

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Jacqueline Brogni Pereira

**ESTRUTURAS DE AÇO PARA TELHADOS: UMA VISÃO
COMPARATIVA ENTRE O TRADICIONAL E O INOVADOR**

Porto Alegre

julho 2015

JACQUELINE BROGNI PEREIRA

**ESTRUTURAS DE AÇO PARA TELHADOS: UMA VISÃO
COMPARATIVA ENTRE O TRADICIONAL E O INOVADOR**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Inácio Benvegnu Morsch

Porto Alegre
julho 2015

JACQUELINE BROGNI PEREIRA

**ESTRUTURAS DE AÇO PARA TELHADOS: UMA VISÃO
COMPARATIVA ENTRE O TRADICIONAL E O INOVADOR**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e Coordenador da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG 1040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2015

Prof. Inácio Benvegnu Morsch
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt e Prof. Jean Marie Désir
Coordenadores

BANCA EXAMINADORA

Prof. Inácio Benvegnu Morsch (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Cristiane Sardin Padila de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Felipe Schaedler de Almeida(UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me apoiou e incentivou a edificar o conhecimento durante todo o trajeto do meu Curso de Graduação, estando sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha vida, pelo dom da sabedoria e da inteligência, proporcionando assim alcançar esse almejado objetivo.

Agradeço a minha mãe Elizabeth Brogni, ao meu pai Jovelino Brogni, pelos primeiros passos na infância, que hoje me fizeram chegar até aqui, a meu irmão João Batista Brogni pelo apoio.

Agradeço ao meu marido Helton Silveira Pereira, meu alicerce nessa construção, pela dedicação, companheirismo, compreensão e paciência nessa longa jornada, aos meus filhos, Helton Jr e Priscilla, pelo amor e o carinho em cada amanhecer.

Agradeço ao prof. Inácio Benvegno Morsch, orientador, pelo seu conhecimento, pelas suas idéias, disponibilidade e paciência, indispensáveis para a realização deste trabalho.

Agradeço ao prof. Ruy Alberto Cremonini, pelo auxílio desde o início da caminhada nesta Instituição, a orientação no estágio supervisionado, até a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do corpo docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por todo conhecimento e aprendizado adquirido durante o curso.

Agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram durante esta trajetória.

Na engenharia da vida, a edificação do sonho,
é o traço da concretização do amanhã.

RESUMO

A utilização da estrutura de aço como tecnologia construtiva expandiu-se no mercado da construção civil. A aplicação desta tecnologia industrializada gerou excelência na qualidade, tanto no aspecto construtivo como ecológico, colaborando para a preservação das florestas nativas, tornando-se assim, uma opção competitiva na construção de estruturas para telhados. Por outro lado, o uso da madeira em estruturas de telhados é tradição na construção, porém a escassez dessa matéria-prima torna seu custo elevado, com isso a indústria da madeira busca a utilização de novas espécies, como as madeiras de reflorestamento. Neste contexto, este trabalho visa estudar a viabilidade do uso do aço em estruturas de telhados, comparando com o tradicional uso da madeira. Adota-se como exemplo para comparação um estudo de caso. Conclui-se que o uso do aço em estruturas de telhado que possam ser fabricadas em série é vantajoso em relação à solução empregando madeira.

Palavras-chave: estruturas de aço para telhados; estruturas de madeira para telhados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – representação esquemática do delineamento da pesquisa.....	22
Figura 2 – mercado coberto Halles século XIV.....	25
Figura 3 – casas subterrâneas região sul do Brasil.....	25
Figura 4 – estrutura de <i>Eucalyptus</i>	35
Figura 5 – Estrutura de aço.....	43
Figura 6 – elementos de estrutura de telhado.....	46
Figura 7 – modelos de estrutura de tesouras.....	48
Figura 8 – terças em tesoura simples.....	49
Figura 9 – terças em triangulação com pendurais secundários.....	50
Figura 10 – ação dos ventos sobre telhados.....	52
Figura 11 – diagrama de forças normais numa tesoura de um telhado.....	54
Figura 12 – madeiramento da estrutura de madeira.....	56
Figura 13 – madeiramento da estrutura de madeira para telhas de fibrocimento.....	57
Figura 14 – modelo tesoura projeto de pesquisa.....	58
Figura 15 – treliças com banzos paralelos.....	60
Figura 16 – treliças com banzo superior inclinado.....	61
Figura 17 – seções de perfis C.....	61
Figura 18 – montagem da cobertura.....	63
Figura 19 – projeto da estrutura de madeira.....	65
Figura 20 – vista frontal.....	66
Figura 21 – detalhe C da tesoura de madeira.....	67
Figura 22 – detalhe da fixação das telhas.....	68
Figura 23 – contraventamento da estrutura de madeira.....	69
Figura 24 – instalação de telhas onduladas.....	73
Figura 25 – inclinação das telhas.....	73
Figura 26 – montagem dos parafusos de fixação.....	74
Figura 27 – fixação das cumeeiras.....	75
Figura 28 – representação esquemática da estrutura de madeira.....	78
Figura 29 – nós fixados no oitão de alvenaria.....	79
Figura 30 – tesoura de madeira 1.....	79
Figura 31 – tesoura de madeira 2.....	79
Figura 32 – tesoura de madeira 3.....	80
Figura 33 – tesoura de madeira 4.....	80

	24
Figura 34 – tesoura de madeira 5.....	80
Figura 35 – tesoura de madeira 6.....	80
Figura 36 – tesoura de madeira 7.....	81
Figura 37 – tesoura de madeira 8.....	81
Figura 38 – tesoura de madeira 9.....	81
Figura 39 – tesoura de madeira 10.....	81
Figura 40 – tesoura de madeira 11.....	82
Figura 41 – tesoura de madeira 12.....	82
Figura 42 – tesoura de madeira 13.....	82
Figura 43 – nós fixados no oitão de alvenaria.....	82
Figura 44 – estrutura de aço.....	89
Figura 45 – vista frontal.....	90
Figura 46 – detalhe B com solda.....	91
Figura 47 – detalhe de fixação da telha.....	92
Figura 48 – contraventamento.....	93
Figura 49 – montagem dos ganchos de fixação.....	96
Figura 50 – perfuração para colocação dos ganchos com rosca.....	97
Figura 51 – perfil U simples chapa dobrada.....	98
Figura 52 – perfil U enrijecido.....	99
Figura 53 – representação esquemática da estrutura de aço.....	101
Figura 54 – nós fixados no oitão de alvenaria.....	102
Figura 55 – tesoura de aço 1.....	102
Figura 56 – tesoura de aço 2.....	102
Figura 57 – tesoura de aço 3.....	102
Figura 58 – tesoura de aço 4.....	103
Figura 59 – tesoura de aço 5.....	103
Figura 60 – tesoura de aço 6.....	103
Figura 61 – tesoura de aço 7.....	103
Figura 62 – nós fixados no oitão de alvenaria.....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – ficha tecnológica de madeira.....	33
Quadro 2 – ficha tecnológica de madeira.....	36
Quadro 3 – ficha tecnológica de madeira.....	37
Quadro 4 – áreas plantadas com <i>Eucalyptus</i> no Brasil.....	41
Quadro 5 – comparativo entre propriedades da madeira e do aço.....	44
Quadro 6 – especificações telhas onduladas.....	72
Quadro 7 – número de apoios por telhas.....	73
Quadro 8 – inclinação das cumeeiras.....	74
Quadro 9 – custo da estrutura de madeira.....	76
Quadro 10 – identificação dos coeficientes e variáveis.....	83
Quadro 11 – valores dos coeficientes.....	84
Quadro 12 – nós engastados.....	85
Quadro 13 – propriedades geométricas dos perfis de madeira.....	85
Quadro 14 – características mecânicas do <i>Eucalyptus</i>	85
Quadro 15 – resumo dos quantitativos.....	86
Quadro 16 – planilha orçamentária da estrutura de aço.....	99
Quadro 17 – identificação dos coeficientes e variáveis.....	105
Quadro 18 – valores dos coeficientes.....	106
Quadro 19 – nós engastados.....	107
Quadro 20 – características mecânicas do aço.....	107
Quadro 21 – características físicas do aço.....	107
Quadro 22 – resumo dos quantitativos.....	108
Quadro 23 – dados comparativos da estrutura.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – propriedades mecânicas dos aços estruturais padrão ABNT.....	28
Tabela 2 – custo de carregamento e transporte de <i>Eucalyptus</i> (m ³ /km).....	59
Tabela 3 – dimensões e propriedades perfil U enrijecido.....	62
Tabela 4 – custo de carregamento e transporte de aço (kg).....	64
Tabela 5 – legenda de cores.....	66
Tabela 6 – valores médios de propriedades da madeira <i>Eucalyptus citriodora</i>	75
Tabela 7 – cálculo das reações.....	87
Tabela 8 – legenda de cores.....	90
Tabela 9 – dimensões e propriedades geométricas perfil U simples.....	98
Tabela 10 – dimensões e propriedades geométricas perfil U enrijecido.....	99
Tabela 11 – cálculo das reações.....	109

LISTA DE SIGLAS

CUB – Custo Unitário Básico

PIB – Produto Interno Bruto

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área (m²)

p – pressão (Pa)

x – coordenada cartesiana (m)

y – coordenada cartesiana (m)

y* – distância adimensional da parede

κ – constante de Karman (aproximadamente 0,4).

h - altura da alma

b - largura das abas

d - altura do elemento enrijecido

e - espessura da chapa

e_y - distância entre o eixo y-y e a fibra paralela mais externa

S - área da seção

P - peso distribuído (kN/m)

J_x - momento de inércia, eixo x - x

J_y - momento de inércia, eixo y - y

W_x - módulo de resistência, eixo x - x

W_y - módulo de resistência, eixo y - y

i_x - raio de giro eixo x

i_y - raio de giro eixo y

D_{ap} (12%) – massa específica aparente a 12 % de umidade (kg/m³)

f_{c0} – resistência à compressão paralela às fibras

f_v – resistência ao cisalhamento

f_y – tensão de escoamento

f_u – tensão de ruptura

E_{c0} – módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

n – número de corpos de prova ensaiados

$\rho_{bas,m}$ – densidade básica da madeira, valor médio

$\rho_{ap,m}$ – densidade aparente, valor médio

mm – milímetro

cm - centímetro

m – metro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 DIRETRIZES DE PESQUISA.....	20
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	20
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	20
2.2.1 Objetivo principal.....	20
2.2.2 Objetivos secundários.....	20
2.3 HIPÓTESE.....	21
2.4 PREMISSA.....	21
2.5 DELIMITAÇÕES.....	21
2.6 LIMITAÇÕES.....	21
2.7 DELINEAMENTO.....	22
3 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO EMPREGO DA MADEIRA E DO AÇO NA ARTE DE CONSTRUIR.....	24
3.1 EMPREGO ESPECÍFICO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADOS.....	25
3.2 EMPREGO ESPECÍFICO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADOS.....	27
3.2.1 Cronologia do emprego do aço em estruturas de telhados.....	29
3.2.2 Aço: inovação tecnológica na construção.....	29
4 PROCESSOS DA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE ESTRUTURAS PARA TELHADOS.....	31
4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	31
4.1.1 Madeira.....	31
4.1.2 Aço	31
4.2 MATERIAIS	32
4.2.1 Madeira.....	33
4.2.2 Aço.....	34
4.3 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA E DO AÇO	34
4.3.1 Propriedades físico-mecânicas da madeira Eucalyptus citriodora.....	34
4.3.2 Propriedades físico-mecânicas do aço.....	37
4.4 ESTRUTURAS TÉCNICAS USUAIS.....	38

4.4.1 Estruturas de madeira.....	38
4.4.2 Estruturas de aço	39
5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA E DE AÇO.....	40
5.1 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA.....	40
5.1.1 Vantagens.....	40
5.1.2 Desvantagens.....	41
5.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS DE AÇO.....	42
5.2.1 Vantagens.....	42
5.2.2 Desvantagens.....	43
6 ESTRUTURA DO TELHADO.....	45
6.1 ELEMENTOS DA ESTRUTURA DO TELHADO.....	45
6.1.1 Estrutura principal – tesoura.....	47
6.1.2 Estrutura secundária – terças, caibros e ripas.....	48
6.1.2.1 Terças.....	49
6.1.2.2 Caibros.....	50
6.1.2.3 Ripas.....	50
6.1.3 Contraventamento.....	51
6.2 CARREGAMENTO – CARGAS ATUANTES.....	51
6.2.1 Peso próprio.....	51
6.2.2 Peso da cobertura.....	52
6.2.3 Ação do vento.....	52
7 ESTRUTURA DE MADEIRA.....	55
7.1 TESOURA DE MADEIRA.....	55
7.2 TERÇAS DE MADEIRA.....	55
7.3 CAIBROS DE MADEIRA.....	55
7.4 RIPAS DE MADEIRA.....	56
7.5 MONTAGEM DA ESTRUTURA DE MADEIRA.....	57
7.6 CUSTO DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE.....	58
8 ESTRUTURA DE AÇO.....	60
8.1 TESOURA DE AÇO.....	60
8.2 TERÇAS DE AÇO.....	61
8.3 MONTAGEM DA ESTRUTURA DE AÇO.....	63
8.4 CUSTO DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE.....	64
9 PROJETO DA ESTRUTURA DE MADEIRA.....	65

	16
9.1 VISTA FRONTAL E DETALHES DA ESTRUTURA DE MADEIRA.....	66
9.2 CONTRAVENTAMENTO.....	69
9.3 PROJETO DESCRITIVO DA ESTRUTURA DE MADEIRA.....	70
9.3.1 Objetivo e considerações preliminares.....	70
9.3.2 Considerações preliminares.....	70
9.3.3 Serviços preliminares.....	71
9.3.3.1 Introdução.....	71
9.3.3.2 Marcação da obra.....	71
9.3.4 Cobertura.....	71
9.3.5 Estrutura de madeira.....	75
9.4 DADOS DO PROJETO.....	75
9.5 MEMORIAL DE CÁLCULOS DAS REAÇÕES E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE MADEIRA.....	77
9.5.1 Nós.....	84
9.5.2 Barras: Características Mecânicas.....	85
9.5.3 Materiais empregados nas barras.....	85
9.5.4 Seções transversais das barras.....	86
9.5.5 Barras: resumo dos Quantitativos.....	86
9.5.6 Cargas (Barras).....	86
9.5.7 Reações.....	86
10 PROJETO DA ESTRUTURA DE AÇO.....	89
10.1 VISTA FRONTAL E DETALHES DA ESTRUTURA DE AÇO.....	90
10.2 CONTRAVENTAMENTO.....	93
10.3 PROJETO DESCRITIVO DA ESTRUTURA DE AÇO.....	94
10.3.1 Objetivo e considerações preliminares.....	94
10.3.2 Considerações preliminares.....	94
10.3.3 Serviços preliminares.....	95
10.3.3.1 Introdução.....	95
10.3.3.2 Marcação da obra.....	95
10.3.4 Cobertura.....	95
10.3.5 Estrutura de aço.....	97
10.4 DADOS DO PROJETO.....	98
10.5 MEMORIAL DE CÁLCULOS DAS REAÇÕES E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE AÇO.....	100

10.5.1 Nós.....	106
10.5.2 Barras: Características Mecânicas.....	107
10.5.3 Barras: Materiais usados.....	107
10.5.4 Barras: Descrição.....	107
10.5.5 Barras: resumo dos Quantitativos (aço).....	108
10.5.6 Cargas (Barras).....	108
10.5.7 Reações.....	108
11 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	110
12 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
REFERÊNCIAS.....	113
APÊNDICE A.....	116
APÊNDICE B.....	117
APÊNDICE C.....	118
APÊNDICE D.....	119
APÊNDICE E.....	120
APÊNDICE F.....	121

1 INTRODUÇÃO

É notório que as transformações nas relações de mercado, o elevado índice de competitividade, a busca pela excelência visando êxito na economia e o impacto ambiental, entre outros aspectos, tem definido novos parâmetros e infundido referenciais inovadores de competência nas empresas participantes do processo de produção na indústria da construção civil. Nota-se um aumento da competição entre os fornecedores de materiais de construção. Entre o aço e a madeira, tem ocorrido uma grande concorrência de mercado. Há as empresas que adotam a solução tradicional da madeira, que provoca danos ambientais, muitas vezes de difícil recuperação, pela procura sem limites por matéria-prima de qualidade. Por outro lado, há as soluções inovadoras, tal como o uso do aço, as quais podem permitir maior economia e menor impacto ambiental.

O aço vem tomando um maior espaço na área da construção, por utilizar componentes industrializados, possibilitando uma redução dos custos e um uso mais racional de materiais, por proporcionar estruturas mais leves. Nota-se um uso cada vez mais comum de estruturas de aço em telhados, o que representa uma inovação principalmente considerando-se os casos de coberturas residenciais.

Segundo o CBCA, os perfis de aço formados a frio são cada vez mais viáveis para uso na construção civil, em vista da rapidez e economia exigidas pelo mercado. Esse elemento estrutural pode ser eficientemente utilizado em galpões de pequeno e médio porte, coberturas, mezaninos, em casas populares e edifícios de pequeno porte.

Vivenciando nos dias de hoje um afunilamento da biodiversidade e uma crescente escassez de recursos vegetais, o aço torna-se uma opção vantajosa, comparativamente com a madeira, na construção de estruturas de telhados. No entanto, pensando-se em Ecologia, é necessário uma análise completa considerando-se, por exemplo, a energia gasta na produção e transporte de ambos os materiais, para se estabelecer qual solução é efetivamente a melhor nesse aspecto.

Dentro desta realidade, a indústria do aço busca apresentar melhor organização, gestão e qualidade. Apresenta como resultado, uma maior produtividade associada a menores desperdícios, melhor emprego dos recursos e menor impacto ambiental. Somado a isso, o produto resultante tem maior resistência e durabilidade, bem como menores custos de operação ao longo da vida útil do mesmo. Cabe destacar que as empresas que empregam soluções, tendo como matéria prima o aço, apresentam uma melhor inter-relação de

tecnologia e profissionais bem treinados em detrimento da tradição e do empirismo existente no setor da construção civil.

Por outro lado, a indústria da madeira, que em outras épocas possuía matéria-prima em abundância e baixo custo, busca soluções para manter a sua tradição. A sua exploração demasiada ocasionou a escassez das matas nativas. A madeira de lei, ideal para estruturas de telhados, tem cada vez mais reduzida a sua oferta, tendo como consequência a utilização de espécies pouco conhecidas no mercado, de baixa resistência e durabilidade, que possivelmente levam a uma maior manutenção. Do ponto de vista econômico, devido à distância das florestas remanescentes e a redução da madeira de lei, o custo desta matéria-prima tornou-se muito elevado. Porém sabendo que a madeira possui vários aspectos positivos, há uma busca incessante por novas espécies para execução das estruturas.

A estrutura para telhados, seja de aço ou de madeira, é um sistema constituído de treliças e vigas, que do ponto de vista construtivo são mais comumente denominadas tesouras, terças e ripas. Na estrutura de aço, também chamada de engradamento metálico, seus elementos empregam perfis de aço galvanizado, aparafusados entre si, usando parafusos galvanizados, para dar sustentação às telhas da cobertura de uma edificação. Nas estruturas de madeira, empregando-se também elementos galvanizados, são usados parafusos, pregos, chapas pregadas e conectores estruturais (*gang-nail*) garantindo maior durabilidade.

