	1,00000	31,363	Tração
13	0,50000	0,276	Tração
14	1,11803	-7,013	Compressão
15	1,00000	3,412	Tração
16	1,41421	-8,871	Compressão
17	1,50000	12,821	Tração
18	1,41421	-8,871	Compressão
19	1,00000	3,412	Tração
20	1,11803	-7,013	Compressão
21	0,50000	0,276	Tração

## **4.4 Dimensionamento dos Modelos Estruturais**

### *4.4.1 Generalidades*

O dimensionamento das barras de perfis formados a frio é feito com base no Método dos estados limites de acordo com a NBR 14762:2010 (ABNT, 2010). Esse método impõe um limite de carga aplicável à estrutura e determina que esse limite não poderá ser excedido pelas devidas combinações de ações. Dentre esses métodos temos o estado limite último (ELU) e o estado limite de serviço (ELS). Sendo que o ELU está relacionado com a segurança da estrutura e nele se impõe as condições mais desfavoráveis de ações previstas em toda sua vida útil. O ELU é aplicado tanto durante a construção ou quando ocorrer uma situação especial ou excepcional. Já no ELS é considerado o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização.

Na NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) são previstos três métodos para o dimensionamento de barras de perfis formados a frio. No primeiro deles, o método da largura efetiva (MLE), a flambagem local é considerada por meio de propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da secção transversal das barras, advindas do cálculo das larguras efetivas dos elementos comprimidos. No método MLE é considerada a flambagem distorcional causada por compressão e/ou flexão. No segundo método, o método da seção efetiva (MSE), a flambagem local é considerada por meio das propriedades geométricas efetivas (reduzidas) da secção transversal da barra, porém são calculadas de forma direta, conforme item 9.7.2 b da norma. Ademais, é considerado nesse método a flambagem distorcional causada pelo efeito de compressão e/ou flexão. No último método previsto pela norma, o método da resistência direta (MRD), é tido como base as propriedades geométricas da secção bruta e, com uma análise geral de estabilidade elástica, é possível identificar todos os métodos de flambagem e seus respectivos esforços críticos.

Em se tratando deste trabalho optou-se pela adoção do método MSE, para fim de dimensionamento das barras das treliças. As dimensões geométricas do perfil U enrijecido, necessárias para o cálculo foram obtidas do catálogo de produtos da TECNOFER S.A. O perfil formado a frio e o valor resistente encontrado foi comparado

com o esforço solicitante obtido na análise estrutural. Tendo em vista o foco deste trabalho de pesquisa, foi escolhido o perfil mais leve possível.

O dimensionamento das barras tracionadas e comprimidas pertencentes aos modelos foram realizados em planilha elaborada no Microsoft Excel, com o objetivo de facilitar o cálculo de todas as barras das tesouras. Cabe salientar que o dimensionamento foi feito admitindo o roteiro de cálculo para perfis formados a frio submetidos a esforços axiais recomendado pela NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) e apresentado na seção seguinte deste trabalho. Os resultados em termos de taxa de consumo de aço para todos os modelos serão apresentados no capítulo 5.

#### *4.4.2 Roteiro para o dimensionamento de perfis formados a frio submetidos a esforços axiais*

##### 4.4.2.1 - Barras submetidas à força axial de tração

No dimensionamento das barras tracionadas deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (4.2)$$

onde:

$N_{t,Sd}$  = força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$  = força axial de tração resistente de cálculo.

Deve ainda ser levado em consideração que o índice de esbeltez das barras tracionadas, tomado como a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente ( $L/r$ ) não exceda a 300.

Vale ressaltar também que, a força axial de tração resistente de cálculo  $N_{t,Rd}$  é o menor dos valores obtidos considerando-se os estados limites últimos de escoamento da seção bruta, a ruptura da seção líquida fora da região da ligação e ruptura da seção líquida na região da ligação, são obtidas de acordo com as expressões indicadas a seguir:

- para escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = Af_y / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (4.3)$$

- para ruptura na seção líquida fora da região da ligação

$$N_{t,Rd} = A_{n0}f_u / \gamma \quad (\gamma = 1,35) \quad (4.4)$$

- para ruptura da seção líquida na região da ligação

$$N_{t,Rd} = C_t A_n f_u / \gamma \quad (\gamma = 1,65) \quad (4.5)$$

onde:

A = área bruta da seção transversal da barra;

A<sub>n0</sub> = área líquida da seção transversal da barra fora da região da ligação (por exemplo, decorrente de furos ou recortes que não estejam associados á ligação da barra);

A<sub>n</sub> = área líquida da seção transversal da barra na região da ligação;

C<sub>t</sub> = coeficiente de redução da área líquida;

A<sub>n</sub> = A (para ligações soldadas);

C<sub>t</sub> = 1,0 (para ligações soldadas).

**Nota:** para ligações parafusadas, verificar as recomendações da NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) para o cálculo C<sub>t</sub> e A<sub>n</sub>.

#### 4.4.2.2 Barras submetidas à força axial de compressão

Em se tratando do dimensionamento das barras comprimidas deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (4.6)$$

onde:

N<sub>c,Sd</sub> = força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$  = força axial de compressão resistente de cálculo, tomada como o menor valor calculado em: (a) flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção; (b) flambagem distorcional.

A norma NBR 14762:2010 (ABNT, 2010) recomenda-se que o índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente ( $L/r$ ) não exceda a 200.

### **(a) Flambagem global por flexão, por torção ou por flexo-torção**

A força axial de compressão resistente de cálculo  $N_{c,Rd}$  deve ser calculada por:

$$N_{c,Rd} = \chi A_{ef} f_y / \gamma \quad (\gamma = 1,20) \quad (4.7)$$

onde:

$\chi$  = fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem global, calculado conforme indicado a seguir:

- para  $\lambda_0 \leq 1,5 \Rightarrow \chi = 0,658^{\lambda_0^2}$

- para  $\lambda_0 > 1,5 \Rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$

$\lambda_0$  = índice de esbeltez reduzido associado à flambagem global, determinado por:

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

$N_e$  = força axial de flambagem global elástica, para perfis com dupla simetria ou simétricos em relação a um ponto, perfis monossimétricos e perfis assimétricos, conforme apresentado posteriormente;

$A$  = área bruta da seção transversal da barra;

$A_{ef}$  = área efetiva da seção transversal da barra, calculada para o método da seção efetiva (MSE), como:

$$A_{ef} = A \quad (\text{para } \lambda_p \leq 0,776);$$

$$A_{ef} = A \left( 1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,8}} \right) \frac{1}{\lambda_p^{0,8}} \quad (\text{para } \lambda_p > 0,776);$$

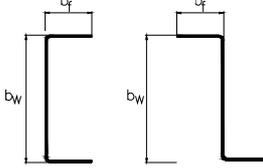
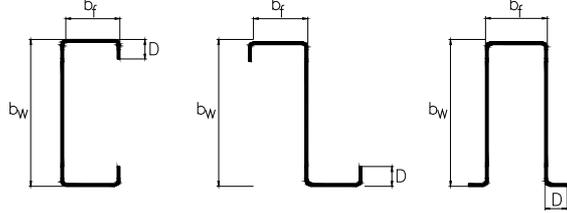
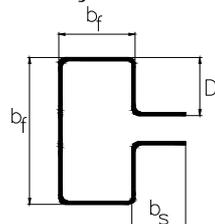
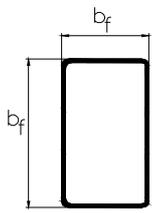
$$\lambda_p = \left( \frac{\chi A f_y}{N_l} \right)^{0,5};$$

$N_l$  = força axial de flambagem local elástica, calculada por meio de análise de estabilidade elástica, ou, de forma direta, segundo a expressão:

$$N_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b_w/t)^2} A$$

Os valores do coeficiente de flambagem local para a seção completa ( $K_l$ ) podem ser calculados pelas expressões indicadas na Tabela 4.4 ou obtidos diretamente da Tabela 4.5. Entretanto os valores da Tabela 4.5 são mais precisos que os fornecidos pelas expressões da Tabela 4.4, uma vez que correspondem a valores determinados diretamente da análise geral de estabilidade elástica, segundo a NBR 14762: 2010. (ABNT, 2010).

**Tabela 4.4** - Coeficiente de flambagem local  $k_\ell$  para a seção complementar em barra sob compressão centrada

Caso a	<p>Seção U simples e seção Z simples</p>  $k_\ell = 4,0 + 3,4\eta + 21,8\eta^2 - 174,3\eta^3 + 319,9\eta^4 - 237,6\eta^5 + 63,6\eta^6$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$
Caso b	<p>Seção U enrijecido e seção Z enrijecido e seção cartola</p>  $k_\ell = 6,8 - 5,8\eta + 9,2\eta^2 - 6,0\eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0; 0,1 \leq D/b_w \leq 0,3)$
Caso c	<p>Seção rack</p>  $k_\ell = 6,5 - 3,0\eta + 2,8\eta^2 - 1,6\eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0; 0,1 \leq D/b_w \leq 0,3; 0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4)$
Caso d	<p>Seção tubular retangular com solda de costura contínua (para seção tubular formada por dois perfis U simples e U enrijecido com solda de costura intermitente, <math>k_\ell</math> deve ser calculado para cada perfil isoladamente)</p>  $k_\ell = 6,6 - 5,8\eta + 8,6\eta^2 - 5,4,0\eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$
<p>NOTA 1: <math>b_f, b_w</math> e <math>D</math> são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado na Figura.  NOTA 2: <math>\eta = b_f / b_w</math>.</p>	

Fonte: NBR 14762, 2010 (ABNT, 2010).

**Tabela 4.5** - Valores mínimos da relação  $D/b_w$  de barras com seção U enrijecido e seção Z enrijecido submetidas à compressão, para dispensar a verificação da flambagem distorcional

$b_w lt$					
$b_f lb_w$	250	200	125	100	50
0,4	0,02	0,03	0,04	0,04	0,08
0,6	0,03	0,04	0,06	0,06	0,15
0,8	0,05	0,06	0,08	0,10	0,22
1,0	0,06	0,07	0,10	0,12	0,27
1,2	0,06	0,07	0,12	0,15	0,27
1,4	0,06	0,08	0,12	0,15	0,27
1,6	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
1,8	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
2,0	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27

NOTA 1:  $b_f, b_w$  e  $D$  são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado na Figura da Tabela 4.4.

NOTA 2: Para valores intermediários, interpolar linearmente.

Fonte: NBR 14762: 2010 (ABNT, 2010)

- **Perfis com dupla simetria ou simétricos em relação a um ponto**

A força axial de flambagem elástica ( $N_e$ ) é o menor valor dentre os obtidos por:

- força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal x:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (4.8)$$

- força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo principal y:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (4.9)$$

- força axial de flambagem global elástica por torção:

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad (4.10)$$

onde:

$C_w$  = constante de empenamento da seção;

$E$  = módulo de elasticidade;

$G$  = módulo de elasticidade transversal;

$J$  = constante de torção da seção;

$K_x L_x$  = comprimento efetivo de flambagem global por flexão em relação ao eixo x;

$K_y L_y$  = comprimento efetivo de flambagem global por flexão em relação ao eixo y;

$K_z L_z$  = comprimento efetivo de flambagem global por torção. Quando não houver garantia de impedimento ao empenamento, deve-se tomar  $K_z = 1,0$ ;

$r_0$  = raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção, dado por:

$$r_0 = \left[ r_x^2 + r_y^2 + x_0^2 + y_0^2 \right]^{0,5};$$

$r_x$  e  $r_y$  = aos raios de giração da seção bruta em relação aos eixos principais x e y.

#### • Perfis monossimétricos

A força axial de flambagem global elástica ( $N_e$ ) de um perfil com seção monossimétrica, cujo eixo x é o eixo de simetria, é o menor valor dentre os obtidos por:

- força axial de flambagem global elástica por flexão em relação ao eixo y

- força axial de flambagem global elástica por flexo-torção:

$$N_{ez} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[ 1 - (x_0/r_0)^2 \right]} \left[ 1 - \sqrt{\frac{4N_{ex} N_{ez} \left[ 1 - (x_0/r_0)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right] \quad (4.11)$$

onde:

$N_{ex}$  e  $N_{ey}$  são as forças axiais de flambagem global elástica, respectivamente;  
 $r_0$  e  $x_0$  são conforme a definição anterior.

Caso o eixo  $y$  seja o eixo de simetria, substituir  $y$  por  $x$  no primeiro caso;  $x$  por  $y$  e  $x_0$  por  $y_0$  no segundo caso.

- Perfis assimétricos

A força axial de flambagem global elástica ( $N_e$ ) de um perfil com seção assimétrica é dada pela menor das raízes da equação cúbica seguinte:

$$r_0^2(N_e - N_{ex})(N_e - N_{ey})(N_e - N_{ez}) - N_e^2(N_e - N_{ey})x_0^2 - N_e^2(N_e - N_{ex})y_0^2 = 0 \quad (4.12)$$

onde:

$N_{ex}$ ;  $N_{ey}$ ;  $N_{ez}$ ;  $x_0$ ;  $y_0$  e  $r_0$  são conforme definição anterior.