Desta forma, analisando-se as atuais condições de escassez dos recursos vegetais, do ambiente macroeconômico do setor da construção civil e do processo de produção das estruturas de aço, o trabalho tem como objetivo apresentar a eficiência técnica, ecológica e econômica dessas estruturas, comparativamente às técnicas tradicionais.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

O desenvolvimento deste trabalho está baseado em pesquisa bibliográfica e de campo buscando responder a todas as questões que envolvam o trabalho e atingir os objetivos colimados a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: é viável técnica, ambiental e economicamente o emprego de aço em estruturas de telhados comparativamente ao uso da madeira?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos itens a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a comparação quanto à viabilidade técnica, ambiental e econômica do emprego das estruturas de aço e madeira para telhados, considerando-se geometrias dos elementos do telhado, consagradas ao meio técnico.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são: as descrições das estruturas para telhados, indicando vantagens e desvantagens do uso da madeira e do aço.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que há viabilidade técnica, ambiental e econômica na utilização do aço para execução das estruturas para telhados, em edificações residenciais unifamiliares, comparativamente ao uso da madeira.

2.4 PREMISSA

É premissa do trabalho o foco na competitividade entre estruturas de aço e madeira para telhados, que já faz parte da atual conjuntura do mercado da construção civil.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo dos processos construtivos e técnicas de montagem das estruturas de aço e madeira para telhados de edificações residenciais unifamiliares.

2.6 LIMITAÇÕES

O projeto base do trabalho será executado na cidade de Porto Alegre. A madeira analisada será o *Eucalyptus citriodora*, considerada madeira de reflorestamento. O aço considerado é do tipo estrutural, denominado aço ASTM A36.

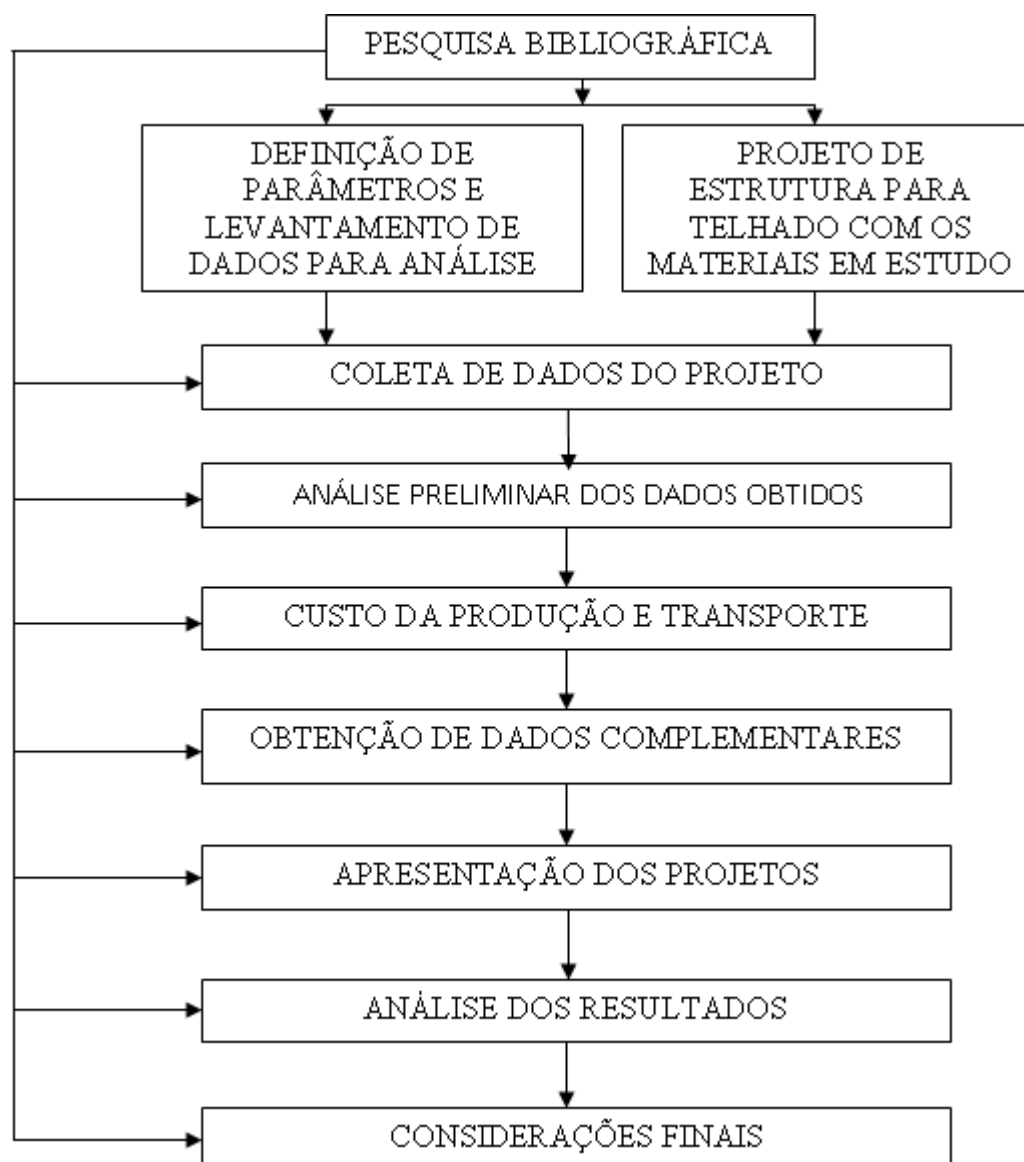
O trabalho limita-se à análise das características dos materiais utilizados nas estruturas de aço e madeira para telhados, verificando e comparando as respectivas particularidades entre si:

- a) produção e utilização desses materiais;
- b) os aspectos técnicos, que se referem à produtividade desses materiais, a tecnologia da produção e os detalhes construtivos e de mão de obra;
- c) os aspectos ambientais, que consideram as técnicas construtivas;
- d) os aspectos econômicos que se referem à duração do processo construtivo, ao custo da produção, transporte, montagem, manutenção e conservação das estruturas, e ainda, técnica aplicada da mão de obra.

2.7 DELINEAMENTO

O desenvolvimento desse trabalho está dividido nas etapas ilustradas na figura 1.

Figura 1: representação esquemática do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A primeira etapa refere-se à pesquisa bibliográfica e é realizada ao longo do trabalho, tendo como objetivo a obtenção de novos conceitos e informações pormenorizadas referentes ao aço e a madeira e suas utilizações para execução de estruturas para telhados.

Na etapa seguinte, dada a amplitude do tema são definidos quais parâmetros e dados devem ser buscados para uma melhor análise e compreensão do objetivo do projeto. Nessa etapa são levantados os processos de obtenção da matéria-prima dos materiais em estudo, sendo visto desde a extração do minério até a produção dos perfis de aço prontos, do lado da madeira, aborda-se desde a extração da mesma até as peças prontas para a sua utilização.

Sequencialmente à análise do processo de produção dos materiais é realizado o estudo das propriedades físicas e mecânicas destes. Sendo o conhecimento destas propriedades de fundamental importância para uma correta execução de projeto, dimensionamento, construção e operação das diversas estruturas para telhados.

Na etapa de planejamento do projeto são executadas as ações especificadas na análise das propriedades físicas e mecânicas, são coletados os dados do projeto, e na sequência é realizada a análise preliminar dos dados obtidos. Faz-se o orçamento dos custos da produção, transporte e a coleta de dados complementares, através de contato com empresas que atuam no ramo das estruturas de aço e madeira para telhados.

A obtenção de dados complementares trata das especificações do projeto em aço e madeira, descrevendo seus processos de produção, sua sustentabilidade, suas variadas tipologias, conceitos, vantagens e desvantagens, sua condição de produto industrializado e sua racionalidade na composição entre si e com os demais componentes da construção. Na abordagem dos projetos estruturais são tratados os esforços solicitantes e resistentes: axiais, de flexão, cisalhamento, torção e deformações. Focando sobre o dimensionamento, as ligações, o detalhamento, a fabricação, o transporte, a montagem e a manutenção.

Faz-se uma comparação dos resultados obtidos buscando identificar qual é a melhor solução para estruturas de telhados.

3 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO EMPREGO DA MADEIRA E DO AÇO NA ARTE DE CONSTRUIR

A arte de construir engloba o conjunto de preceitos para a elaboração e execução de uma obra de Engenharia. Para isso a escolha adequada dos materiais utilizados é essencial para o resultado final da construção.

O elevado índice de utilização da madeira, tem levado ao desmatamento das florestas nativas. Para enfrentar a escassez dessa matéria prima a solução é investir em reflorestamentos. Segundo Bertola (2010, p. 1):

O Brasil é um país de dimensão continental e de condições de clima e solo altamente favoráveis para a implantação de florestas. O desenvolvimento das espécies exóticas utilizadas, principalmente pinus e eucalipto, demonstram resultados espetaculares, com ciclos silviculturais entre 6 e 7 anos, [...].

Com os avanços já conseguidos pelo Setor Florestal Brasileiro com a cultura do eucalipto e, conciliando-se as questões silviculturais, ambientais e sócio-econômicas, têm-se certeza de que, a silvicultura brasileira poderá crescer em um ritmo rápido e seguro.

No entanto, os reflorestamentos também são alvos de eventuais críticas dos ecologistas quanto à formação dos desertos verdes associados ao emprego de espécies exóticas que podem apresentar um grande consumo de água.

Por outro lado, sendo o Brasil o maior produtor de minério de ferro, as indústrias de aço estão focadas em novas tecnologias nas construções, visando executar projetos estruturais com melhor qualidade e menor custo.

Os itens seguintes apresentam o emprego da madeira, material tradicional, e do aço, material inovador, na construção de estruturas de telhados.

3.1 EMPREGO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADOS

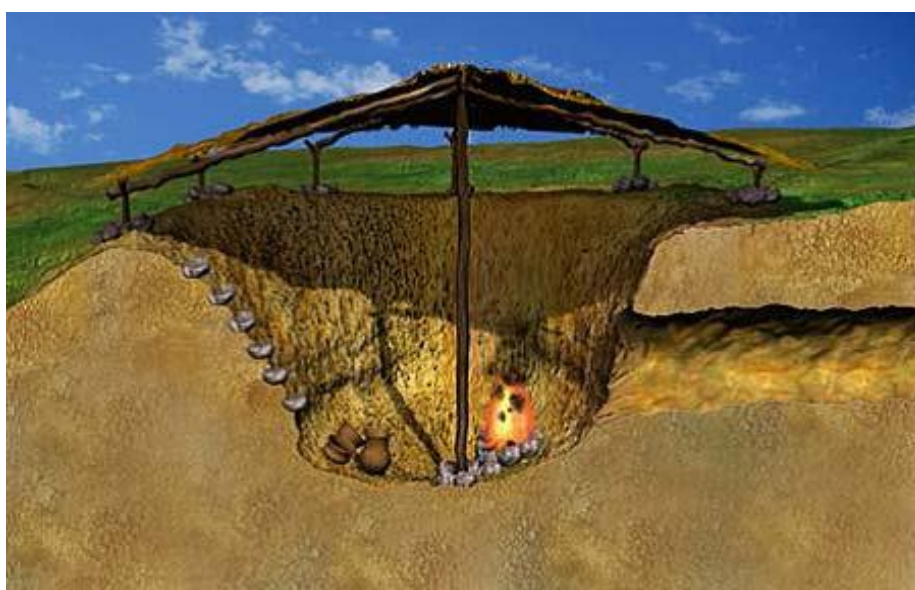
Desde o início da civilização, a madeira tem sido um material essencial à existência humana, destacando-se como um dos principais elementos nas construções. As figuras 2 e 3 ilustram exemplo de estrutura de madeira.

Figura 2: mercado coberto Halles século XIV



(fonte: Blogspot, 2011, p. 1)

Figura 3: casas subterrâneas região sul do Brasil



(fonte: História e Vestibular, 2014, p. 1)

A madeira é considerada tradicionalmente um material nobre e requintado na construção. Por estar disponível naturalmente, torna-se um material de fácil aquisição, segundo Altoé (2009, p. 34):

A história da Arquitetura relata que o uso milenar da madeira na construção civil determinou um acúmulo de conhecimento pela humanidade que acompanhou toda a evolução da moradia. Ao longo das descobertas, cada civilização, de acordo com a espécie de árvore e de materiais disponíveis, adequou-a as suas necessidades. Algumas marcaram o desenvolvimento da madeira na construção civil pelo modo como a adaptaram aos condicionantes locais.

As estruturas de telhados servem de suporte para a cobertura, sendo esta a proteção da edificação. A escolha do material que irá compor essas estruturas é parte fundamental para definição e execução de um projeto estrutural. Tradicionalmente “A madeira como material estrutural tem sua aplicação mais comum nas estruturas de telhados, [...]”. (LOGSDON, 2002, p. 1).

A madeira possui uma variada gama de utilizações, sendo um dos materiais de maior procura na construção civil. Segundo Calil Júnior e Brito (2010, p. 22):

A utilização de elementos estruturais de madeira no Brasil tem crescido ao longo dos últimos anos em virtude das pesquisas realizadas, no sentido de torná-la um material mais competitivo com relação a outros materiais empregados com função estrutural, tais como o aço e o concreto. A madeira é abundante, versátil e facilmente obtida. Sem ela, a civilização como conhecemos teria sido impossível [...].

As propriedades existentes na madeira a diferem de outros materiais, sendo utilizada em diferentes etapas, desde as fundações até os acabamentos, passando tanto pela estrutura principal de um telhado, ou ainda como material auxiliar. Para sua utilização em estruturas de telhados, ainda hoje, a madeira de lei é a de maior procura, porém a escassez e o custo desta matéria-prima, fez com que se substituíssem madeiras provenientes de florestas nativas por madeiras de reflorestamentos, como a madeira do gênero *Eucalyptus*. A utilização da madeira de reflorestamento evita a derrubada de matas nativas, desta forma “A madeira proveniente de espécies do gênero *Eucalyptus*, em virtude de sua disponibilidade [...] e propriedades físico-mecânicas, apresenta excelentes perspectivas como sucedânea de espécies nativas [...]”. (LELLES; REZENDE, 1986 apud PAES; VITAL, 2000, p. 98).

Segundo Buainain e Batalha (2007, p. 33), “A atividade de reflorestamento no Brasil foi impulsionada pela criação de um marco legal e institucional, a partir de 1960.”. O emprego da

madeira para estruturas de coberturas residenciais é um dos responsáveis pelo elevado consumo desse material como elemento estrutural no Brasil.

Com isso, “Desde o século XX, o contínuo crescimento da população e o crescente aumento na demanda de madeira foram responsáveis pelo surgimento do interesse e da necessidade do uso de espécies de eucalipto para a produção de madeira [...]”. (LIMA, 1996, p. 39).

3.2 EMPREGO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE TELHADOS

A crescente escassez da madeira, conhecida como principal matéria-prima para execução de estruturas de telhados, fez gerar uma competitividade entre os materiais existentes no mercado da construção. Segundo Ferraz (2008, p. 6), “Os aços diferenciam-se entre si pela forma, tamanho e uniformidade dos grãos que o compõem e, é claro, por sua composição química. Esta pode ser alterada em função do interesse de sua aplicação final [...]”.

Segundo a Companhia Siderúrgica Nacional (2011, p. 3), “As características de homogeneidade, tenacidade e resistência do aço o inserem como material de construção, buscando resolver a questão mais básica da Engenharia: executar o melhor projeto pelo menor custo.”. O aço possui várias aplicações na obra, seja na estrutura metálica, nas aberturas, na cobertura ou ainda nas próprias paredes. As construções metálicas são constituídas, na maioria das vezes por aço estrutural, tendo este como principal característica a sua resistência mecânica.

A tabela 1 apresenta as características mecânicas dos aços estruturais conforme a padronização da ABNT para perfis, chapas e tubos. Quanto ao aço carbono mais usado em estruturas, “Os aços-carbono usuais tem limite de escoamento 250 MPa (ASTM A36, MR250).” (PFEIL, 2009, p. 13).

Tabela 1: propriedades mecânicas dos aços estruturais padrão ABNT

 f_y = tensão de escoamento f_u = tensão de ruptura

Descrição	Classe/grau	f_y (MPa)	f_u (MPa)
1 - Aços para perfis laminados para uso estrutural NBR 7007	MR250	250	400-560
	AR350	350	450
	AR415	415	520
	AR350-COR	350	485
2 - Chapas grossas de aço-carbono para uso estrutural NBR 6648	CG-26	255	410
	CG-28	275	440
3 - Chapas finas de aço-carbono para uso estrutural (a frio/a quente) NBR 6649/ NBR 6650	CF-26	260/260	400/410
	CF-28	280/280	440/440
	CF-30	-/300	-/490
4 - Chapas grossas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica NBR 5000	G-30	300	415
	G-35	345	450
	G-42	415	520
	G-45	450	550
5 - Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica NBR 5004	F-32/Q-32	310	410
	F-35/Q-35	340	450
	Q-40	380	480
	Q-45	450	550
6 - Chapas grossas de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais NBR 5008	CGR 400	250	380
	CGR 500 e CGR 500A	370	490
7 - Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica, resistentes à corrosão atmosférica, para usos estruturais (a frio/a quente) NBR 5920/ NBR 5921	CFR 400	-/250	-/380
	CFR 500	310/370	450/490
8 - Perfil tubular de aço-carbono, formado a frio, com e sem costura, de seção circular, quadrada ou retangular, para usos estruturais NBR 8261	B - seção circular	290	400
	B - seção retangular	317	400
	C - seção circular	317	427
	C - seção retangular	345	427

(fonte: PFEIL, 2009, p. 309)

No Brasil, o dimensionamento de estruturas metálicas aplicadas em edificações deve ser feito com base nas normas NBR 8800 e NBR 14762. A NBR8800/2008, trata do projeto e execução de estruturas de aço empregando perfis laminados ou soldados, estabelecendo os requisitos básicos que devem ser seguidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto.

Já a NBR 14762/2010, trata do dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no

dimensionamento, à temperatura ambiente, de perfis formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga, conectados por parafusos ou soldas. “As chapas metálicas de aços dúcteis podem ser dobradas a frio, transformando-se em perfis de chapas dobradas. A dobra das chapas é feita em prensas especiais nas quais há gabaritos que limitam os raios internos de dobra a certos valores mínimos, especificados para impedir a fissuração do aço na dobra.”(PFEIL, 2009, p. 22).

3.2.1 Cronologia do emprego do aço em estruturas de telhados

As altas temperaturas necessárias para o processo de fabricação do aço encareciam esse processo, sendo o principal motivo do uso tardio do ferro no Brasil, e conseqüentemente do aço. Assim sendo, “No Brasil, somente a partir dos últimos anos do século XVIII, quando um certo liberalismo e uma maior clarividência se fizeram sentir nos assuntos da Colônia, permitiu-se o estabelecimento de fundições de ferro.” (COSTA, 1994, p.10).

O aço conquistou seu espaço no mercado das construções, e com isso segundo Queiroz (1993 p. 2-4):

Com o aparecimento das ferrovias surgiu à necessidade de se construírem numerosas pontes e estações ferroviárias, sendo estas as duas primeiras grandes aplicações do ferro nas construções. [...] O aço, entretanto, continua tendo vasto campo de aplicação nas construções, sendo a sua escolha como elemento estrutural baseada atualmente em considerações econômicas, funcionais e estéticas [...]

3.2.2 Aço: inovação tecnológica na construção

O aço normalmente sugere imagens de um material pesado, difícil de trabalhar e movimentar. No entanto, as chapas de aço galvanizado usado na construção de estruturas são o oposto disso. As chapas de aço galvanizado são leves, fácil de manusear, estável e de alta resistência. Além disso, trata-se de um material durável e facilmente reciclável, não ocasionando danos ambientais.

Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (2010, p. 1), “Largamente usado na construção civil, o aço pode estar presente como parte das obras ou como material principal. O sistema construtivo em aço permite inovações no projeto de arquitetura [...]”. Além disso,

este sistema propicia maior organização nos canteiros de obras, reduzindo o prazo de execução do projeto e redução de custos da mão de obra.