### (b) Flambagem distorcional

Para as barras com seção transversal aberta sujeita à flambagem distorcional, a força axial de compressão resistente de cálculo ( $N_{c,Rd}$ ) deve ser calculada por:

$$N_{c,Rd} = \chi_{dist} Af_y / \gamma \quad (\gamma = 1,20) \quad (4.13)$$

onde:

$\chi_{dist}$  = fator de redução da força axial de compressão resistente, associado à flambagem distorcional, calculado por:

$$\chi_{dist} = 1,0 \quad \text{para } \lambda_{dist} \leq 0,561 \quad (4.14)$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{(\lambda_{dist})^{1,2}}\right) \frac{1}{(\lambda_{dist})^{1,2}} \quad \text{para } \lambda_{dist} > 0,561 \quad (4.15)$$

$A$  = área bruta da seção transversal da barra;

$\lambda_{dist} = (Af_y / N_{dist})^{0,5}$  é o índice de esbelteza reduzido associado à flambagem distorcional;

$N_{dist}$  = força axial de flambagem distorcional elástica, a qual deve ser calculada com base na análise de elasticidade elástica.

Para as barras com seção U enrijecido e seção Z enrijecido, se a relação  $D/b_w$  for igual ou superior aos valores indicados na Tabela 4.6, a verificação da flambem distorcional pode ser dispensada.

**Tabela 4.6** - Valores do coeficiente de flambagem local  $K_l$  para barras sob compressão centrada

$\eta=b_f/b_w$	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
	Seção U simples e Seção Z simples	Seção U enrijecido, Seção Z enrijecido e seção cartola	Seção rack	Seção tubular retangular (solda de costura continua)
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

NOTA 1:  $b_f, b_w, b_s$  e  $D$  são as dimensões nominais dos elementos, conforme indicado nas Figuras da Tabela 4.4.

NOTA 2: Para o caso b, os valores são válidos para  $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ .

NOTA 3: Para o caso c, os valores são válidos para  $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$  e  $0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4$ .

NOTA 4: Para valores intermediários, interpolar linearmente.

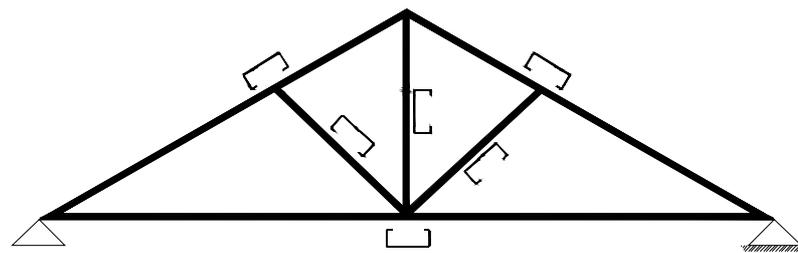
Fonte: NBR 14762: 2010 (ABNT, 2010).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresenta-se neste capítulo a relação dos perfis dimensionados para a confecção das barras pertencentes às tesouras analisadas, o peso de cada modelo pertencente às tipologias: Howe Simplificada, Howe, Pratt e Fink, levando em consideração o vão livre e o espaçamento entre as tesouras. Discute-se também, os resultados de taxas de consumo de aço, bem como o desempenho estrutural das quatro tipologias que compõem o estudo paramétrico.

A taxa de consumo de aço é tomada, nesta pesquisa, como critério inicial para comparação das tipologias de cobertura, conforme apresentado no capítulo 3. Da mesma forma, optou-se por utilizar a taxa de consumo de aço como parâmetro de comparação entre as tipologias. Além disso, apresenta-se também a variação dos vãos livres adotados, como uma referência para comparação do desempenho estrutural das tipologias.

A taxa de consumo de aço global para cada modelo do estudo paramétrico é obtida a partir da aplicação dos princípios de análises e dimensionamento apresentados no capítulo 4. A Figura 5.1 ilustra a posição dos perfis U enrijecido em um modelo genérico da tesoura THS.



**Figura 5.1** - Posição dos perfis U enrijecido no modelo tipo THS  
(Fonte: Desenho arquivo pessoal, 2010)

A Tabela 5.1 mostra a relação dos perfis U enrijecidos, dimensionados para as barras tracionadas e comprimidas de todos os modelos de tesouras analisados, considerando o peso em kg por metro linear (kg/m).

**Tabela 5.1** - Relação dos perfis constituintes das barras pertencentes aos modelos estruturais

<b>Perfil U enrijecido</b>	<b>Peso / m (kg/m)</b>	<b>Perfil U enrijecido</b>	<b>Peso / m (kg/m)</b>
125x50x17x2,00	3,86	200x75x25x2,65	7,75
75x40x15x2,00	2,70	100x40x17x2,00	3,15
125x50x17x3,35	6,23	50x25x10x2,25	2,13
75x40x15x2,65	3,49	125x50x17x2,25	4,31
150x60x20x2,65	6,09	125x50x17x2,65	5,03
100x40x17x2,25	3,52	75x40x15x3,00	3,89
150x60x20x3,35	7,57	150x60x20x2,00	4,66
100x40x17x3,00	4,58	100x40x17x2,65	4,09
200x75x25x2,65	7,75	100x50x17x3,00	5,05
125x50x17x3,00	5,63	50x25x10x2,0	1,68
150x60x20x2,25	5,21	50x25x10x3,00	2,36

Apresenta-se nas Tabelas 5.2 a 5.17 as medidas do somatório do comprimento dos banzos superiores e inferiores, das diagonais e dos montantes pertencentes a todos os modelos estruturais analisados, os perfis adotados para cada barra e os pesos (Kg) do somatório de barras e de cada tesoura, respectivamente.

A partir dos resultados apresentados nestas Tabelas pode-se verificar que as características das 48 tipologias de tesouras são dependentes dos vãos livres e dos espaçamentos entre as mesmas. Vale mencionar que as informações contidas nestas Tabelas permitem avaliar o peso total das peças por metro quadrado (m<sup>2</sup>) levando em consideração os diagramas de cobertura apresentados na Figura 3.1 do capítulo 3 e, a partir daí conhecer o valor da confecção de cada tipologia estrutural.

Cabe ainda salientar que o peso das tesouras apresentadas nas Tabelas 5.2 a 5.17 é utilizado para a determinação da taxa de consumo de aço para cada tipologia, em função do vão livre e espaçamento entre as mesmas.

**Tabela 5.2** - Descrição tesoura Howe Simplificada para o vão livre 6,00m

<b>Tesoura Howe simplificada (vão 6m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
Σ Banzo superior	6,71	125x50x17x2,00	25,84	62,02
Σ Banzo inferior	6,00	125x50x17x2,00	23,11	
Σ Diagonal	3,35	75x40x15x2,00	9,03	
Σ Montante	1,50	75x40x15x2,00	4,04	
<b>Tesoura Howe simplificada (vão 6m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
Σ Banzo superior	6,71	125x50x17x2,00	25,84	62,02
Σ Banzo inferior	6,00	125x50x17x2,00	23,11	
Σ Diagonal	3,35	75x40x15x2,00	9,03	
Σ Montante	1,50	75x40x15x2,00	4,04	
<b>Tesoura Howe simplificada (vão 6m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
Σ Banzo superior	6,71	125x50x17x2,00	25,84	62,02
Σ Banzo inferior	6,00	125x50x17x2,00	23,11	
Σ Diagonal	3,35	75x40x15x2,00	9,03	
Σ Montante	1,50	75x40x15x2,00	4,04	

**Tabela 5.3** - Descrição tesoura Howe Simplificada para o vão livre 8,00m

<b>Tesoura Howe simplificada (vão 8m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	125x50x17x2,00	34,46	82,71
$\Sigma$ Banzo inferior	8,00	125x50x17x2,00	30,82	
$\Sigma$ Diagonal	4,47	75x40x15x2,00	12,05	
$\Sigma$ Montante	2,00	75x40x15x2,00	5,39	
<b>Tesoura Howe simplificada (vão 8m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	125x50x17x3,35	55,61	127,84
$\Sigma$ Banzo inferior	8,00	125x50x17x3,35	49,74	
$\Sigma$ Diagonal	4,47	75x40x15x2,65	15,55	
$\Sigma$ Montante	2,00	75x40x15x2,65	6,95	
<b>Tesoura Howe simplificada (vão 8m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	150x60x20x2,65	54,28	125,53
$\Sigma$ Banzo inferior	8,00	150x60x20x2,65	48,55	
$\Sigma$ Diagonal	4,47	100x40x17x2,25	15,69	
$\Sigma$ Montante	2,00	100x40x17x2,25	7,02	

**Tabela 5.4** - Descrição tesoura Howe Simplificada para o vão livre 10,00m

<b>Tesoura Howe simplificada (vão 10m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	150x60x20x2,65	67,84	156,91
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	150x60x20x2,65	60,68	
$\Sigma$ Diagonal	5,59	100x40x17x2,25	19,61	
$\Sigma$ Montante	2,50	100x40x17x2,25	8,77	
<b>Tesoura Howe simplificada (vão 10m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	150x60x20x3,35	84,48	196,97
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	150x60x20x3,35	75,56	
$\Sigma$ Diagonal	5,59	100x40x17x3,00	25,52	
$\Sigma$ Montante	2,50	100x40x17x3,00	11,41	
<b>Tesoura Howe simplificada (vão 10m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	200x75x25x2,65	86,40	209,17
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	200x75x25x2,65	77,28	
$\Sigma$ Diagonal	5,59	125x50x17x3,00	31,43	
$\Sigma$ Montante	2,50	125x50x17x3,00	14,05	

**Tabela 5.5** - Descrição tesoura Howe Simplificada para o vão livre 12,00m

<b>Treliça Howe simplificada (vão 12m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
Σ Banzo superior	13,42	150x60x20x2,25	69,75	166,20
Σ Banzo inferior	12,00	150x60x20x2,25	62,39	
Σ Diagonal	6,70	100x40x17x2,25	23,53	
Σ Montante	3,00	100x40x17x2,25	10,52	
<b>Treliça Howe simplificada (vão 12m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
Σ Banzo superior	13,42	200x75x25x2,25	103,68	251,00
Σ Banzo inferior	12,00	200x75x25x2,25	92,74	
Σ Diagonal	6,70	125x50x17x3,00	37,71	
Σ Montante	3,00	125x50x17x3,00	16,87	
<b>Treliça Howe simplificada (vão 12m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
Σ Banzo superior	13,42	200x75x25x2,65	120,39	286,98
Σ Banzo inferior	12,00	200x75x25x2,65	107,78	
Σ Diagonal	6,70	150x60x20x2,65	40,71	
Σ Montante	3,00	150x60x20x2,65	18,20	

**Tabela 5.6** - Descrição tesoura Howe para o vão livre 6,00m

<b>Tesoura Howe (vão 6m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,11	57,75
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	5,06	50x25x10x2,25	9,40	
$\Sigma$ Montante	4,50	50x25x10x2,25	8,35	
<b>Tesoura Howe (vão 6m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,11	57,75
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	5,06	50x25x10x2,25	9,40	
$\Sigma$ Montante	4,50	50x25x10x2,25	8,35	
<b>Tesoura Howe (vão 6m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	125x50x17x2,00	25,84	74,72
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	125x50x17x2,00	23,11	
$\Sigma$ Diagonal	5,06	75x40x15x2,00	13,64	
$\Sigma$ Montante	4,50	75x40x15x2,00	12,12	

**Tabela 5.7** - Descrição tesoura Howe para o vão livre 8,00m

<b>Tesoura Howe (vão 8m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	125x50x17x2,00	34,46	99,62
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	125x50x17x2,00	30,82	
$\Sigma$ Diagonal	6,75	75x40x15x2,00	18,19	
$\Sigma$ Montante	6,00	75x40x15x2,00	16,16	
<b>Tesoura Howe (vão 8m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	125x50x17x2,00	34,46	99,62
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	125x50x17x2,00	30,82	
$\Sigma$ Diagonal	6,75	75x40x15x2,00	18,19	
$\Sigma$ Montante	6,00	75x40x15x2,00	16,16	
<b>Tesoura Howe (vão 8m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	125x50x17x2,00	34,46	99,62
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	125x50x17x2,00	30,82	
$\Sigma$ Diagonal	6,75	75x40x15x2,00	18,19	
$\Sigma$ Montante	6,00	75x40x15x2,00	16,16	

**Tabela 5.8** - Descrição tesoura Howe para o vão livre 10,00m

<b>Tesoura Howe (vão 10m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	125x50x17x2,00	43,07	124,53
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	125x50x17x2,00	38,52	
$\Sigma$ Diagonal	8,44	75x40x15x2,00	22,74	
$\Sigma$ Montante	7,50	75x40x15x2,00	20,20	
<b>Tesoura Howe (vão 10m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	125x50x17x2,25	48,06	146,47
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	125x50x17x2,25	42,99	
$\Sigma$ Diagonal	8,44	75x40x15x2,65	29,34	
$\Sigma$ Montante	7,50	75x40x15x2,65	26,07	
<b>Tesoura Howe (vão 10m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	125x50x17x2,65	56,03	168,05
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	125x50x17x2,65	50,11	
$\Sigma$ Diagonal	8,44	75x40x15x3,00	32,78	
$\Sigma$ Montante	7,50	75x40x15x3,00	29,13	

**Tabela 5.9** - Descrição tesoura Howe para o vão livre 12,00m

<b>Tesoura Howe (vão 12m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliza (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,00	150x60x20x2,00	62,40	178,42
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	150x60x20x2,00	55,81	
$\Sigma$ Diagonal	10,13	100x40x17x2,00	31,88	
$\Sigma$ Montante	9,00	100x40x17x2,00	28,33	
<b>Tesoura Howe (vão 12m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliza (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,00	150x60x20x2,25	69,75	210,18
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	150x60x20x2,25	62,39	
$\Sigma$ Diagonal	10,13	100x40x17x2,65	41,32	
$\Sigma$ Montante	9,00	100x40x17x2,65	36,71	
<b>Tesoura Howe (vão 12m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliza (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,00	150x60x20x2,35	101,37	288,35
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	150x60x20x2,35	90,67	
$\Sigma$ Diagonal	10,13	100x50x17x3,00	51,00	
$\Sigma$ Montante	9,00	100x50x17x3,00	45,31	