Para a produção do aço, desde a extração do minério até o seu processamento é consumida uma elevada quantidade de energia. Desta forma “A demanda, a produção e o preço dos materiais estão estreitamente relacionados com o consumo de energia [...]”. (PADILHA, 1997, p. 26). Dentre os aços estruturais existentes atualmente, o mais utilizado é o ASTM A36, que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica, usado principalmente em estruturas de telhados na construção.

4 PROCESSOS DA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE ESTRUTURAS PARA TELHADOS

Para a execução de estruturas de telhados, como para as demais estruturas existentes na construção, é importante saber a origem e a matéria-prima dos materiais, as características, propriedades e as estruturas técnicas usuais da madeira e do aço, conforme apresentado neste capítulo.

4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A obtenção da matéria-prima da madeira e do aço está discriminada a seguir.

4.1.1 Madeira

A madeira pode ser proveniente de florestas naturais ou induzidas conhecidas como madeiras de reflorestamentos. As florestas naturais possuem melhor qualidade da madeira, porém seu custo é elevado, devido à escassez das espécies nativas e à distância que essas florestas se encontram dos centros mais povoados.

4.1.2 Aço

O aço é definido como sendo um produto siderúrgico. O processo de obtenção do aço é definido a partir do minério de ferro. Segundo Ferraz (2008, p. 1), “A usina siderúrgica é a empresa responsável pela transformação do minério de ferro em aço, de maneira que ele possa ser usado comercialmente. Este processo tem o nome de Redução [...]”.

Ainda segundo Ferraz (2008, p. 1), o processo de transformação do minério de ferro em aço:

Primeiramente, o minério – cuja origem básica é o óxido de ferro (FeO) – é aquecido em fornos especiais (alto fornos), em presença de carbono (sob a forma de coque ou carvão vegetal) e de fundentes (que são adicionados para auxiliar a produzir a escória, que, por sua vez, é formada de materiais indesejáveis ao processo de fabricação). O objetivo desta primeira etapa é reduzir ao máximo o teor de oxigênio da composição FeO. A partir disso, obtém-se o denominado ferro-gusa, que contém de 3,5 a 4,0% de carbono em sua estrutura. Como resultado de uma segunda fusão, tem-se o ferro fundido, com teores de carbono entre 2 e 6,7%. Após uma análise química do ferro, em que se verificam os teores de carbono, silício, fósforo, enxofre, manganês entre outros elementos, o mesmo segue para uma unidade da siderúrgica denominada aciaria, onde será finalmente transformado em aço. O aço, por fim, será o resultado da descarbonatação do ferro gusa, ou seja, é produzido a partir deste, controlando-se o teor de carbono para no máximo 2%. O que temos então, é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, este último variando de 0,008% até aproximadamente 2,11%, além de certos elementos residuais resultantes de seu processo de fabricação. O limite de 0,008% de carbono está relacionado à sua máxima solubilidade no ferro à temperatura ambiente (solubilidade é a capacidade do material de se fundir em solução com outro), enquanto que o segundo - 2,11% - à temperatura de 1148° C.

O controle do carbono nesse processo é fator que define a aplicação final do aço. Sendo assim, “O aumento de teor de carbono eleva a resistência do aço, porém diminui a sua ductilidade (capacidade de se deformar).” (PFEIL, 1980, p. 1).

4.2 MATERIAIS

Os materiais em estudo são as madeiras do gênero *Eucalyptus* e, por outro lado, os aços galvanizados ASTM A36. Esses são aços utilizados para aplicação em componentes estruturais, com limite de escoamento igual a 250 MPa e limite de resistência variando de 400 a 550 MPa, sendo atualmente no Brasil o aço de maior comercialização.

Apresenta-se na sequência as características de cada um desses materiais.

4.2.1 Madeira

A madeira do tipo *Eucalyptus*, é uma madeira de reflorestamento, que possui variado campo de aplicação na construção civil, devido ao baixo custo, alta resistência e facilidade na obtenção. O *Eucalyptus citriodora* possui características discriminadas no quadro 1.

Quadro 1: ficha tecnológica de madeira

<p>EUCALIPTO-CITRIODORA – Eucalyptus citriodora Hook - Myrtaceae.</p> <p>OUTROS NOMES POPULARES</p> <p>eucalipto</p> <p>OCORRÊNCIA</p> <p>Brasil: Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Maranhão, Pernambuco, Paraíba.</p> <p>Outros países: Austrália, Portugal, África do Sul, Zimbábue, Ruanda, Tanzânia, Malawi, Quênia, Tailândia, Indonésia, China.</p> <p>CARACTERÍSTICAS GERAIS</p> <p>Características sensoriais: cerne e alburno distintos pela cor, cerne pardo, alburno branco-amarelado; sem brilho; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade alta; dura ao corte; grã variável: direita, ondulada e revessa; textura fina a média.</p> <p>Descrição anatômica macroscópica: parênquima axial: visível apenas sob lente, paratraqueal vasicêntrico e aliforme de aletas curtas. Raios: visíveis apenas sob lente no topo e na face tangencial; finos; de poucos a numerosos. Vasos: visíveis a olho nu, pequenos a médios; poucos; porosidade difusa; arranjo radial e diagonal; solitários e múltiplos; obstruídos por tilos. Camadas de crescimento: pouco distintas, quando presente individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras. Canais axiais traumáticos: presentes em alguns espécimes.</p> <p>DURABILIDADE NATURAL E TRATABILIDADE QUÍMICA</p> <p>Madeira suscetível à ação de xilófagos marinhos. Resistente ao apodrecimento. As informações sobre resistência ao ataque de cupins são contraditórias. O cerne é difícil de ser tratado, entretanto, o alburno é permeável.</p> <p>CARACTERÍSTICAS DE PROCESSAMENTO</p> <p>Trabalhabilidade: Madeira excelente para serraria, no entanto, requer o uso de técnicas apropriadas de desdobro para minimizar os efeitos das tensões de crescimento. Apresenta boas características de aplainamento, lixamento, furação e acabamento.</p> <p>Secagem: Em geral, as madeiras de espécies de eucalipto são consideradas como difíceis de secar, podendo ocorrer defeitos como colapso, empenamentos e rachas. A secagem em estufa deve ser feita de acordo com programas suaves, combinando, por exemplo, baixas temperaturas com altas umidades relativas. É recomendável a secagem ao ar, ou o uso de pré-secador, antes da secagem em estufa.</p>
--

(fonte: ZENID, 2009, p. 63)

4.2.2 Aço

O aço é conhecido pela sua flexibilidade, eficiência e menor impacto ao meio ambiente, sendo quase 100% reciclável. Segundo Ferraz (2008, p. 8):

Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são:

- a) elevada tensão de escoamento para prevenir a deformação plástica generalizada;
- b) elevada tenacidade para prevenir fratura rápida (frágil) e catastrófica;
- c) boa soldabilidade para o mínimo de alterações das características do material na junta soldada;
- d) boa formabilidade para o material ou a peça que necessitar receber trabalho mecânico;
- e) custo reduzido.

4.3 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA E DO AÇO

O conhecimento das principais propriedades da madeira e do aço apresentadas a seguir, facilita a análise e uma melhor comparação destes materiais.

4.3.1 Propriedades físico-mecânicas da madeira

A madeira é um material não homogêneo com muitas variações. Além disto, existem diversas espécies com diferentes propriedades. Sendo assim, é necessário o conhecimento de todas estas características para um melhor aproveitamento do material. Os procedimentos para caracterização destas espécies de madeira e a definição destes parâmetros são apresentados nos anexos da Norma Brasileira para Projeto de Estruturas de Madeira, NBR 7190/97, que fixa as condições gerais que devem ser seguidas no projeto, na execução e no controle das estruturas de madeira.

As principais propriedades da madeira do ponto de vista estrutural são:

- a) propriedades físicas da madeira: umidade, densidade, retratibilidade e resistência ao fogo;
- b) resistência a compressão;
- c) resistência à compressão normal as fibras;

d) resistência a tração paralelas às fibras.

O conhecimento destas propriedades é importante na escolha da madeira para a execução da estrutura. (GESUALDO, 2003).

Particularmente, o *Eucalyptus citriodora* possui alta resistência natural ao apodrecimento, característica que o difere das demais espécies, podendo ser utilizado em construções que demanda maior resistência. A figura 4 identifica um exemplo de estrutura de telhado executada com material dessa espécie.

Figura 4: estrutura de *Eucalyptus*



(fonte: DI LAZER, 2010, p. 1)

O quadro 2 descreve as propriedades físicas e mecânicas do *Eucalyptus*:

Quadro 2: ficha tecnológica de madeira

<p>PROPRIEDADES FÍSICAS*</p> <p>Densidade de massa (ρ): aparente a 15% de umidade ($\rho_{ap, 15}$): 1 040 kg/m³ / básica ($\rho_{básica}$): 867 kg/m³</p> <p>Contração: radial: 6,6 % / tangencial: 9,5 % / volumétrica: 19,4 %</p> <p>PROPRIEDADES MECÂNICAS*</p> <p>Flexão - Resistência – f Madeira verde (MPa): 111,8 / Madeira a 15 % de umidade (MPa): 121,4 Limite de Proporcionalidade – madeira verde (MPa): 47,2 Módulo de Elasticidade – madeira verde (MPa): 13 337</p> <p>Compressão paralela às fibras ou Resistência – fc0 Madeira verde (MPa): 51,1 / Madeira a 15 % de umidade (MPa): 62,8 Limite de Proporcionalidade - madeira verde (MPa): 33,7 Módulo de Elasticidade – madeira verde (MPa): 15 867 Coeficiente de influência de umidade (%): 4,7</p> <p>OUTRAS PROPRIEDADES MECÂNICAS*</p> <p>Resistência ao impacto na Flexão - madeira a 15% (choque) - Trabalho Absorvido (J): 45,3 Cisalhamento - madeira verde (MPa): 16,3 / Dureza Janka paralela - madeira verde (N): 8757 Tração Normal às Fibras - madeira verde (MPa): 10,1 / Fendilhamento - madeira verde (MPa): 1,2</p> <p>(*). Resultados obtidos de acordo com a Norma ABNT MB26/53 (NBR 6230/85). Fonte: IPT, 1989a.</p>

(fonte: ZENID, 2009, p. 63)

O *Eucalyptus* possui inúmeras aplicações no setor na construção, conforme demonstrado no quadro 3:

Quadro 3: ficha tecnológica de madeira

<p>USOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL</p> <p>Pesada externa: postes, cruzetas, dormentes, mourões.</p> <p>Pesada interna: vigas e caibros.</p> <p>OUTROS USOS</p> <p>Móveis estandar, cabos de ferramentas, embarcações.</p> <p>OBSERVAÇÕES</p> <p>Madeira de reflorestamento.</p> <p>Os eucaliptos representam um grupo muito variado de madeiras, com densidades desde 500 kg/m³ até 1000 kg/m³. A espécie de <i>Eucalyptus citriodora</i> é adequada ao uso em peças estruturais pelas suas características de resistência mecânica, durabilidade natural e menor tendência ao rachamento.</p> <p>(*) Resultados obtidos de acordo com a Norma ABNT MB26/53 (NBR 6230/85). Fonte: IPT, 1989a.</p>

(fonte: ZENID, 2009, p. 63)

4.3.2 Propriedades físico-mecânicas do aço

Segundo Pfeil (1980, p. 6-7), “As propriedades do aço são de fundamental importância, principalmente quando se refere às estruturas, cujo projeto e execução nelas se baseiam.”.

Assim são:

Propriedades dos aços:

- a) ductilidade – denomina-se ductilidade a capacidade do material de se deformar sob a ação das cargas [...];
- b) fragilidade – é o oposto da ductilidade. Os aços podem ser tornados frágeis pela ação de diversos agentes: baixa temperatura ambiente, efeitos térmicos locais causados, por exemplo, por solda elétrica;
- c) resiliência – é a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico;
- d) tenacidade – é a capacidade de absorver energia mecânica com deformações elásticas e plásticas. No ensaio de tração simples, a tenacidade é medida pela área total do diagrama tensão-deformação [...];
- e) dureza – é a resistência ao risco ou abrasão. Na prática mede-se dureza pela resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza;
- f) fadiga – é resistência à ruptura dos materiais é em geral medida em ensaios estáticos. Quando as peças metálicas trabalham sob efeito de esforços repetidos em grande número, pode haver ruptura em tensões inferiores às obtidas em ensaios estáticos. Esse efeito denomina-se fadiga do material.

De maneira geral, os aços estruturais possuem excelentes propriedades mecânicas, fundamentais para as estruturas, “[...] são soldáveis e trabalháveis de maneira similar ao aço-carbono comum. Apresenta ainda média ou alta resistência mecânica, o que proporciona tanto uma redução no peso da estrutura quanto uma diminuição da espessura das chapas usadas.” (FERRAZ, 2008, p. 8).

4.4 ESTRUTURAS TÉCNICAS USUAIS

As estruturas da madeira e do aço estão relacionadas nos itens a seguir.

4.4.1 Estruturas de madeira

A estrutura de telhado é constituída por vigas, caibros, ripas e elementos de ligações, desta forma, “A estrutura de madeira para telhados é considerada como o conjunto de componentes ligados entre si, com a função de suportar o telhado.” (THOMAZ, 1988, p. 1).

O armazenamento das peças de madeira deve ser feita conforme o teor de umidade existente nas peças, e com cuidadoso manuseio para evitar possíveis danos. Segundo Thomaz (1988, p. 17):

A estocagem de peças a céu aberto pode ser feita por períodos relativamente curtos, desde que:

- a) as peças sejam colocadas sobre estrados, a pelo menos 30 cm do solo;
- b) as peças sejam empilhadas de forma a permitir ventilação entre elas;
- c) as pilhas estejam cobertas, isto é, protegidas das intempéries com lonas têxteis ou plásticas;
- d) as peças de grandes comprimentos devem ser apoiadas adequadamente a fim de prevenir-se o empenamento das mesmas.

Para maior praticidade e rapidez no canteiro de obras, as peças e componentes de madeira devem ser estocadas o mais próximo de onde serão utilizadas na obra, antes de iniciar a execução da estrutura.

4.4.2 Estruturas de aço

A estrutura de aço para telhado é um sistema de treliças, terças, caibros e ripas feitos de perfis de aço galvanizado. As peças são aparafusadas entre si para dar sustentação às telhas da cobertura de uma edificação. O processo de galvanização, responsável pela proteção do aço à corrosão, deve ser especificado considerando a agressividade do ambiente no qual a estrutura será instalada.

Quanto aos elementos de ligações nas estruturas de aço, segundo a Companhia Siderúrgica Nacional (2010, p. 9), “Os processos de ligação mais utilizados nas montagens de estruturas [...] para a construção civil envolvem principalmente o uso de parafusos, rebites e cravações a frio.”.

Os perfis em aço galvanizados são recebidos prontos para a sua utilização, devendo ser conferidas todas as peças, conforme o projeto, e armazenadas em local seco o mais próximo do local para o seu uso na obra, antes de iniciar a execução da estrutura. A montagem é feita diretamente sobre a estrutura, sendo que, “A planicidade e o alinhamento da estrutura são fundamentais para garantir a estanqueidade do telhado à água, um dos pontos críticos para a conservação das peças [...]”. (RIZZO; MITIDIARI, 2010, p. 3)

Na estrutura de telhado devem ser empregados perfis estruturais de aço normalizados, ou perfis a partir de chapas zincadas com espessura mínima de 0,8 mm, de acordo com o projeto estrutural. O aço faz parte da arquitetura moderna, adaptando-se a qualquer ambiente, com sua execução rápida e, conseqüentemente, com o tempo reduzido em média em 40% se comparada com uma estrutura convencional. Se necessário mudar a estrutura metálica de local, é possível desmontá-la sem perda de material, com total reaproveitamento da estrutura. Ou ainda, quando sucata, vira minério de ferro, não contaminando o ambiente.

5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA E DE AÇO

Como todos os materiais utilizados na construção civil, o aço e a madeira possuem vantagens e desvantagens importantes que devem ser analisadas antes da utilização desses materiais.

5.1 ESTRUTURAS DE MADEIRA

Os itens a seguir apresentam as vantagens e desvantagens das estruturas de madeira.

5.1.1 Vantagens

A madeira apresenta vantagens como boa resistência, baixa massa específica, isolante térmico e acústico, como também facilidade na montagem de uma estrutura sem a exigência de ferramentas especiais, sendo esse material de maior procura na construção civil associada com telhados. Dentre essas vantagens é importante salientar o emprego da mão de obra não especializada para a execução dos projetos. Para as estruturas, são utilizadas as madeiras serradas, podendo ser comparada a um elemento pré-moldado, de fácil montagem. A madeira do gênero *Eucalyptus* segundo Bertola (2010, p. 12):

- a) reduz a pressão sobre a mata nativa e protege sua fauna;
- b) recupera solos exauridos pelo cultivo e queimadas e controla a erosão;
- c) mantém a cobertura do solo pela deposição dos resíduos florestais;
- d) contribui para regular o fluxo e a qualidade dos recursos hídricos;
- e) absorve grande quantidade de CO₂ da atmosfera, diminuindo a poluição e o calor e combatendo o efeito estufa;
- f) fornece matéria-prima para produtos indispensáveis em nossas vidas;
- g) é uma fonte de riquezas econômicas e sociais;
- h) gera emprego e mantém o homem no campo.

O *Eucalyptus citriodora* é uma das espécies mais cultivadas no Brasil, apresenta característica de madeira nobre, a qual “[...] é considerada pesada, onde as propriedades de resistência mecânica são elevadas. É uma madeira de alta estabilidade, mas baixa permeabilidade, muito utilizada em componentes estruturais para a construção, [...]”. (BERTOLA, 2010, p. 14). O quadro 4 apresenta as áreas plantadas com *Eucalyptus* no Brasil.

Quadro 4: áreas plantadas com *Eucalyptus* no Brasil

Estado	Área Plantada (hectares)	Percentual (%)
Minas Gerais	1.080.000	51.6
São Paulo	574.029	19.4
Bahia	213.000	7.2
Espírito Santo	152.000	5.1
Demais Estados	129.000	4.4
Rio Grande do Sul	116.025	3.9
Mato Grosso do Sul	80.000	2.7
Paraná	67.038	2.3
Pará	46.000	1.5
Santa Catarina	42.291	1.4
Amapá	13.000	0.4
TOTAL	2.955.000	100.0

(fonte: BERTOLA, 2010, p. 27)

5.1.2 Desvantagens

A madeira, independente de sua espécie, também apresenta algumas desvantagens. Quanto a sua utilização, uma das principais é a sua deterioração pelo ataque de xilófagos, sendo também um material sensível a umidade e a intempéries. Além disso, a madeira do gênero *Eucalyptus* apresenta alguns fatores relevantes a ser considerados. Segundo Bertola (2010, p. 32):

O eucalyptus conduz à desertificação pelo solapamento da produtividade biológica do ecossistema vulnerável, através das três seguintes maneiras:

- a) a alta demanda de água da espécie esgota a umidade do solo e destrói a recarga da água subterrânea, desestabilizando o ciclo hidrológico;
- b) a pesada demanda por nutrientes cria um déficit anual enorme, desestabilizando o ciclo de nutrientes;

- c) a liberação de substâncias químicas alelopáticas, afeta o crescimento de plantas e de microorganismos do solo reduzindo, assim, ainda mais a fertilidade do solo.

5.2 ESTRUTURAS DE AÇO

As vantagens e desvantagens das estruturas de aço são apresentadas nos itens a seguir.