**Tabela 5.10** - Descrição tesoura Pratt para o vão livre 6,00m

<b>Tesoura Pratt (vão 6m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,12	58,32
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	6,43	50x25x10x2,00	10,78	
$\Sigma$ Montante	4,50	50x25x10x2,00	7,54	
<b>Tesoura Pratt (vão 6m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,12	58,32
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	6,43	50x25x10x2,00	10,78	
$\Sigma$ Montante	4,50	50x25x10x2,00	7,54	
<b>Tesoura Pratt (vão 6m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,12	58,32
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	6,43	50x25x10x2,00	10,78	
$\Sigma$ Montante	4,50	50x25x10x2,00	7,54	

**Tabela 5.11** - Descrição tesoura Pratt para o vão livre 6,00m

<b>Tesoura Pratt (vão 8m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	100x40x17x2,00	28,15	77,76
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	100x40x17x2,00	25,18	
$\Sigma$ Diagonal	8,58	50x25x10x2,00	14,37	
$\Sigma$ Montante	6,00	50x25x10x2,00	10,05	
<b>Tesoura Pratt (vão 8m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	100x40x17x2,00	28,15	77,76
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	100x40x17x2,00	25,18	
$\Sigma$ Diagonal	8,58	50x25x10x2,00	14,37	
$\Sigma$ Montante	6,00	50x25x10x2,00	10,05	
<b>Tesoura Pratt (vão 8m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	100x40x17x2,00	28,15	77,76
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	100x40x17x2,00	25,18	
$\Sigma$ Diagonal	8,58	50x25x10x2,00	14,37	
$\Sigma$ Montante	6,00	50x25x10x2,00	10,05	

**Tabela 5.12** - Descrição da tesoura Pratt para vão livre 10,00m

<b>Tesoura Pratt (vão 10m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	100x40x17x2,00	35,19	97,20
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	100x40x17x2,00	31,48	
$\Sigma$ Diagonal	10,72	50x25x10x2,00	17,97	
$\Sigma$ Montante	7,50	50x25x10x2,00	12,57	
<b>Tesoura Pratt (vão 10m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	100x40x17x2,00	35,19	97,20
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	100x40x17x2,00	31,48	
$\Sigma$ Diagonal	10,72	50x25x10x2,00	17,97	
Montante	7,50	50x25x10x2,00	12,57	
<b>Tesoura Pratt (vão 10m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	100x40x17x2,25	39,22	177,25
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	100x40x17x2,25	35,08	
$\Sigma$ Diagonal	10,72	50x25x10x3,00	25,27	
$\Sigma$ Montante	7,50	50x25x10x3,00	17,68	

**Tabela 5.13** - Descrição da tesoura Pratt para vão livre 12,00m

<b>Tesoura Pratt (vão 12m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,42	100x40x17x2,00	42,23	120,58
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	100x40x17x2,00	37,77	
$\Sigma$ Diagonal	12,87	50x25x20x2,25	23,88	
$\Sigma$ Montante	9,00	50x25x20x2,25	16,70	
<b>Tesoura Pratt (vão 12m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,42	125x50x17x2,00	51,68	156,81
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	125x50x17x2,00	46,23	
$\Sigma$ Diagonal	12,87	75x40x15x2,00	34,66	
$\Sigma$ Montante	9,00	75x40x15x2,00	24,24	
<b>Tesoura Pratt (vão 12m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,42	125x50x17x2,25	57,67	168,16
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	125x50x17x2,25	51,58	
$\Sigma$ Diagonal	12,87	75x40x15x2,00	34,66	
$\Sigma$ Montante	9,00	75x40x15x2,00	24,24	

**Tabela 5.14** - Descrição da tesoura Fink para vão livre 6,00m

<b>Tesoura Fink (vão 6m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,12	58,46
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	11,00	50x25x10x2,00	18,46	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 6m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,12	58,46
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	11,00	50x25x10x2,00	18,46	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 6m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	6,71	100x40x17x2,00	21,12	58,46
$\Sigma$ Banzo inferior	6,00	100x40x17x2,00	18,89	
$\Sigma$ Diagonal	11,00	50x25x10x2,00	18,46	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	

**Tabela 5.15** - Descrição da tesoura Fink para vão livre 8,00m

<b>Tesoura Fink (vão 8m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	100x40x17x2,00	28,15	77,94
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	100x40x17x2,00	25,18	
$\Sigma$ Diagonal	14,68	50x25x10x2,00	24,61	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 8m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	100x40x17x2,00	28,15	77,94
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	100x40x17x2,00	25,18	
$\Sigma$ Diagonal	14,68	50x25x10x2,00	24,61	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 8m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	8,94	100x40x17x2,00	28,15	77,94
$\Sigma$ Banzo inferior	7,99	100x40x17x2,00	25,18	
$\Sigma$ Diagonal	14,68	50x25x10x2,00	24,61	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	

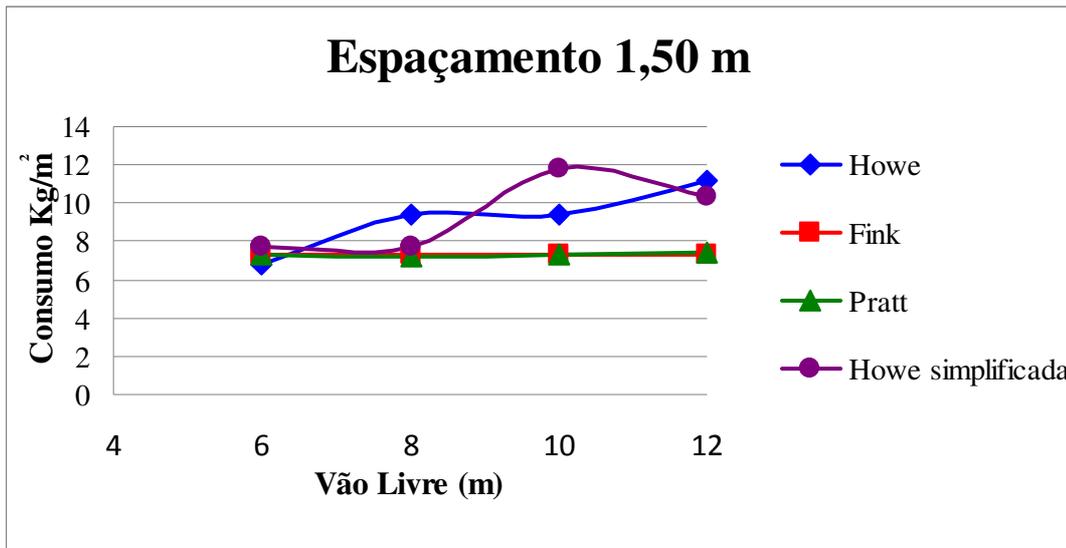
**Tabela 5.16** - Descrição da tesoura Fink para vão livre 10,00m