5.2.1 Vantagens

São vantagens do aço na construção, segundo a Companhia Siderúrgica Nacional (2010, p. 4), destacando-se:

- a) simplicidade e a praticidade da construção metálica garantem eficiência, com melhor utilização de insumos e mão de obra;
- b) a montagem ocorre de maneira organizada e rápida, consequentemente a construção em aço proporciona menores prazos;
- c) a estrutura de aço se adapta com facilidade a outros materiais, o que permite uma variada utilização de produtos no fechamento, cobertura e acabamento da obra;
- d) possui um potencial de reciclabilidade acima de 90%;
- e) a construção em aço permite uma maior organização e utilização do espaço disponível no canteiro de obras, evitando desperdício e entulho. Além disso, é sempre uma obra limpa, garantindo melhor segurança e menor risco de acidentes de trabalho;
- f) a utilização do aço na construção permite uma fácil adaptação no caso de reformas e ampliações. Proporciona maior flexibilidade no projeto;
- g) possui elevada resistência mecânica, tornando a estrutura de aço muito leve, logo de fácil manuseio e custo reduzido com equipamentos de movimentação, assim como redução de cargas na fundação;
- h) estrutura de aço diz-se uma obra de projeto, ou seja, todos os detalhes e possíveis problemas são resolvidos no papel, antes mesmo de dar início à construção;
- i) um projeto em aço garante uma precisão milimétrica de níveis e prumos, facilitando montagem e o assentamento de portas, janelas e paredes;
- j) a garantia da qualidade do aço é resultado de um rigoroso controle dentro da usina siderúrgica. Esse processo garante a qualidade do projeto e da obra.

A estrutura de telhado em aço representa uma nova tecnologia na construção civil, pela leveza, estética e conforto dessa estrutura. A figura 5 apresenta uma estrutura em aço.

Figura 5: estrutura de aço



(fonte: SILVA, 2010, p. 1)

5.2.2 Desvantagens

O aço também apresenta algumas desvantagens na sua utilização, segundo Nascimento (2011, p. 2) está referida as seguintes desvantagens do aço na construção:

- a) limitação na execução em fábrica em função do transporte até o local de sua montagem final;
- b) necessidade de tratamento superficial das peças contra oxidação devido ao contato com o ar atmosférico;
- c) necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados para sua fabricação e montagem;
- d) limitação de fornecimento de perfis estruturais.

O quadro 5 a seguir descreve um comparativo entre as características da madeira de Eucalypto e o aço ASTM A36.

Quadro 5: comparativo entre propriedades da madeira e do aço

	Eucalypto	Aço ASTM A36
Peso Específico (γ)	860 kg/m ³	7700 kg/m ³
Módulo de Elasticidade (E)	18421 MPa	205000 MPa
Resistência	$f_{c0} = 62$ MPa	$f_y = 250$ MPa $f_u = 400$ MPa
Densidade ($\rho_{bas,m}$)	750 kg/m ³	7800 kg/m ³
Preço (kg)	R\$ 1,72	R\$ 2,24

(fonte: elaborado pelo autor)

6 ESTRUTURA DO TELHADO

Os telhados são construídos para proteger as edificações da ação das intempéries, também para o controle térmico dos ambientes, uma vez que forma uma camada de ar entre a cobertura e o forro, e para garantir uma total impermeabilidade para a edificação. Além disso, um telhado quando bem projetado, funcionalmente e esteticamente, valoriza e embeleza a edificação.

A estrutura de telhado é o elemento que apoia a cobertura, sendo que os materiais mais utilizados na confecção da estrutura são a madeira e o aço. Já na cobertura além de outras, destacam-se as telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento e telhas metálicas.

A cobertura tem como função principal o isolamento das condições climáticas, chuva, temperatura e umidade, e ainda o isolamento acústico da edificação, proporcionando maior conforto aos usuários.

6.1 ELEMENTOS DA ESTRUTURA DO TELHADO

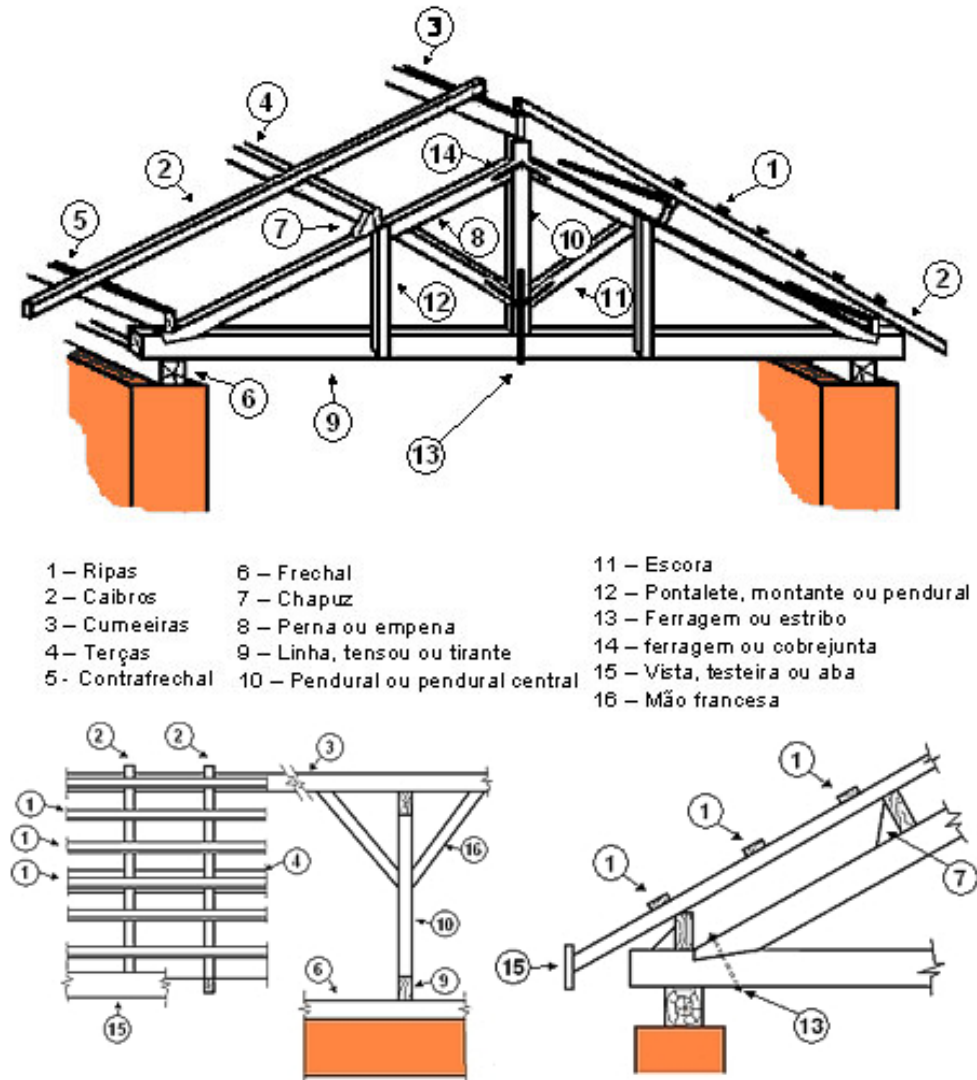
Os elementos que constituem a estrutura dos telhados estão divididos em dois grupos, segundo Cardão (1983, p. 17):

Elementos componentes dos telhados – Nos telhados podemos distinguir dois elementos principais:

- a) Engrandamento
- b) Cobertura

A descrição dos elementos da estrutura de telhado está representada na figura 6.

Figura 6: elementos de estrutura de telhado



(fonte: ZANI MADEIRAS, 2015, p. 1)

Assim sendo, a estrutura é composta por peças que quando unidas fazem parte do engradamento, ou seja, “O engradamento é formado por elementos que, apresentando funções diferentes no conjunto, podem assim ser enumerados: elementos suportes, denominados TESOURAS, peças destinadas a constituírem um plano de assentamento do material que irá formar a cobertura e, finalmente, peças que servirão de contraventamento.” (CARDÃO, 1983, p. 17).

A cobertura tem por finalidade a total vedação da edificação, protegendo-a de qualquer intempérie. Entre as principais características de uma cobertura destacam-se a impermeabilidade, durabilidade, resistência, estética e economia. Os tipos de materiais utilizados nas coberturas variam conforme a estrutura projetada.

Ainda segundo Cardão (1983, p. 18), o processo de divisão dos elementos da estrutura:

Assim, podemos subdividir o engradamento em 3 partes distintas, segundo a sua função e são denominadas:

- a) Tesouras;
- b) Engrandamento propriamente dito;
- c) Contraventamento.

6.1.1 Estrutura principal – tesoura

As tesouras são estruturas planas verticais, cujas cargas são paralelas ao seu plano e transmitidas aos seus apoios, para esse tipo de estrutura é normalmente utilizado o sistema de vigas estruturais treliçadas, ou seja, são barras ligadas umas as outras em suas extremidades chamadas nós, formando triângulos que são interligados, constituindo a tesoura, a qual é apoiada em suas extremidades. O modelo mais utilizado para confecção das tesouras é o triangular, por ser indeformável, independente da rigidez dos nós da treliça. Sua grande vantagem é que não necessitam apoios intermediários para atingir grandes vãos. No entanto também há modelos de tesouras que não são treliças.

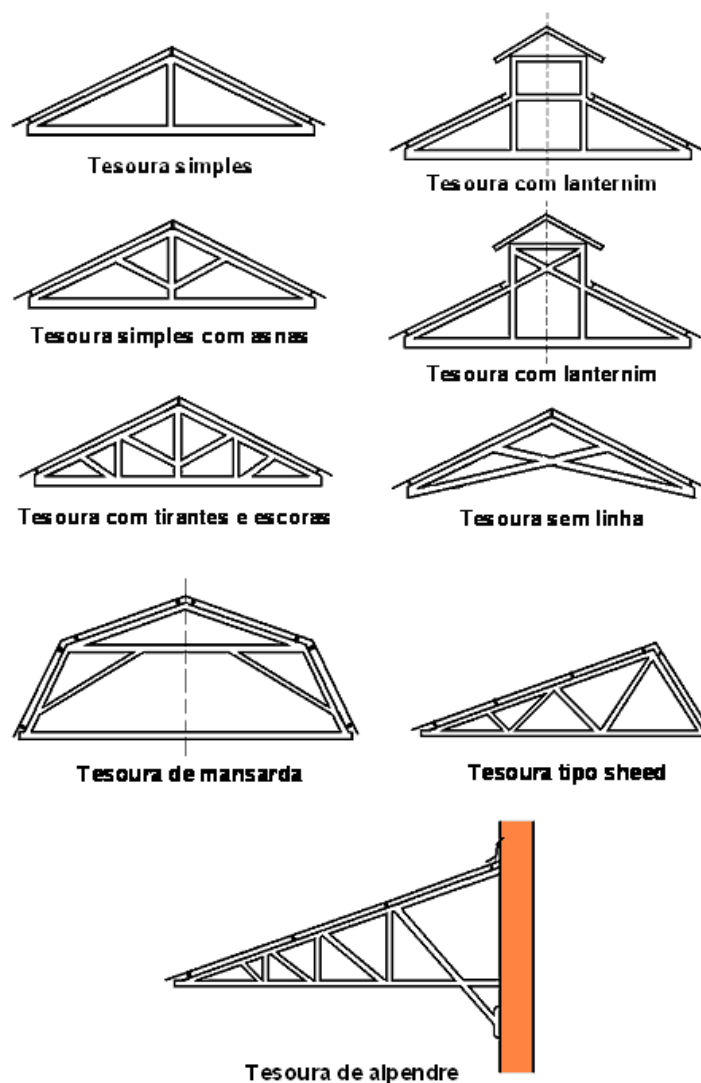
A função estrutural das tesouras é suportar a cobertura e as sobrecargas do telhado por meio do vigamento secundário ou engrandamento.

Os esforços sobre as tesouras serão apenas de compressão e tração, não sendo considerado o trabalho à flexão. “As cargas da cobertura e as naturais sobrecargas provenientes da pressão do vento, são transmitidas às tesouras por meio desse vigamento secundário, descarregando em pontos chamados NÓS.” (CARDÃO, 1983 p. 18).

A execução da estrutura do tipo tesoura treliçada vai depender das necessidades requeridas no projeto arquitetônico suas dimensões e o tipo de material a ser utilizado. Assim também para a execução do vigamento secundário, as terças, os caibros e as ripas.

A Figura 7 representa os modelos construtivos de tesouras, independentemente do material a ser utilizado.

Figura 7: modelos de estruturas de tesouras



(fonte: DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UEPG, 2012, P.1)

6.1.2 Estrutura secundária – terças, caibros e ripas

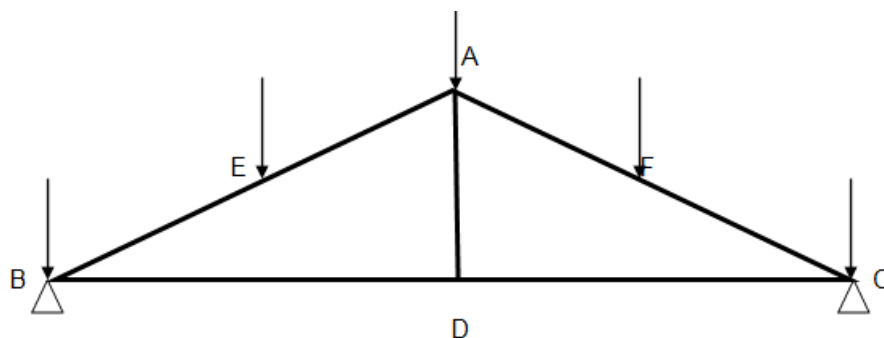
Além das tesouras, os telhados necessitam de outros elementos para a cobertura. “O engrandamento, ou seja, o plano de assentamento da cobertura é constituído de uma série de peças de madeira ligadas entre si de modo a permitir a perfeita fixação da cobertura,

descarregando as cargas nos nós.” (CARDÃO, 1983, p.37). A escolha do tipo de material e a bitola dessas peças vai depender também das necessidades de projeto.

6.1.2.1 Terças

As terças são peças apoiadas sobre as tesouras, mais precisamente sobre os nós, sua bitola depende do espaçamento entre as mesmas, ou seja, do vão livre entre as tesouras e do tipo de material a ser empregado. “O peso da cobertura e das sobrecargas é transmitido às tesouras por meio das TERÇAS, que são peças longitudinais apoiadas diretamente nos nós A, B e C.” (CARDÃO, 1983 p. 19). Conforme ilustrado na figura 8.

Figura 8: terças em tesoura simples



(fonte: elaborada pelo autor)

O afastamento médio das terças varia entre 2 e 3 metros, conforme a cobertura. Segundo Cardão (1983, p. 20):

Em seguida, procede-se à triangulação, aplicando-se escoras ou pendurais secundários, ED e FD da figura 6, nos diversos nós.

Assim, na figura 8, se tivéssemos que projetar uma tesoura para o vão BC, traçava-se em primeiro lugar a linha BC e fixava-se o seu meio, de onde levantava-se a perpendicular AD.

...

A linha AD iria constituir o PENDURAL ou PONTALETE da tesoura.

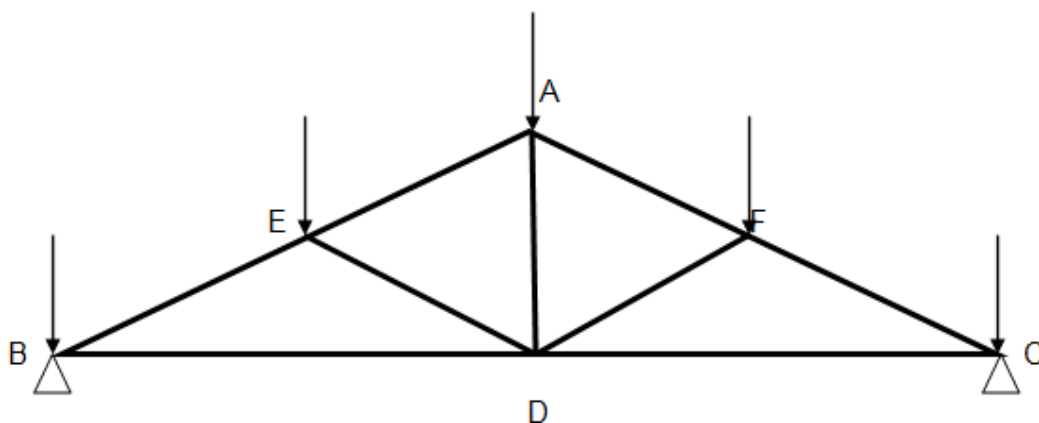
Dessa forma ter-se-ia uma tesoura simples, que servirá para o caso em que o comprimento AB da PERNA seja tal qual que não exija terças intermediárias, ou seja um limite não superior a 3,00 m.

...

Sendo o comprimento AC superior ao limite de 3,00 m, teremos que dividi-lo em partes iguais de tal modo a não exceder às dimensões máximas e dessa forma obtém-se os pontos em que deverão ser colocadas novas terças e, para que não haja flexão na perna, são adicionadas ESCORAS. Assim teremos novos nós E e F e as escoras DF e ED.

Conforme mostrado na figura 9.

Figura 9: terças em triangulação com pendurais secundários



(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.2.2 Caibros

Os caibros são peças colocadas na direção perpendicular às terças e paralelos às tesouras. A inclinação dos caibros determina a inclinação do telhado, a sua bitola vai depender do espaçamento entre as terças, do tipo de material a ser utilizado, como também do tipo de telhas usadas na cobertura.

6.1.2.3 Ripas

As ripas são peças da estrutura que são fixadas são pregadas nos caibros de modo perpendicular à estes. Para fixação das ripas é necessário definir a telha a ser utilizada, para que seja feita medição da sua galga (distância máxima da parte superior entre duas ripas).

A fixação das ripas é feita sempre seguindo do beiral em direção à cumeeira, mantendo o mesmo espaçamento entre essas conforme o tamanho da telha.

Ao se tratar de um projeto cuja cobertura será feita com telhas de fibrocimento, conforme o projeto em estudo, pela dimensão da telha e visando economia na execução, é dispensável a instalação de caibros e ripas na execução da estrutura do telhado. Neste caso, somente é executada a tesoura em madeira e a fixação das terças de madeira sobre os nós das tesouras, que recebe a cobertura com telhas de fibrocimento. “Para este material, não há necessidade de ripamento. Tão somente serão colocadas terças que receberão as chapas por seus extremos.” (CARDÃO, 1983, p. 80).

6.1.3 Contraventamento

O contraventamento é formado por barras transversais fixadas para reforçar e estabilizar as estruturas treliçadas. “Embora as estruturas treliçadas sejam muito rígidas em seu plano específico, são muito flexíveis quando carregadas perpendicularmente a esse plano. Por isso, as cordas de compressão das treliças devem ser estabilizadas e alinhadas por meio de um contraventamento cruzado...” (KENNETH, 2010, p. 13).

6.2 CARREGAMENTO: CARGAS ATUANTES NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE TELHADO

As ações atuantes consideradas em estruturas de telhado são: o peso próprio da estrutura segundo a NBR 7190 (1997), o peso da cobertura, no caso do projeto em estudo telhas de fibrocimento, e as ações dos ventos segundo a NBR 6123 (1988).

6.2.1 Peso próprio

O peso próprio da estrutura é linearmente distribuído em cada elemento, conforme o peso específico do material considerado e das dimensões das barras projetadas.

6.2.2 Peso da cobertura

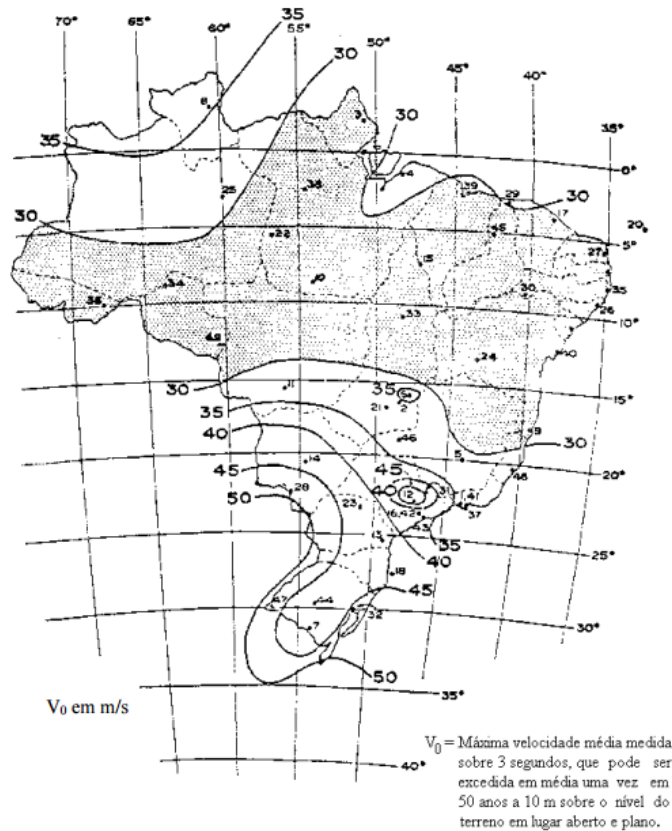
Para o projeto foram consideradas as especificações das telhas de fibrocimento, segundo o catálogo técnico da BRASILIT, do modelo de telha ondulada de seis milímetros, cujo carregamento é de 180N/m², distribuído no plano da cobertura.

6.2.3 Ação do vento

As considerações para a determinação das ações devido aos ventos são calculadas segundo a NBR 6123 (1988), uma vez definidos os fatores topográficos, de rugosidade e estático e da velocidade característica do vento, calcula-se a intensidade das ações.

Segundo a NBR 6123 (1988), a velocidade básica do vento, V_0 , é a velocidade de uma rajada de 3 segundos, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano. A figura 10 apresenta a distribuição da velocidade básica do vento no Brasil.

Figura 10: ação dos ventos sobre os telhados



(fonte: ABNT, 1988, p. 4)

O cálculo da velocidade característica do vento (V_k), em m/s, depende da velocidade básica do vento (V_0), do fator que considera a topografia (S_1), do fator que considera a rugosidade do terreno e a altura (S_2) e do fator estatístico (S_3) que considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Sendo, $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$. Esses fatores podem ser obtidos através das tabelas 01 e 02 da norma NBR 6123 (ABNT, 1988). De acordo com estas explicações e dentro do contexto do projeto em estudo, tem-se :

$V_0 = 45,0$ m/s para a região de Porto Alegre.

Categoria do terreno e classe da edificação: Categoria III – Classe A

$S_1 = 1,0$ (terreno plano ou fracamente acidentado)

$S_2 = 0,91$ $z = 5,04$ m (altura acima do terreno)

$S_3 = 0,95$

Logo, $V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 = 45,0 \times 1,0 \times 0,91 \times 0,95 = 38,90$ m/s

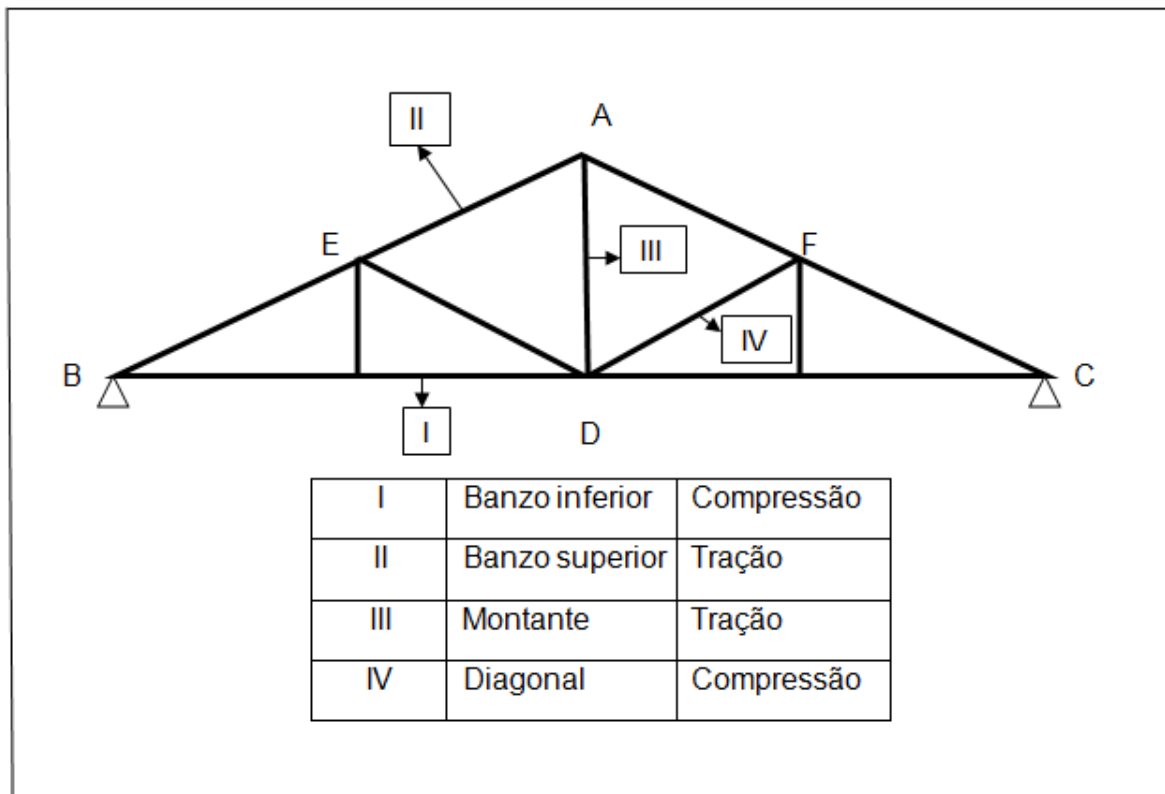
Com a velocidade característica do vento define-se a pressão dinâmica q .

$q = 0,613 * (V_k)^2$ (item 4.2.c NBR 6123)

$q = 0,613 * 38,90^2 = 927,60$ N/m² = 94,55 kgf/m²

A figura 11 a seguir descreve o diagrama de forças numa tesoura de um telhado.

Figura 11: diagrama de forças normais (tração e compressão) numa tesoura de um telhado



(fonte: elaborado pelo autor)

Cálculo das médias das forças atuantes no telhado duas águas do projeto em análise.

	Madeira	Aço
Peso das telhas	18,00 kgf/m ²	18,00 kgf/m ²
Peso próprio	12,08 kgf/m ²	6,19 kgf/m ²
Ação do vento	94,55 kgf/m ²	94,55 kgf/m ²
	124,63 kgf/m ²	118,74 kgf/m ²

7 ESTRUTURA DE MADEIRA

A madeira é o elemento tradicionalmente empregado na execução de estruturas para telhado. Os itens a seguir apresentam as definições e os aspectos construtivos dessas estruturas.

7.1 TESOURA DE MADEIRA

A solução empregando tesouras de madeira é econômica para vãos de até 12 (doze) metros porque até esse limite é possível adotar-se perfis com seções comerciais, como por exemplo sarrafo (5,0 x 2,5) cm, caibro (7,0 x 5,0) cm, viga (10,0 x 5,0) cm e (15,0 x 7,5) cm. (CARDÃO, 1983).

7.2 TERÇAS DE MADEIRA

Conforme já visto, as terças são elementos apoiados sobre a tesoura. “As terças extremas recebem denominação especial. Assim, a central, que ocorre no ponto mais alto do telhado, é chamada CUMEEIRA. A extrema, colocada na parte mais baixa é chamada FRECHAL.” (CARDÃO, 1983 p. 37). Para as terças de madeira faz-se necessário observar o tipo de madeira a ser utilizada e a distância entre as tesouras para que seja definida a sua bitola. Conforme ilustrado na figura 12.

7.3 CAIBROS DE MADEIRA

Os caibros são elementos perpendiculares ao beiral, fixados sobre as terças, “por sua vez os caibros servem de apoio às ripas que recebem as telhas.” (CARDÃO, 1983 p. 37). Quando utilizados caibros de madeira deve-se observar o espaçamento entre as terças, o tipo da madeira escolhida para a realização do projeto e o tipo da telha, para definição da bitola dos caibros. Fixação ilustrada na figura 12.

7.4 RIPAS DE MADEIRA

As ripas são distribuídas conforme o dimensionamento das telhas nelas fixadas. Ainda segundo Cardão (1983, p. 37):

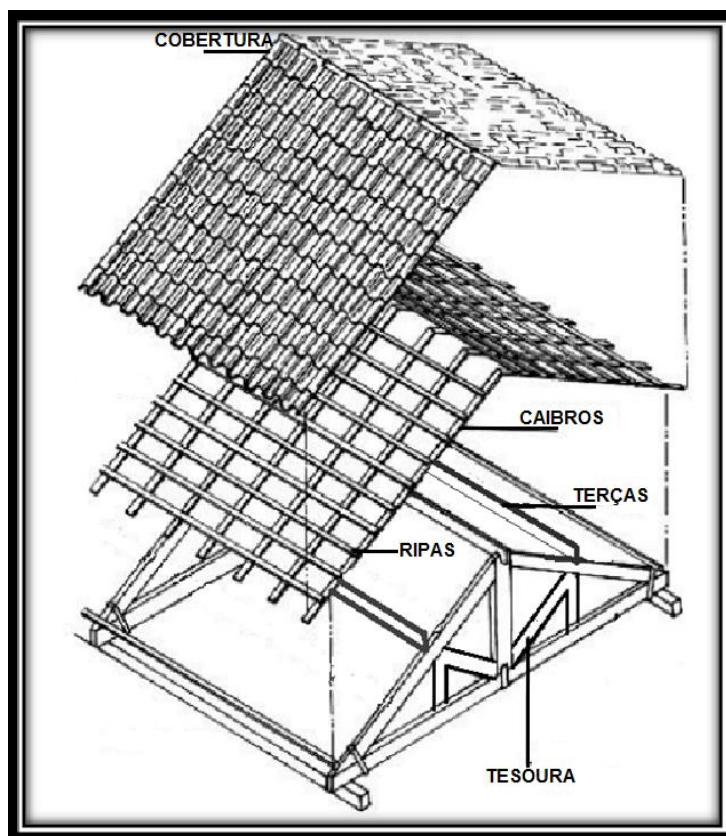
Podemos dizer que o engrandamento é função do tipo de cobertura porque a separação dos caibros e das ripas, assim como a necessidade destas últimas, será determinada pelo tipo de telha.

Sendo a função das ripas receber a telha, deve-se, numa construção, só promover o ripamento depois da chegada da telha no canteiro de trabalho porque só assim teremos em definitivo a bitola do material de cobertura. Do contrário, correríamos o risco de, por modificação e variação dimensional da telha encomendada, perdermos todo o ripamento.

Sendo as ripas de madeira, deve-se verificar o espaçamento entre os caibros, o tipo de madeira e o modelo da telha, já que as ripas são responsáveis de suportar o peso das telhas.

Os elementos que constituem uma estrutura de madeira para telhados estão representados na figura 12.

Figura 12: madeiramento da estrutura de madeira



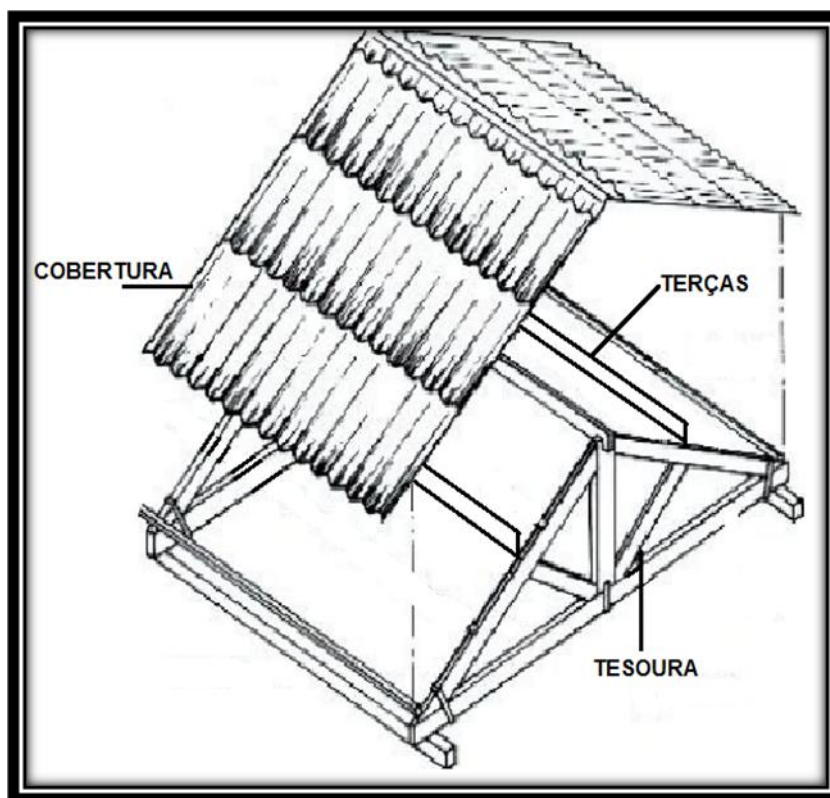
(fonte: elaborado pelo autor)

7.5 MONTAGEM DA ESTRUTURA DE MADEIRA

A montagem da tesoura de madeira é feita “in loco”, as peças são compradas conforme bitolas e comprimentos dimensionados no projeto, os cortes necessários e toda montagem da estrutura é feita manualmente por um marceneiro.

Como já visto anteriormente, as coberturas realizadas com chapas onduladas de fibrocimento, apresentam redução no custo da estrutura, visando maior economia, haja visto necessitarem de menor inclinação do telhado, não havendo necessidade do dimensionamento de caibros e ripas, as telhas são apoiadas diretamente sobre as terças, sendo que o espaçamento irá variar conforme os pontos de apoio das telhas, definido pela dimensão da peça. A figura 13 ilustra a estrutura de madeira para cobertura de fibrocimento.

Figura 13: madeiramento da estrutura de madeira para telhas de fibrocimento

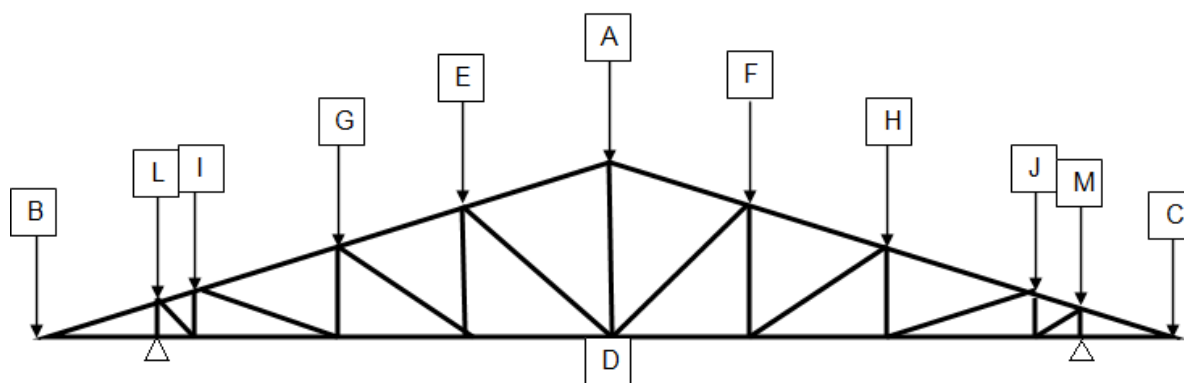


(fonte: elaborado pelo autor)

De acordo com a boa prática na construção de telhados, considerando que o espaçamento entre as terças varia entre 2,5 e 3,0 metros, devendo ser dimensionado conforme o tipo de madeira, uma tesoura com 9 terças deve apresentar um comprimento de perna entre 10 e 12 metros. Denomina-se comprimento de perna a medida do banzo superior da tesoura.

Para esta estrutura foram dimensionadas treze tesouras de madeira, seguindo da fixação de dez terças em função da dimensão das telhas, conforme figura 20, fixadas sobre os nós, formadas por peças de seção comercial, visando a redução do custo. A figura 14 ilustra o modelo de tesoura adotada para este projeto com 11,60 m de comprimento.

Figura 14: modelo tesoura projeto de pesquisa



(fonte: elaborada pelo autor)

Com o material no canteiro de obras, inicia-se o processo de montagem da tesoura de madeira. Conforme o projeto são treze tesouras treliçadas, dez terças e o contraventamento. A fixação desses elementos é feita com pregos, parafusos e chapas de aço aparafusadas nos perfis de madeira.

Após a montagem das tesouras, um guindaste autopropelido, com lança telescópica, é usado para erguer as tesouras sobre a edificação. Em seguida é feito o contraventamento entre as tesouras e após pregadas as terças nos nós. O contraventamento é feito com perfis de madeira com seção transversal de 15 x 2,5 cm, em forma de “X” entre as tesouras, ilustrado na figura 23.

7.6 CUSTO DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE

A madeira de *Eucalyptus* possui o maior índice de venda do setor da construção civil. O custo da produção da estrutura de madeira varia conforme a quantidade demandada e depende de diversas variáveis como o valor da madeira bruta, a sazonalidade, a distância da produção da matéria prima ao canteiro de obra, as seções dos perfis adotados e principalmente da oferta da madeira de Eucalipto no período.

A tabela 1 descreve o custo do carregamento e transporte por distância do local produção até o consumidor final, avaliados o trajeto de ida e volta, embutidos no valor por km de rodagem. É calculado o custo do m³ por km, sendo que na medida que aumenta a distância diminui o custo por km, e quanto maior a distância, a partir de 150 km, o custo de transporte diminui e estabiliza, mantendo-se constante o valor por km rodado.

Tabela 2: custo de carregamento e transporte de *Eucalyptus* (m³/km)

Distância (km)	Valor R\$ (km)	Total R\$
50	9,65	482,50
100	7,72	772,00
150	6,18	927,00
200	6,18	1.236,00
250	6,18	1.545,00
300	6,18	1.854,00
350	6,18	2.163,00
400	6,18	2.472,00
450	6,18	2.781,00
500	6,18	3.090,00

(fonte: elaborado pelo autor)

8 ESTRUTURA DE AÇO

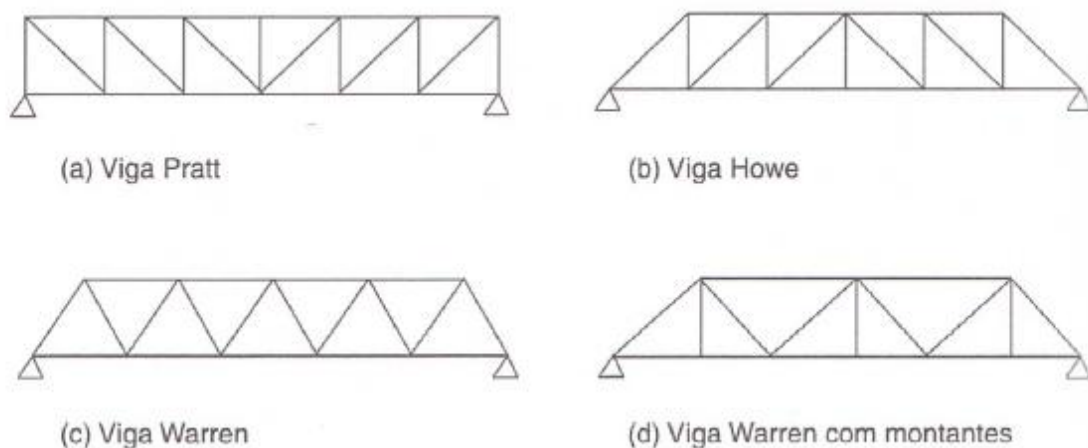
O aço é um material muito consumido na indústria, com ênfase na construção civil devido as suas diversas aplicações, desde as fundações até o acabamento final em esquadrias. Entre essas o uso do aço em estruturas de telhado tornou-se uma excelente opção de estrutura em se tratando de qualidade, leveza, durabilidade, rapidez e economia. Substituindo a madeira na estrutura de telhado, além do menor custo, o projeto em aço ainda ajuda a preservar o meio ambiente.