<b>Tesoura Fink (vão 10m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	100x40x17x2,00	35,19	97,43
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	100x40x17x2,00	31,48	
$\Sigma$ Diagonal	18,36	50x25x10x2,00	30,76	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 10m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	100x40x17x2,00	35,19	97,43
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	100x40x17x2,00	31,48	
$\Sigma$ Diagonal	18,36	50x25x10x2,00	30,76	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 10m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	11,18	100x40x17x2,00	35,19	97,43
$\Sigma$ Banzo inferior	10,00	100x40x17x2,00	31,48	
$\Sigma$ Diagonal	18,36	50x25x10x2,00	30,76	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	

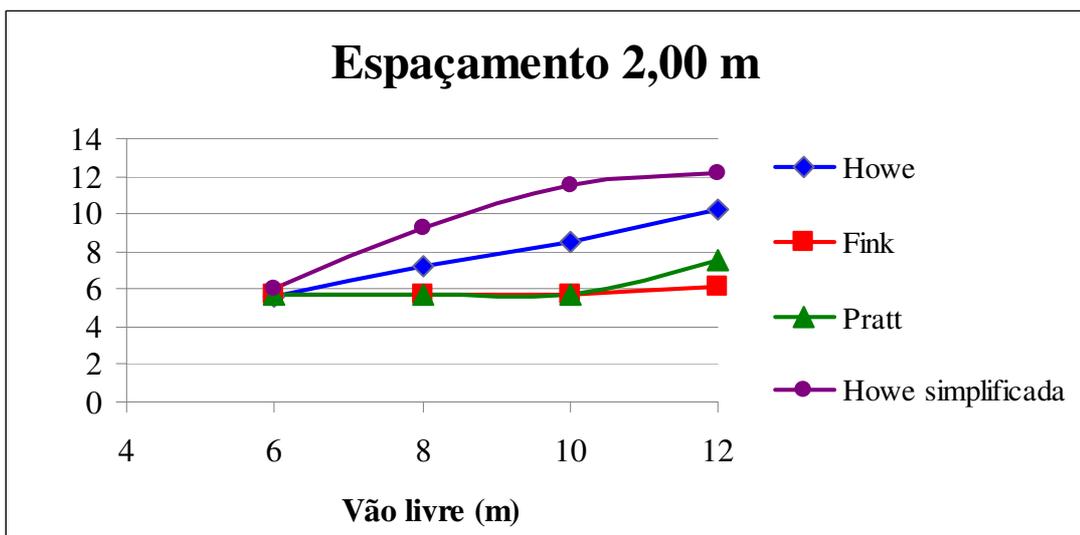
**Tabela 5.17** - Descrição da tesoura Fink para vão livre 12,00m

<b>Tesoura Fink (vão 12m - espaçamento 1,50m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,42	100x40x17x2,00	42,23	116,91
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	100x40x17x2,00	37,77	
$\Sigma$ Diagonal	22,03	50x25x10x2,00	36,91	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 12m - espaçamento 2,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,42	100x40x17x2,00	42,23	126,92
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	100x40x17x2,00	37,77	
$\Sigma$ Diagonal	22,03	50x25x10x2,00	36,91	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	
<b>Tesoura Fink (vão 12m - espaçamento 3,00m)</b>				
<b>Tipo de barra</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Perfil U Enrijecido</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso Total Treliça (kg)</b>
$\Sigma$ Banzo superior	13,42	125x50x17x2,00	42,23	157,25
$\Sigma$ Banzo inferior	12,00	125x50x17x2,00	37,77	
$\Sigma$ Diagonal	22,03	75x40x15x2,00	36,91	
$\Sigma$ Montante	—	—	—	

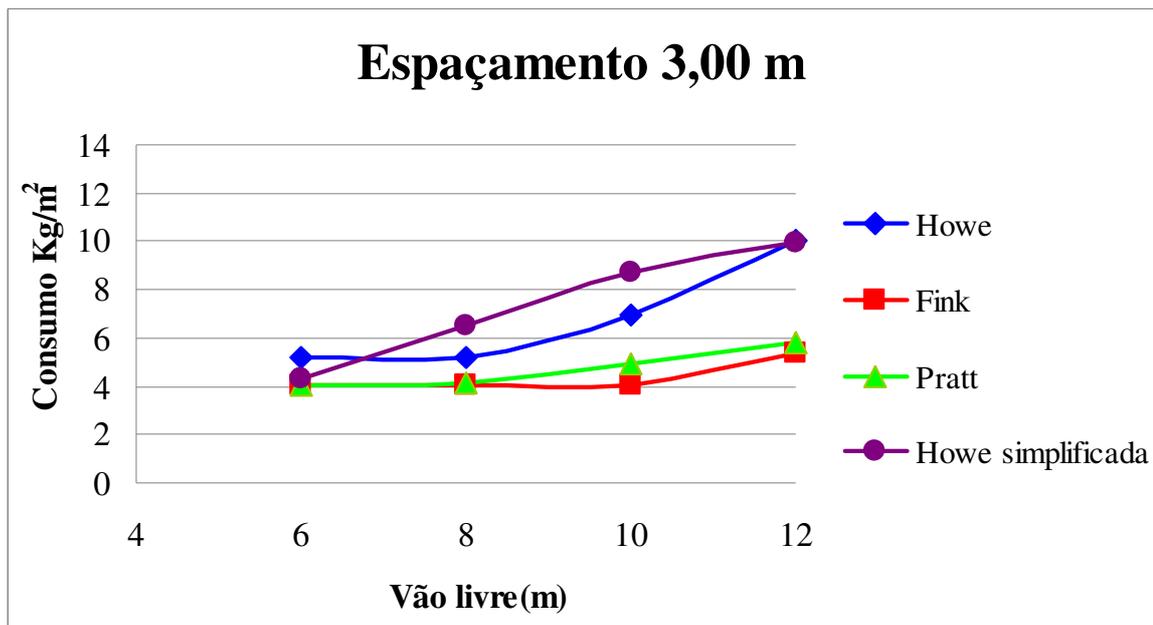
As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 ilustram em forma de gráficos o desempenho de cada tipologia de estudo em função dos três espaçamentos adotados, pode-se perceber que para o espaçamento de 1,50 m as tesouras que demonstraram o melhor rendimento quanto ao consumo de aço são as tesouras Fink e Pratt. No entanto, nos espaçamentos de 2,00m e 3,00m apenas a tesoura Fink demonstrou um melhor desempenho.