8.1 TESOURA DE AÇO

As tesouras metálicas possuem os mesmos fundamentos de estabilidade aplicados para tesouras em outro material como a madeira. “As tesouras metálicas, treliças ou pórticos são indicadas nas coberturas de grandes vãos.” (CARDÃO, 1983, p.38).

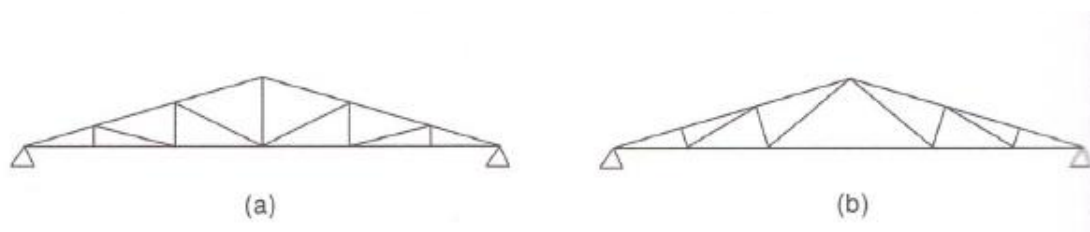
Os modelos de estruturas utilizados em edificações são treliças simples compostas por triângulos. “As treliças utilizadas em coberturas têm, em geral, o banzo superior inclinado, e as utilizadas em apoios de pisos e pontes têm banzos paralelos. As configurações geométricas mais conhecidas são designadas por nomes próprios, como Pratt, Howe e Warren...” (PFEIL, 2009, P. 229). Conforme mostradas nas figuras 15 e 16.

Figura 15: treliças com banzos paralelos



(fonte: PFEIL, 2009, p. 230)

Figura 16: treliças com banzo superior inclinado



(fonte: PFEIL, 2009, p. 230)

Para a estrutura do projeto em estudo foram utilizadas as conexões por solda Tipo eletrodo E – 6013 (4 mm), visando menor custo, agilidade e aproveitamento de toda a seção do aço, ou seja, “[...] a união de dois ou mais componentes de uma peça estrutural conservando a continuidade do material e as suas propriedades mecânicas e químicas”. (DIAS, 1997 p. 99).

8.2 TERÇAS DE AÇO

As terças de aço são peças fixadas nos nós das tesouras, semelhante às terças de madeira como já visto. Porém as terças metálicas são peças mais leves, de fácil manuseio e permitem um vão de até seis metros entre as tesouras sem precisar apoio intermediário e não necessitam de entalhes nas peças para fixação. A figura 17 apresenta os tipos de perfis utilizados para terças, sendo que o perfil C é o de maior consumo.

Figura 17: seções de perfis C



(fonte: BELLEI, 2000, p. 139)

As terças em aço utilizadas no projeto em estudo são do tipo U enrijecido, de chapa dobrada, que permite um vão livre entre as tesouras até seis metros sem apoio intermediário. A tabela 3 mostra as características deste perfil conforme especificações do fornecedor de aço GERDAU.

Tabela 3: Dimensões e propriedades perfil U enrijecido

Perfis U Enrijecidos de Chapa Dobrada													
Dimensões e Propriedades Geométricas													
						<p>h - altura da alma b - largura das abas d - altura do elemento enrijecido e - espessura da chapa e - distância entre o eixo y-y e a fibra paralela mais externa S - área da seção P - peso por metro linear</p>			<p>Jx - momento de inércia, eixo x - x Jy - momento de inércia, eixo y - y Wx - módulo de resistência, eixo x - x Wy - módulo de resistência, eixo y - y ix - raio de giro eixo x iy - raio de giro eixo y</p>				
h	B	d	e = r	S	P	Jx	Wx	ix	ey	Jy	Wy	ly	
mm.	mm.	mm.	mm.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
50	25	10	1.52	1.64	1.29	6.2	2.4	1.95	0.92	1.44	0.91	0.94	
			1.90	2.00	1.57	7.4	2.9	1.92	0.92	1.68	1.06	0.92	
			2.28	2.33	1.83	8.4	3.3	1.90	0.92	1.87	1.18	0.90	
			2.66	2.64	2.07	9.2	3.7	1.88	0.91	2.02	1.28	0.88	
			3.04	2.92	2.30	10.0	4.0	1.85	0.91	2.15	1.35	0.86	
75	40	15	1.52	2.63	2.07	23.5	6.2	2.99	1.50	6.20	2.48	1.54	
			1.90	3.23	2.54	28.4	7.5	2.97	1.50	7.43	2.97	1.52	
			2.28	3.81	2.99	33.0	8.8	2.94	1.49	8.52	3.40	1.50	
			2.66	4.37	3.43	37.2	9.9	2.92	1.49	9.50	3.78	1.48	
			3.04	4.90	3.85	41.1	10.9	2.90	1.48	10.38	4.13	1.46	
100	50	17	1.52	3.38	2.65	54.1	10.8	4.01	1.78	12.32	3.83	1.91	
			1.90	4.16	3.27	66.0	13.2	3.98	1.78	14.87	4.61	1.89	
			2.28	4.93	3.87	77.2	15.4	3.96	1.77	17.21	5.33	1.87	
			2.66	5.67	4.45	87.8	14.5	3.94	1.77	19.36	5.99	1.85	
			3.04	6.39	5.02	97.8	19.5	3.91	1.76	21.35	6.59	1.83	
	55	20	25	3.42	7.09	5.56	107.1	21.4	3.89	1.76	23.13	7.13	1.81
				3.00	6.80	5.33	105.6	21.1	3.94	2.66	28.72	8.35	2.05
				5.00	11.54	9.06	169.2	33.8	3.82	2.90	55.81	15.52	2.19
				6.0	7.40	5.81	123.6	24.7	4.08	3.20	46.30	10.40	2.50
				7.0	7.40	5.81	123.6	24.7	4.08	3.20	46.30	10.40	2.50
127	50	17	1.52	3.79	2.97	94.4	14.8	4.99	1.60	13.38	3.93	1.88	
			1.90	4.68	3.67	115.4	18.1	4.97	1.59	16.17	4.74	1.86	
			2.28	5.54	4.35	135.3	21.3	4.94	1.59	18.71	5.48	1.84	
			2.66	6.39	5.01	154.3	24.3	4.92	1.58	21.07	6.17	1.82	
			3.04	7.21	5.66	172.4	27.1	4.89	1.58	23.24	6.79	1.80	
150	40	10	3.42	8.01	6.29	189.3	29.8	4.86	1.58	25.20	7.36	1.77	
			2.00	4.69	3.68	146.3	19.5	5.58	1.40	8.07	2.64	1.31	
			1.52	4.53	3.56	159.2	21.2	5.93	1.92	23.35	5.72	2.27	
			1.90	5.61	4.40	195.3	26.0	5.90	1.92	28.36	6.95	2.25	
			2.28	6.66	5.23	229.9	30.6	5.88	1.91	33.03	8.08	2.23	
	60	20	2.66	7.69	6.04	263.1	35.0	5.85	1.91	37.42	9.15	2.21	
			3.04	8.70	6.83	295.1	39.3	5.82	1.91	41.53	10.14	2.18	
			3.42	9.69	7.60	325.6	43.4	5.80	1.90	45.32	11.06	2.16	
			3.80	10.65	8.36	354.6	47.2	5.77	1.90	48.83	11.90	2.14	
			4.18	11.59	9.10	382.4	51.0	5.75	1.89	52.08	12.68	2.12	
180	40	10	4.76	12.98	10.19	423.4	56.4	5.71	1.89	57.70	14.02	2.11	
			2.00	5.29	4.15	228.0	25.3	6.56	1.30	8.45	2.68	1.26	
			3.00	8.00	6.28	339.9	37.7	6.52	1.36	13.70	4.50	1.30	
			4.00	10.75	8.44	447.9	49.7	6.45	1.41	19.32	6.57	1.34	
			1.90	7.13	5.60	440.4	44.0	7.86	2.19	53.20	10.02	2.73	
200	75	20	2.28	8.48	6.66	520.4	52.0	7.83	2.19	62.25	11.72	2.71	
			2.66	10.08	7.92	614.2	61.4	7.80	2.32	77.80	15.02	2.78	
			3.04	11.44	8.98	691.9	69.1	7.78	2.32	86.90	16.76	2.76	
			3.42	12.76	10.02	766.8	76.6	7.75	2.31	95.46	18.40	2.73	
			3.80	14.07	11.04	839.2	83.9	7.72	2.31	103.55	19.94	2.71	
	75	25	4.18	15.35	12.05	909.3	90.9	7.70	2.30	111.20	21.40	2.69	
			4.76	17.26	13.55	1012.8	101.2	7.66	2.30	123.17	23.67	2.67	
			1.90	8.65	6.79	821.8	65.7	9.75	2.42	84.18	13.85	3.12	
			2.28	10.31	8.09	973.7	77.9	9.72	2.42	94.87	16.26	3.10	
			2.66	11.95	9.38	1121.9	89.7	9.69	2.42	112.94	18.57	3.07	
250	85	25	3.04	13.56	10.65	1266.7	101.3	9.66	2.41	126.41	20.77	3.05	
			3.42	15.16	11.90	1407.0	112.5	9.63	2.41	139.17	22.85	3.03	
			3.80	16.73	13.13	1543.3	123.4	9.61	2.41	151.29	24.82	3.01	
			4.18	18.27	14.35	1676.1	134.0	9.58	2.40	162.82	26.70	2.98	
			4.76	20.59	16.17	1872.5	149.8	9.54	2.40	180.43	29.56	2.96	
			1.90	9.60	7.53	1262.6	84.1	11.47	2.19	88.82	14.09	3.04	
			2.28	11.45	8.99	1497.4	99.8	11.44	2.19	104.33	16.54	3.02	
300	85	25	2.66	13.28	10.42	1727.2	115.1	11.41	2.19	119.19	18.88	3.00	
			3.04	15.08	11.84	1952.0	130.1	11.38	2.19	133.41	21.13	2.97	
			3.42	16.87	13.24	2170.5	144.7	11.34	2.18	146.88	23.25	2.95	
			3.80	18.63	14.62	2383.4	158.8	11.31	2.18	159.68	25.26	2.93	
			4.18	20.36	15.99	2591.1	172.7	11.28	2.18	171.87	27.18	2.91	
			4.76	22.97	18.03	2899.0	193.2	11.23	2.17	190.41	30.09	2.88	

(fonte: Catálogo GERDAU, 2015, p. 1)

8.3 MONTAGEM DA ESTRUTURA DE AÇO

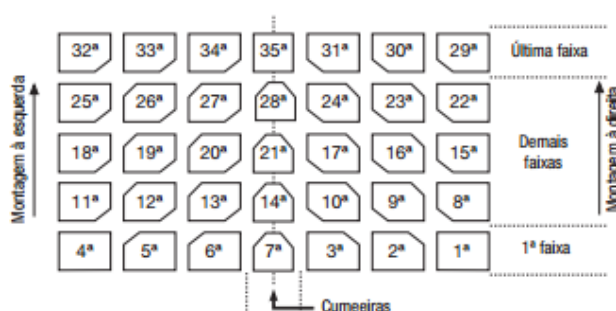
A montagem da estrutura de aço tem como característica principal a rapidez na execução. Seguindo os dados de projeto, faz-se um bom planejamento de montagem o qual engloba: o melhor acesso à obra, os equipamentos que serão utilizados, soluções práticas e econômicas que atendam todas as atividades a serem realizadas para a produção e disponibilidade de todo material previsto no canteiro de obras.

O processo de montagem deverá obedecer ao projeto e um planejamento de execução da obra, o qual deve conter as operações de descarga, armazenamento, içamento vertical e montagem. No caso, as tesouras chegam já montadas no canteiro de obras, com as terças isoladas para posterior montagem. As figuras 1 e 2 do apêndice C ilustram as operações de içamento e montagem.

Primeiramente é feita a fixação de uma placa de aço, engastada em cada pilar, em seguida é feito o içamento das tesouras, as quais serão fixadas na placa de aço com parafusos chumbadores do tipo parabolt com comprimento de $\frac{1}{2}$ " para 4". Após toda a estrutura de tesouras montada, é feito o contraventamento conforme o projeto, finalizando com a instalação das telhas e cumeeiras.

A execução da fixação das telhas deve ser executada de baixo para cima, ou seja, do beiral para a cumeeira, a perfeita instalação e estética da cobertura, é o resultado da perpendicularidade das faixas às terças, do alinhamento das fiadas e do uso do método dos cantos cortados, onde os cantos das telhas intermediárias são cortados em diagonal, para evitar a entrada de luz e água e também evitar deformações nestas telhas. A figura 18 ilustra a montagem da cobertura.

Figura 18: montagem da cobertura



(fonte: BRASILIT, 2015, p. 6)

8.4 CUSTO DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE

O custo da produção da estrutura metálica, assim como foi visto na estrutura de madeira varia conforme os perfis adotados para projeto. Analogamente, este custo oscila com a demanda no setor da construção, sujeito à sofrer as mesmas variações.

O transporte dessas estruturas normalmente é executado sobre carretas, as peças deverão possuir pesos e dimensões compatíveis com a capacidade do veículo.

A tabela 4 descreve o custo do carregamento e transporte por distância do local de produção e montagem das estruturas até o canteiro de obras. É calculado o custo do kg (aço), geralmente esta produção é feita em Porto Alegre, haja visto existirem distribuidores com os perfis de aço, com bitolas comerciais, reduzindo o custo do km rodado.

Tabela 4: custo de carregamento e transporte de estruturas de aço (kg)

Distância (km)	Peso (kg)	Valor R\$ (kg)	Total R\$
10	1000	0,30	300,00
20	2000	0,25	500,00
30	3000	0,20	600,00
40	4000	0,20	800,00
50	5000	0,20	1.000,00
60	6000	0,20	1.200,00
70	7000	0,20	1.400,00
80	8000	0,20	1.600,00
90	9000	0,20	1.800,00
100	10000	0,20	2.000,00

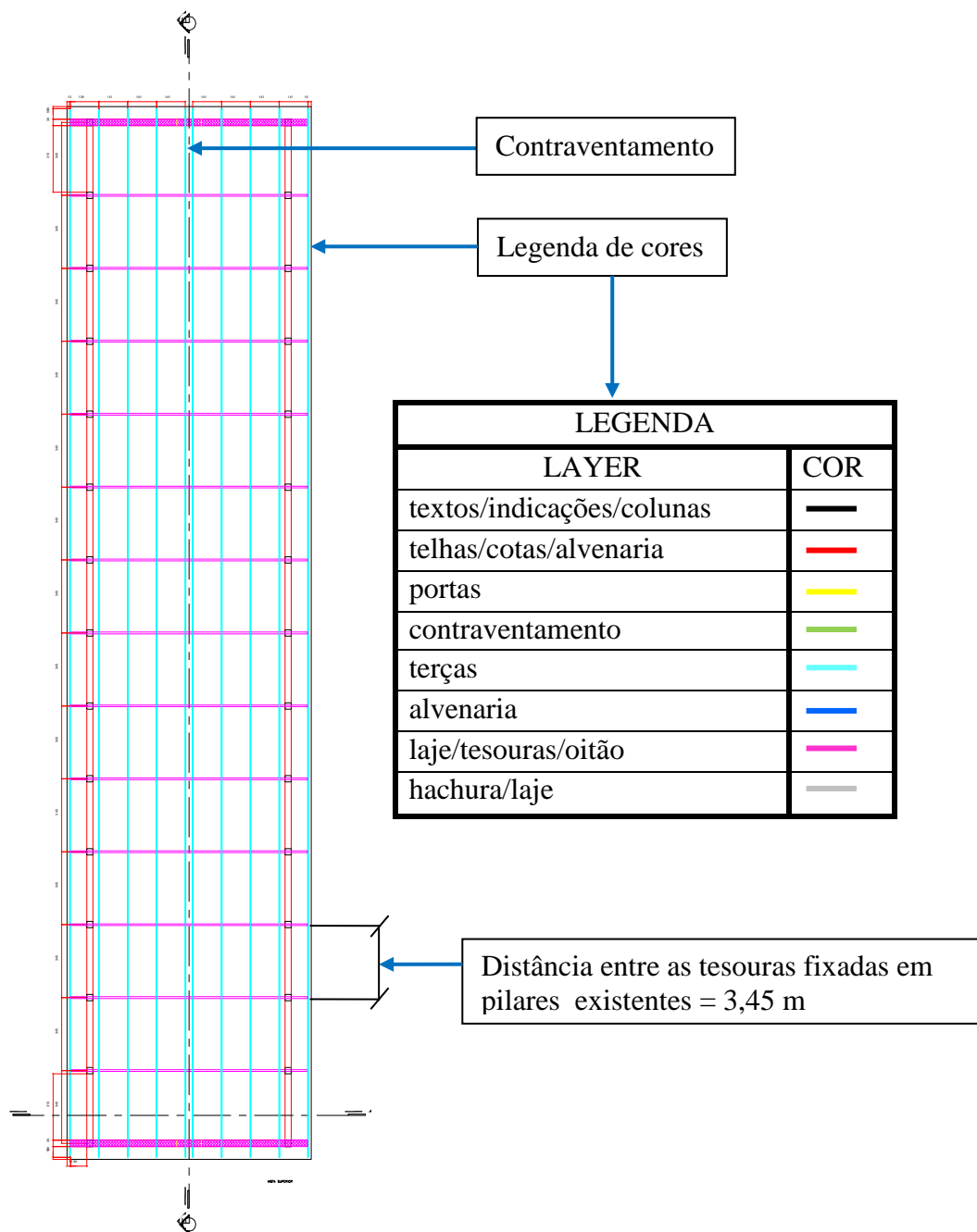
(fonte: elaborado pelo autor)

A estrutura de aço do projeto possui 4.350 kg de aço ASTM A 36.