**Figura 5.2** -Taxa de consumo de aço global para as tipologias TH, TF, TP e THS em função do espaçamento de 1,50 m



**Figura 5.3** - Taxa de consumo de aço global para as tipologias TH, TF, TP e THS em função do espaçamento de 2,00 m



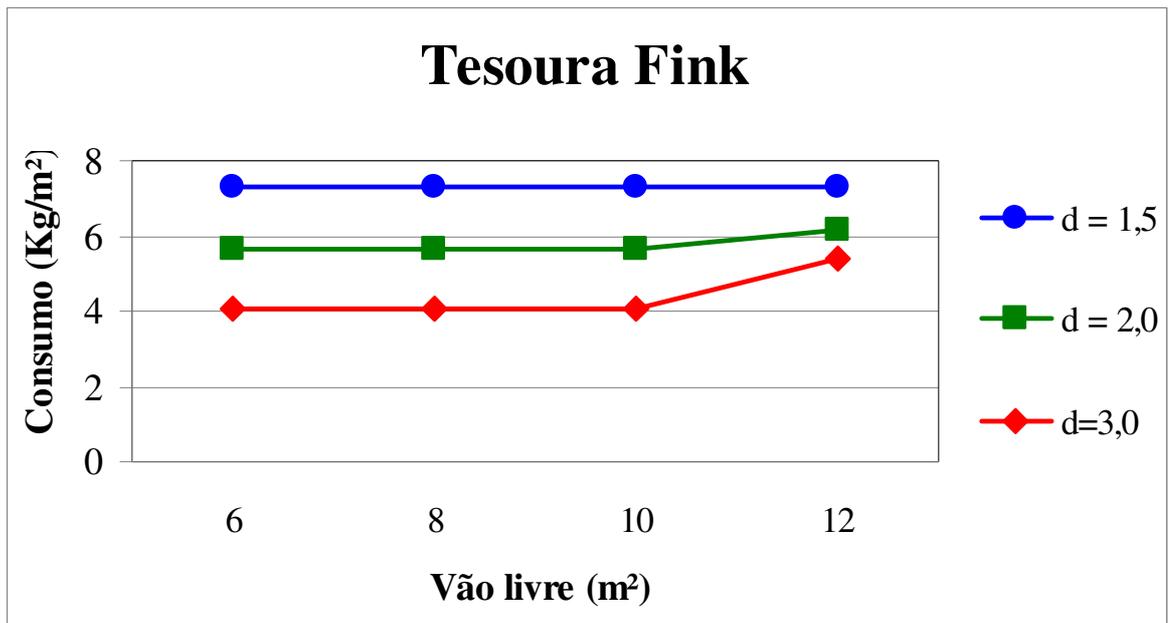
**Figura 5.4** - Taxa de consumo de aço global para as tipologias TH, TF, TP e THS em função do espaçamento de 3,00 m

Considerando a taxa de consumo de aço por metro quadrado ( $m^2$ ) verifica-se que a tipologia estrutural denominada tesoura Fink, além de apresentar um melhor desempenho em relação às demais, registra-se um menor consumo de aço para o espaçamento entre as referidas tesouras igual a 3,0m.

As tipologias Howe e principalmente, a Howe Simplificada apresentam um desempenho bem inferior às tipologias Pratt e Fink e, portanto, não são recomendadas para o uso como tesouras de aço para telhados coloniais.

As tesouras Pratt e Fink apresentarem a taxa de consumo de aço praticamente idêntica para o espaçamento igual a 1,5m, entretanto, para os espaçamentos iguais a 2,0m e 3,0m respectivamente, percebe-se que ocorre um aumento da taxa de consumo de aço para a tesoura Pratt em relação à Fink, a partir do vão livre igual a 10,00 m e 8,00 m, respectivamente. Por esta razão, levando em consideração os resultados obtidos neste trabalho, a tipologia Fink é escolhida como a melhor em aço para confecção de tesouras para telhados coloniais.

Apresenta-se na Figura 5.5 as curvas representando a taxa de consumo de aço para a tesoura Fink, admitindo os espaçamentos 1,5m, 2,0m e 3,0m.



**Figura 5.5-** Taxa de consumo de aço tesoura Fink, admitindo os espaçamento de 1,50m,2,00m e 3,00 m

A Figura 5.4 mostra as curvas que representam a taxa de consumo de aço para a tipologia Fink, em função dos parâmetros adotados: vão livre e o espaçamento entre as tesouras. Através de análise destas curvas, obtém-se a taxa de consumo de aço ( $\text{kg/m}^2$ ) em função do vão e do espaçamento entre as tesouras, conforme ilustra a Tabela 5.18.

Tabela 5.18 - Consumo de aço para a tesoura Fink

Vão (m)	Espaçamento (m)		
	1,5	2,0	3,0
06	7,29	5,67	4,05
08	7,29	5,67	4,05
10	7,29	5,67	4,05
12	7,29	5,67	5,40

Verifica-se a partir de análises dos valores da taxa de consumo apresentada na Tabela 5.18 que o melhor desempenho ocorre para o espaçamento igual a 3,0m, porém,

para o vão livre igual a 12m ocorre uma aproximação entre as taxas para o espaçamento de 2,0m e 3,0m, respectivamente.

## **6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

Apresentam-se neste capítulo, as conclusões sobre o estudo realizado, abrangendo os aspectos relativos à variação da taxa de consumo de aço para as quatro tipologias estruturais adotadas, admitindo como parâmetros principais o espaçamento entre as tesouras e o vão livre. Por fim, são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

### **6.1 Conclusões**

De um modo geral, a análise realizada no presente trabalho permite concluir que as tipologias de treliças usualmente utilizadas na cobertura de edificações coloniais na região de Ouro Preto, MG, não são viáveis, seja do ponto de vista estrutural, seja no tocante aos custos decorrentes da taxa de consumo de aço.

Esta conclusão acaba se constituindo num relevante subsídio para engenheiros e arquitetos envolvidos com o projeto e a construção de estruturas para cobertura, nas condições abrangidas pelo estudo realizado. Constata-se que nem sempre as soluções adotadas, mesmo que marcadas pelo número significativo de repetições baseadas em exemplos do passado, levam a resultados técnicos e econômicos satisfatórios no presente. Ao mesmo tempo, tal constatação valoriza sobremaneira a conveniência de serem desenvolvidos projetos que considerem situações específicas, evitando-se a simples imitação de outros produtos arquitetônicos e estruturais.

A análise de diferentes estruturas de cobertura, com variação de parâmetros como vão livre e espaçamento entre tesouras, viabilizou a constatação de que as tipologias mais usuais levam a uma elevada taxa de consumo de aço, contrariando eventuais expectativas otimistas decorrentes de seu uso intensivo.

As análises indicam que as tesouras Howe e Howe Simplificada apresentam taxas de consumo de aço superiores às tesouras Pratt e Fink para todos os quatro vãos livres e

os três espaçamentos selecionados. Assim sendo, as tesouras Howe e Howe Simplificada, as mais utilizadas no Brasil e, por conseguinte, na região de Ouro Preto, em coberturas coloniais em madeira, se executadas em aço não serão economicamente viáveis, levando em conta os quatro modelos analisados. Para as tipologias Pratt e Fink, os resultados demonstram uma relação praticamente linear para a taxa de consumo de aço para todos os vãos livres.

No que se refere ao espaçamento entre estruturas, verifica-se que quanto maior este parâmetro (dentro dos limites abrangidos pelo presente estudo), a taxa de consumo de aço tende a ser menor.

Neste contexto, cabe destacar a conclusão de que é sempre importante buscar soluções no sentido de viabilizar o aumento do espaçamento entre tesouras, pois além do ganho com a taxa de consumo de aço, reduz-se também o número de tesouras a executar, com potencial redução do custo da mão-de-obra necessária para a instalação da cobertura propriamente dita.

No caso particular da tesoura Fink, pôde-se perceber, por intermédio do estudo realizado, que a mesma apresenta melhor desempenho em relação às demais, em função dos parâmetros considerados. Esta conclusão é baseada no contexto de que esta tipologia, mesmo com um número maior de barras internas, proporciona a possibilidade de redução do comprimento de flambagem das barras comprimidas. Deste modo, um perfil com menor peso por metro linear poderá ser adequadamente utilizado no dimensionamento das mencionadas barras, levando à redução do peso final do conjunto estrutural.

O fato de uma tipologia sobressair-se em relação às outras, quanto à taxa de consumo de aço, não permite afirmar que esta seja a mais econômica para solucionar toda e qualquer cobertura, do ponto de vista de projeto. Existem distintas variáveis num projeto que irão condicionar a escolha de uma tipologia: tipo de telha e inclinações dos planos do telhado; custo de fabricação; possibilidade de montagem da estrutura na obra, entre outras.

Como último registro, deve ser destacada a relevância do desenvolvimento de trabalhos como o aqui apresentados, cujas conclusões possam ser, de imediato, transferidas para os profissionais da área do projeto e da construção de estruturas, com o

estabelecimento de novos e eficientes paradigmas, além dos evidentes benefícios daí decorrentes.

## **6.2 Sugestões**

Para o desenvolvimento de futuros trabalhos acadêmicos, visando à avaliação do desempenho de soluções estruturais em aço para telhados coloniais, sugere-se as seguintes propostas:

- estudar as mesmas tipologias utilizando outros perfis em substituição ao perfil U enrijecido.
- avaliar o detalhamento das ligações em cada uma das tipologias analisadas neste trabalho, visando a determinação do custo de fabricação das tesouras.
- avaliar outras tipologias para o formato de telhado considerado neste trabalho.
- comparar os custos de material, fabricação e montagem das tipologias estudadas construídas em aço e madeira.
- avaliar a influência do peso das terças na taxa de consumo de aço das tipologias estruturais para telhados coloniais.
- avaliar tipologias que sejam adequadas a diversos formatos de telhados.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Cargas para cálculo de estruturas de edificações**: NBR 6120. Rio de Janeiro, 1980.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de estruturas de madeira**: NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**: NBR 14762. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**: NBR 8800. Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL, D. **Técnicas de Recuperação e Reforço Estrutural com Estruturas de Aço**. 85 p. Projeto Final Graduação. Faculdade de Engenharia Civil. Área de Concentração: Estruturas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

CHAVES, M.; R. **Avaliação do Desempenho de Soluções Estruturais para Galpões Industriais Leves**. 125f. Dissertação de Mestrado em Construção Metálica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

CHODRAUI, G. M. B. **Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão**. São Carlos. 2006. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

CARRASCO, E. V.; M.; et al. **Estruturas usuais de madeira – EES 044**. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

COMPUTERS AND STRUCTURES, Inc. **SAP 2000 advanced - Structural Analysis Program - Version 11**. Berkley: COMPUTERS AND STRUCTURES, Inc., 2005.

LOGSDON, N. B. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2002.

MALITE, M., Sáles, J. J., Gonçalves, R. M. (1998). Algumas considerações sobre a nova norma brasileira de estruturas de aço em perfis formados a frio. Artigo Técnico, **Revista Construção Metálica**, n. 33, p. 22-26, 1998.

MOLITERNO, A. **Caderno de Projeto de Telhados em Estruturas de Madeira**, 4 edição,. São Paulo (SP): Editora Edgard Blücher LTDA, 2010. 269p.

NOGUEIRA, G.; S. **Avaliação de soluções estruturais para galpões compostos por perfis de aço formados a frio.** 175f. Dissertação de Mestrado em Construção Metálica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

PARTEL, H. **Sistema industrializado para Projetos de estruturas Industrializadas de madeira para telhado.** 120f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Estruturas Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, 2000.

PFEIL, W., PFEIL, M. **Estruturas de Madeira.** 6 edição. Rio de Janeiro (RJ): LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2003. 224p.

REIS, M.; V.; M. **Uma proposta de padronização de telhados coloniais em estruturas metálicas.** 200f. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1996.

SANTOS, Paulo F. **Arquitetura Religiosa em Ouro Preto I.** Rio de Janeiro: Livraria Kosmos, 1951.

SILVA, E. L., PIGNATTA, V. S. **Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR 6355.** Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2008. 119p. Série Manual de Construção em Aço.

TEOBALDO, I. N.C. **Estudo do aço com objeto de reforço estrutural em edificações antigas.** 137f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

YU. W.W. **Cold Formed Steel designer.** New York: John Wiley & Sons. 2000.

## REFERÊNCIAS COMPLEMENTARES

- BORGES, M.; L. **Recuperação Estrutural de Edificações Históricas Utilizando Perfis Formados a Frio**. 110f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- CALIL Jr., C.; ROCCO LAHR, F. A.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. 1ª edição. São Paulo (SP): Editora Manole Ltda, 2003. 152p.
- CARVALHO, P. R. M. **Curso Básico de Perfis de Aço Formado a Frio**. et al. Porto Alegre: Editora Porto Alegre, 2006.
- FRANÇA, K. D.; L. **Estudo de reforços de elementos estruturais de madeira com estrutura metálica em edificações antigas**. 89f. Dissertação de Mestrado em Construção Metálica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.
- FREITAS, A.; M. S. **Apostila Perfis Leves**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Legislação**. Disponível em: <<http://www.iphan.gov.br>>. Acesso em: 03 ago. 2010.
- IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Manual de conservação preventiva para edificações**. Rio de Janeiro, 1999.
- IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Roteiro para apresentação de projeto básico de restauro do patrimônio edificado**. Rio de Janeiro, 2000.
- MEDEIROS. R. C. **Forças em peças de contraventamento de treliças de madeira**. 132p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Estruturas Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, 2010.
- PERSIKE, I.; V.; H. **Metodologia para manutenção do patrimônio edificado partindo do diagnóstico de causa prováveis e indicando sua terapia**. 120f. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.