9 PROJETO DE ESTRUTURA DE MADEIRA

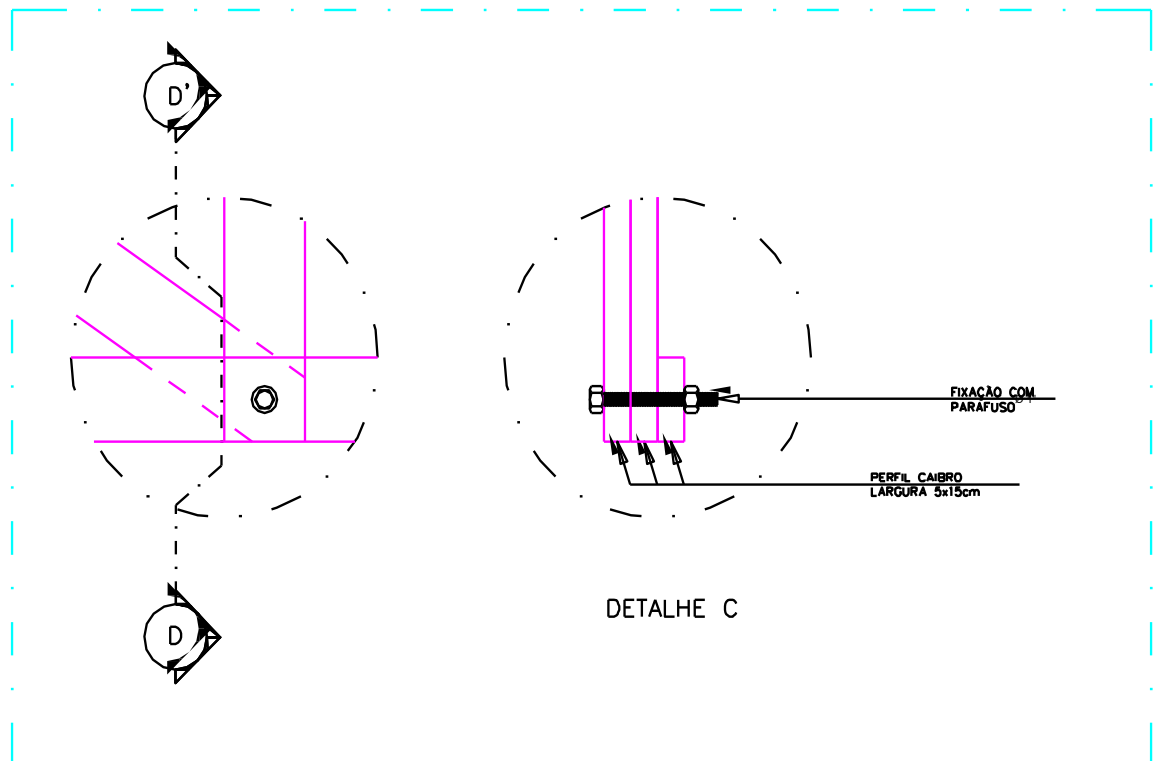
A figura 19 ilustra o projeto da estrutura de madeira, composta de treze tesouras, 10 terças, contraventamento e cobertura. O Apêndice A apresenta o projeto de estrutura de madeira.

Figura 19: projeto da estrutura de madeira



(fonte: elaborado pelo autor)

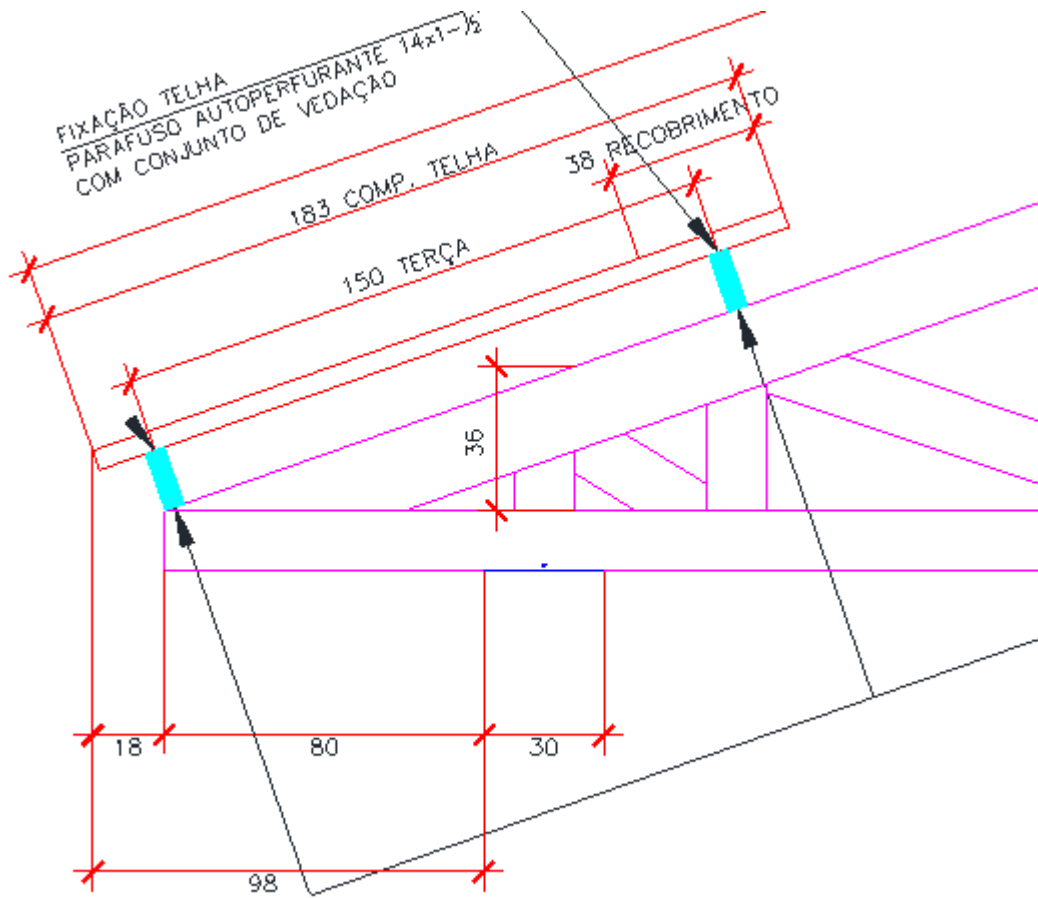
Figura 21: detalhe C da tesoura de madeira



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 22 mostra os detalhes da cobertura na estrutura de madeira, com fixação da telha de fibrocimento de 6 mm em terças apoiadas nas tesouras treliçadas.

Figura 22: detalhe da fixação das telhas

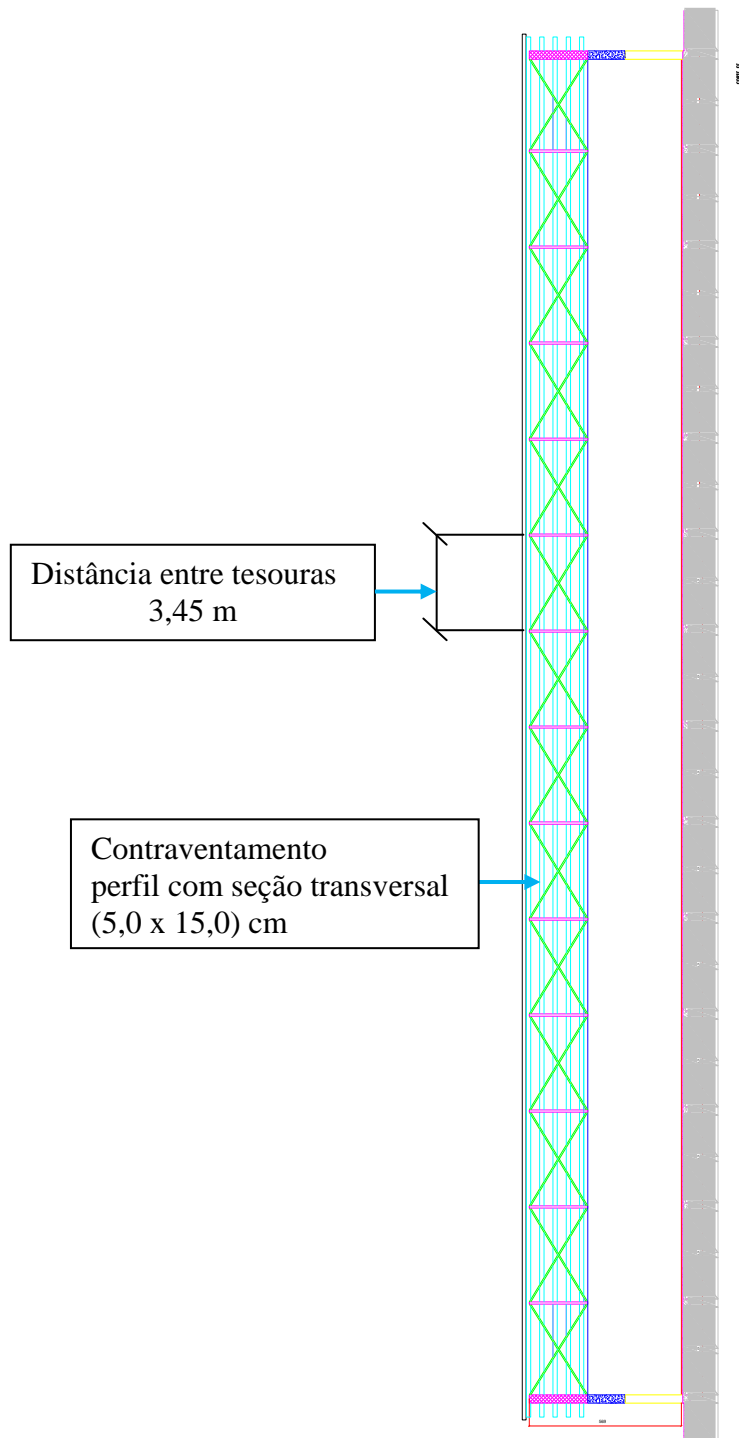


(fonte: elaborado pelo autor)

9.2 CONTRAVENTAMENTO

A figura 23 mostra os detalhes do contraventamento da estrutura de madeira.

Figura 23: contraventamento da estrutura de madeira



(fonte: elaborado pelo autor)

9.3 PROJETO DESCRITIVO ESTRUTURA DE MADEIRA

Apresenta-se a seguir o projeto da estrutura de madeira proposta.

9.3.1 Objetivo e considerações preliminares

A presente especificação trata da elaboração do Projeto Arquitetônico para a nova cobertura do Pavilhão de baias, localizado no terreno do 3º Regimento de Cavalaria de Guarda de Porto Alegre, situado na Av. Salvador França, nº 201 em Porto Alegre, RS.

O Projeto Arquitetônico elaborado visa à substituição da cobertura de um pavilhão de alvenaria atualmente de telhas cerâmicas apoiadas em estrutura de madeira, por uma nova cobertura de telhas fibrocimento, apoiadas em uma estrutura de madeira de duas águas em forma de tesoura e fixada sobre viga de contorno existente.

Área interna total de 664,71 m² e área de projeção 702,72 m².

A edificação é composta por um pavimento térreo em alvenaria de tijolo e colunas de concreto armado a cada três metros, sendo que a parte superior da alvenaria possui viga de concreto armado em todo perímetro.

Para execução do projeto, o presente memorial descritivo não limita a aplicação de técnica, experiência e mão de obra qualificada para execução, indicando às condições necessárias as quais deverão obrigatoriamente atender às normas e especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), quanto a sua execução e aos materiais empregados.

9.3.2 Considerações preliminares

Nestas especificações fica esclarecido que só é permitido o uso de materiais ou equipamentos similares aos especificados, se rigorosamente equivalentes, isto é, se desempenharem idênticas funções construtivas e apresentarem as mesmas características formais e técnicas. Os serviços e materiais devem seguir as normas e métodos pertinentes da ABNT.

9.3.3 Serviços preliminares

Os serviços preliminares estão discriminados nos itens subsequentes.

9.3.3.1 Introdução

Este memorial descritivo refere-se aos procedimentos básicos que devem ser tomados para a execução das obras civis referente à reforma do telhado. Todos os procedimentos de execução devem obedecer às normas técnicas vigentes, seguindo conceitos da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) e qualquer alteração no processo de execução ou alteração no projeto deverá ser comunicada (por escrito) a fiscalização da obra para que seja emitido um parecer técnico.

9.3.3.2 Marcação da Obra

A obra deverá ser locada conforme projeto estrutural das treliças. A marcação dos eixos das tesouras treliçadas deverá ser indicada nos gabaritos.

9.3.4 Cobertura

A cobertura é composta por telhas onduladas de fibrocimento, a qual possui qualidade, técnica de produção e facilidade de instalação. Para o projeto foi dimensionado telhas com espessura de 6 mm, comprimento da primeira fileira (beiral) de 1,83 m e as demais, três fileiras com telhas de 1,83 m de comprimento também, em ambas as águas. Além da facilidade na execução, estas telhas onduladas segundo o catálogo técnico da BRASILIT (2015, p. 2) possuem as seguintes características:

Peso específico: 1600 kg/m³ •

Absorção de água: 25% a 30% •

Peso para cálculo: 5 mm = 16 kg/m²

6 mm = 18 kg/m²

8 mm = 24 kg/m² •

Incluídos: absorção de água, recobrimento e fixações. •

Dilatação por absorção de água (saturado/seco estufa): aproximadamente 3 mm/m •

Módulo de elasticidade: 5 GPa •

Resistência à flexão – atende à Norma NBR 15210 (resistência mínima telha saturada):

5 mm = classe C6 (2500 N/m)

6 mm = classe C7 (3300 N/m)

8 mm = classe C8 (4250 N/m) •

Tolerâncias dimensionais: Espessura = ± 10%, mas não superior a ± 0,6 mm

Comprimento = ± 10 mm Largura = + 10 ou – 5 mm •

Condutibilidade térmica: 0,35 W/mK (média entre 20 °C e 70 °C) •

Dilatação térmica: 0,01 mm/m °C •

Resistência ao calor: ciclos alternados de aquecimento de até 100 °C e resfriamento à temperatura ambiente não danificam o material. •

Resistência a agentes químicos: elevada resistência a agentes químicos neutros ou alcalinos. •

Resistência à corrosão: imune a processos de corrosão e oxidação. •

Isolamento acústico: bom comportamento acústico com grande atenuação do ruído de chuvas. •

Incombustibilidade: a telha é incombustível. •

Resistência biológica: não prolifera fungos ou bactérias devido a sua matriz alcalina.

As especificações quanto ao comprimento e peso estão discriminados no quadro 6.

Quadro 6: especificações telhas onduladas

Comprimento (m)	Espessura / Largura					
	5 mm		6 mm		8 mm	
	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
	0,92	1,10	0,92	1,10	0,92	1,10
1,22	11,5	13,5	13,8	16,3	18,4	21,7
1,53	14,4	17,0	17,3	20,4	23,0	27,2
1,83	17,2	20,3	20,6	24,4	27,5	32,5
2,13	20,0	23,6	24,0	28,4	32,0	37,9
2,44	22,9	27,1	27,5	32,5	36,7	43,4
3,05	-	-	34,4	40,7	-	54,0
3,66	-	-	-	48,8	-	65,0

(fonte: BRASILIT, 2015, p.2)

O número de apoios ou terças para as telhas onduladas, em função do máximo vão livre, varia conforme a espessura e o comprimento da telha. O quadro 7 especifica o número de apoios por telha, sendo que os valores [1,22; 1,53; ... ; 3,66] correspondem ao comprimento da telha em metros.

Quadro 7: número de apoios por telhas

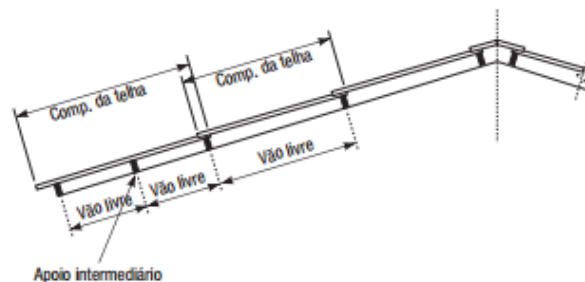
Espessura da telha	Comprimento da telha (m)						
	1,22	1,53	1,83	2,13	2,44	3,05	3,66
5 mm	2	2	2	3	3	–	–
6 mm	2	2	2	3	3	3*	3*
8 mm	2	2	2	2	3	3*	3*

*Estas telhas necessitam de fixação também nos apoios intermediários.

(fonte: BRASILIT, 2015, p. 4)

Logo, o vão livre será dimensionado de acordo com o comprimento da telha, conforme mostrado na figura 24.

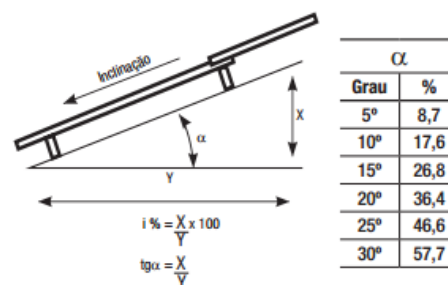
Figura 24: instalação de telhas onduladas



(fonte: BRASILIT, 2015, p. 4)

As telhas onduladas Brasilit apresentam inclinação mínima de 5°, mas para um melhor aproveitamento das telhas é recomendado a inclinação de 15°, a figura 25 mostra a inclinação indicada conforme o ângulo de inclinação α medido em graus.

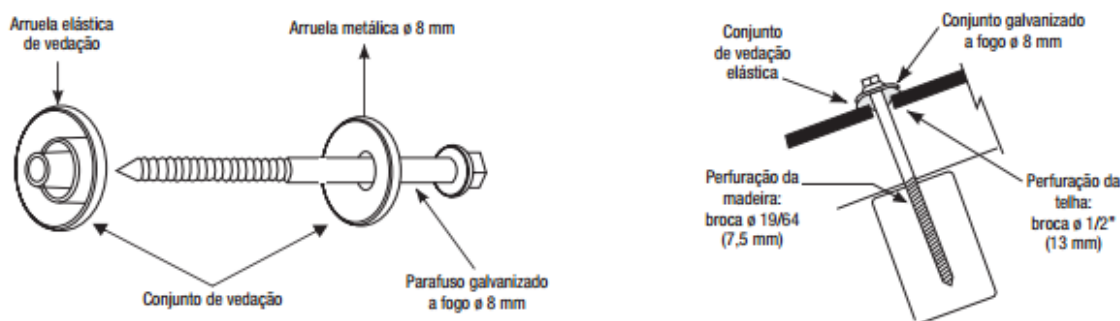
Figura 25: inclinação das telhas



(fonte: BRASILIT, 2015, p. 5)

Para fixação das telhas de fibrocimento na estrutura de madeira são utilizados parafusos de aço sextavado, com diâmetro de 8 mm acompanhado com o conjunto de vedação. A figura 26 demonstra a montagem destas peças.

Figura 26: montagem dos parafusos de fixação



(fonte: BRASILIT, 2015, p. 8)

As cumeeiras são peças utilizadas para cobrir o encontro de duas águas do telhado. A escolha da cumeeira a ser utilizada é feita de acordo com a inclinação do telhado, conforme mostrado no quadro 8 que especifica o diâmetro das cumeeiras conforme a inclinação. Cabe destacar que a cota A [mm] representa uma medida do comprimento de meia cumeeira no plano inclinado conforme ilustrado na figura 27.

Quadro 8: inclinação das cumeeiras

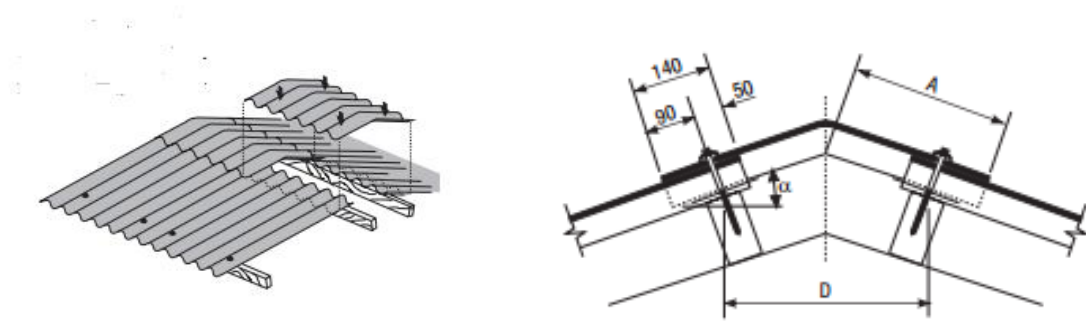
Inclinação α	D (mm)	
	A = 300	A = 400
5°(*)	418	–
10°	414	611
15°	406	599
20°	395	583
25°	381	–
30°	364	–

*Para telhas de e = 6 e 8 mm.

(fonte: BRASILIT, 2015 p. 9)

A fixação das cumeeiras é feita conforme ilustrado na figura 27.

Figura 27: fixação das cumeeiras



(fonte: BRASILIT, 2015 p. 9)

9.3.5 Estrutura de madeira

O material utilizado na estrutura de madeira, é o *Eucalyptus Citriodora*, são peças de madeira serrado a composta de vigas e caibros para montagem das tesouras e instalação das terças.

As tesouras treliçadas em madeira devem seguir a geometria indicada no projeto, obedecendo a uma inclinação de 20 graus nas duas direções.

O dimensionamento da estrutura, incluindo tesouras treliçadas e terças, é executado conforme as especificações do projeto, seguindo a NBR 7190/97.

Todas as peças em madeira devem receber fundo protetor contra intempéries e cupim, além de pintura em tinta esmalte na cor branca.

9.4 DADOS DO PROJETO

Os dados do projeto para execução da estrutura de madeira estão apresentados na sequência.

Madeira: *Eucalyptus*, propriedades conforme tabela 6.

Tabela 6: Valores médios de propriedades da madeira *Eucalyptus Citriodora*

Nome científico	Dap (12 %) (kg/m ²)	F _{c0} MPa	F _v MPa	E _{c0} MPa	n	ρ _{bas,m} (kg/m ³)	ρ _{ap,m} (kg/m ³)
<i>Eucalyptus Citriodora</i>	999	62,0	10,7	18421	68	750	950

(fonte: NBR 7190/97 – Adaptada)

- Tesouras (seção transversal) - Banzo superior: (8 x 20) cm

- Banzo inferior: (5 x 15) cm

- Montante: (5 x 15) cm

- Diagonal: (5 x 15) cm

- Terças (seção transversal) – (5 x 15) cm

- Telhas Fibrocimento 6 mm Brasilit - (1,83 x 1,10) m

- Cumeeiras de fibrocimento 6 mm - 1 m

No quadro 9 a seguir estão especificados os materiais, quantidades e custo da estrutura de madeira.

Quadro 9: Custo da estrutura de Madeira

Material (cm)	Quant	Unidade	R\$ (unid)	Valor R\$	Total R\$
Tesoura					
Vigas 8 x 20	156	m	20,57	3.208,92	6.679,92
Caibros 5 x 15	390	m	8,90	3.471,00	
Terças					
Caibros 5 x 15	480	m	8,90	4.272,00	4.272,00
Contraventamento					
Caibro 5 x 15	125	m	8,90	1.112,50	1.112,50
Guincho	4	h	200,00	600,00	600,00
Pregos	10	kg	9,90	9,90	
Parafusos com vedação	960	pç (11 cm)	0,55	0,55	2.112,10
Chapa perfil U (para tesouras)	13	pç	45,70	45,70	
Telhas	384	pç 1,83 m ²	37,90	37,90	14.553,60
Cumeeiras	48	pç 1,00 m	31,90	31,90	1.531,20
MO *				11.400,00	11.400,00
				TOTAL	42.261,32

(fonte: elaborado pelo autor)

MO * - Na mão de obra tabelada está inclusa a instalação de telhas e cumeeiras como também o fundo protetor contra cupim e a pintura em tinta esmalte na estrutura.

O tempo de execução dos serviços discriminados, ou seja, da execução da estrutura de madeira é de quatro semanas ou vinte dias úteis.

9.5 MEMORIAL DE CÁLCULOS DAS REAÇÕES E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE MADEIRA

A estrutura do telhado do projeto possui as seguintes dimensões: 11,60 m de frente, 48 m de comprimento e 2,04 m de altura.

As cargas consideradas para fins de dimensionamento são as cargas permanentes (peso próprio), as sobrecargas e as cargas de ventos.

Os materiais utilizados são perfis de madeira *Eucalyptus Citriodora* (madeira de eucalipto serrada).

Todo projeto em madeira foi baseado nos anexos da Norma Brasileira (ABNT), para Projeto de Estruturas de Madeira, a NBR 7190/97.

As treliças foram dimensionadas para suportar as terças sobre seus montantes. São compostas por perfis com seção transversal 8 x 20 cm, no banzo superior, 5 x 15 cm no banzo inferior, montantes e diagonais. As ligações entre as barras da treliça são pregadas e aparafusadas, e a treliça é apoiada em pilar de concreto existente, fixada sob chapa em aço de topo engastadas nos pilares com chumbador parabolt de ½” para 4”. Os esforços em cada elemento da tesoura (treliça) podem ser obtidos aplicando-se o método dos nós.

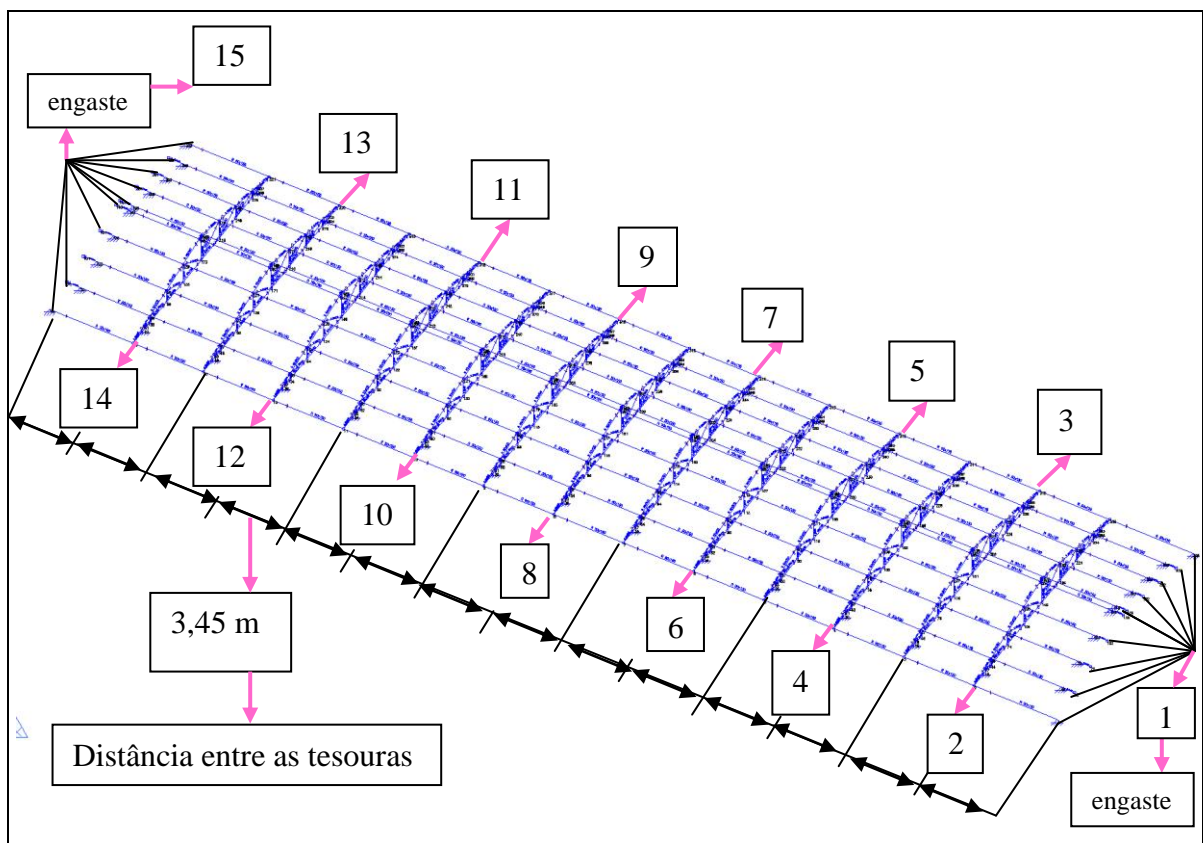
Em cada lateral da edificação são executados, a cada 3 metros, pilares com dimensões [40 x 40] cm de concreto que tem a função de descarregar a carga do telhado. Sobre esses pilares é executada uma viga de concreto [40 x 30] cm em todo o perímetro da edificação. Sobre cada dupla de pilar é fixada uma tesoura de modo que o vão entre tesoura resulte em 3 metros, que corresponde ao máximo vão admissível de uma terça de madeira. Estabelecido o comprimento das terças é possível definir a carga distribuída na mesma. Cabe destacar que não é necessária

verificação da flambagem lateral por torção, uma vez que as terças estão travadas pelos parafusos das telhas.

As telhas foram dimensionadas conforme as características técnicas existentes no catálogo da BRASILIT.

A determinação das reações e o dimensionamento dos perfis da estrutura de madeira foram realizados, utilizando um modelo numérico, desenvolvido no programa Cypecad Metálicas 3D Clássico 2012, da CYPE Engenheiros S.P.A. A figura 28 ilustra a representação esquemática da estrutura de madeira dimensionada para a carga permanente e sobrecarga.

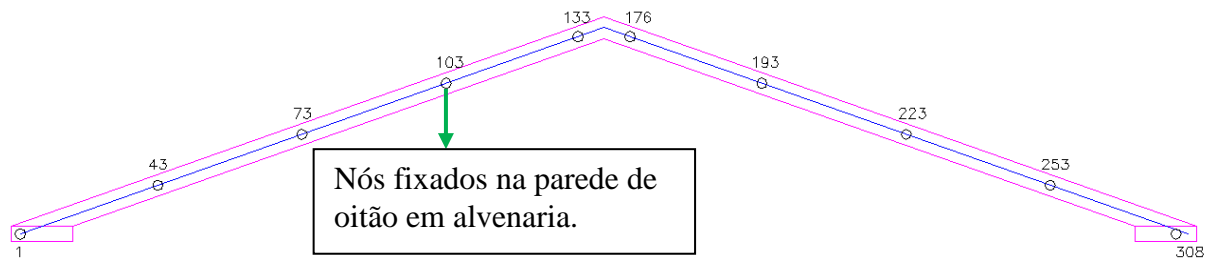
Figura 28: representação esquemática da estrutura de madeira



(fonte: elaborado pelo autor)

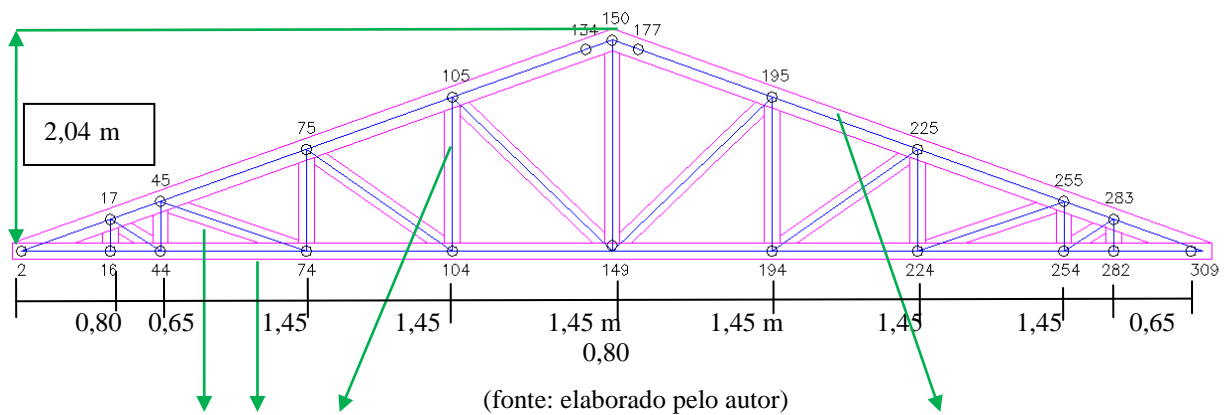
As figuras 29 a 43 ilustram as tesouras de madeira com os respectivos números representando os nós, seguida das planilhas de cálculo.

Figura 29: nós fixados no oitão de alvenaria



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 30: tesoura de madeira 1 com respectivos números dos nós



Diagonal/Montante/Banzo inferior
Seção transversal
(15,0 x 5,0) cm

Banzo superior
Seção transversal
(20,0 x 8,0) cm

Figura 31: tesoura de madeira 2 com respectivos números dos nós

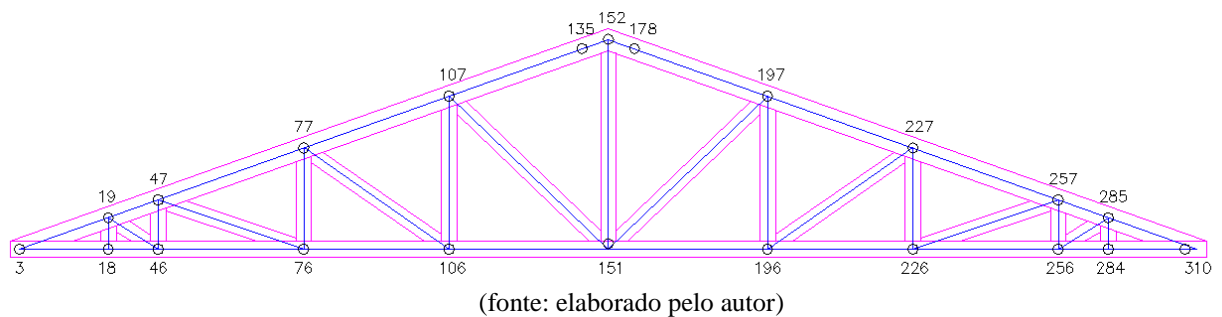
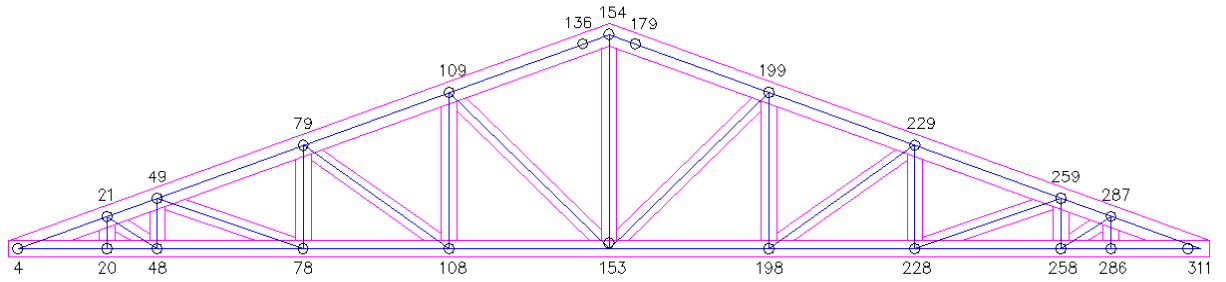
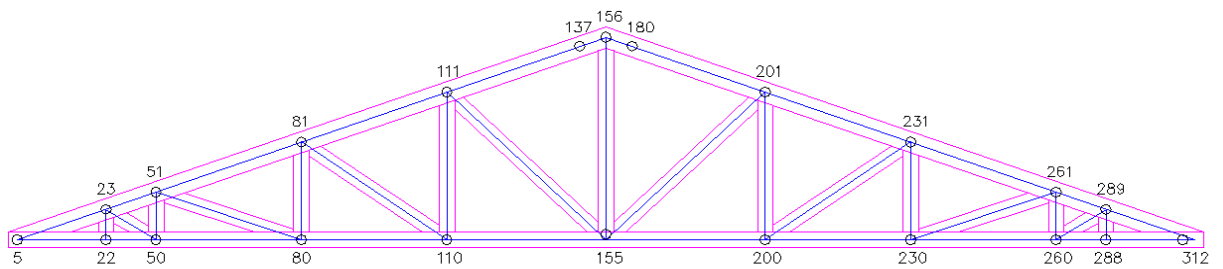


Figura 32: tesoura de madeira 3 com respectivos números dos nós



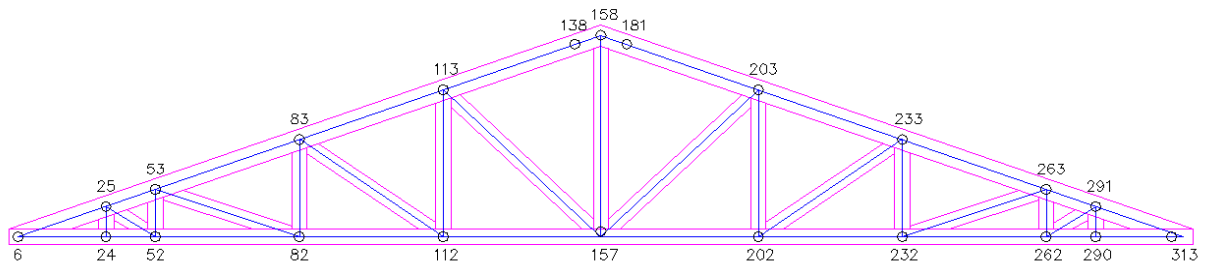
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 33: tesoura de madeira 4 com respectivos números dos nós



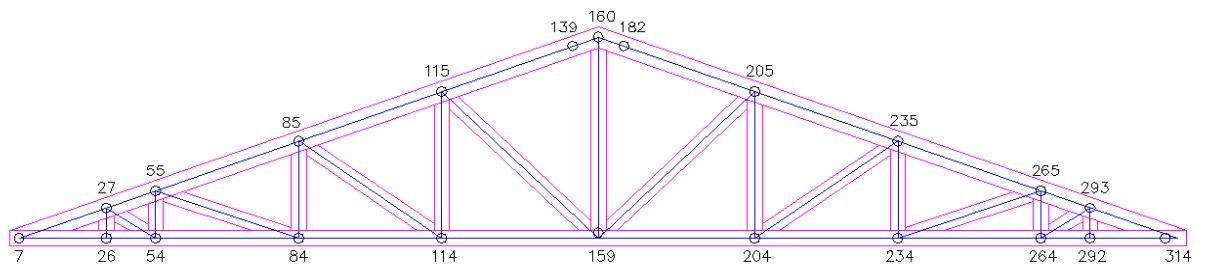
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 34: tesoura de madeira 5 com respectivos números dos nós



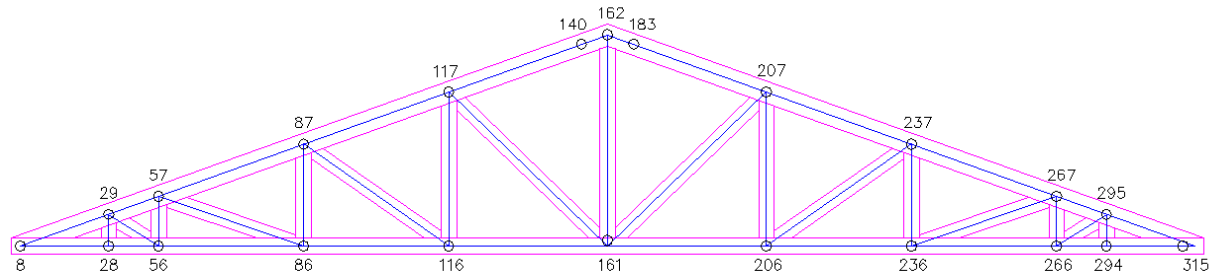
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 35: tesoura de madeira 6 com respectivos números dos nós



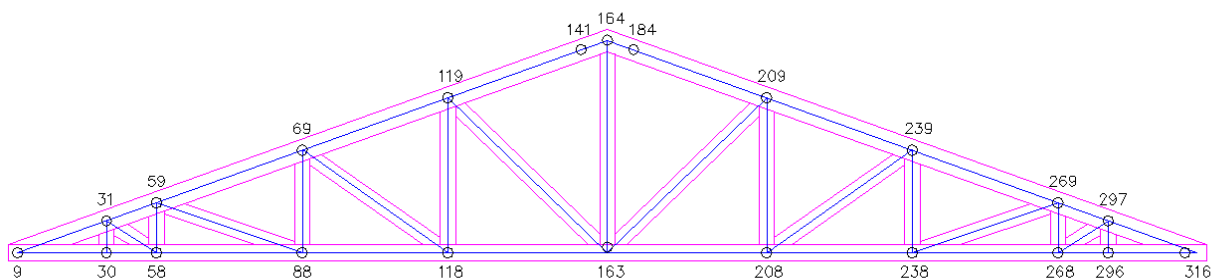
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 36: tesoura de madeira 7 com respectivos números dos nós



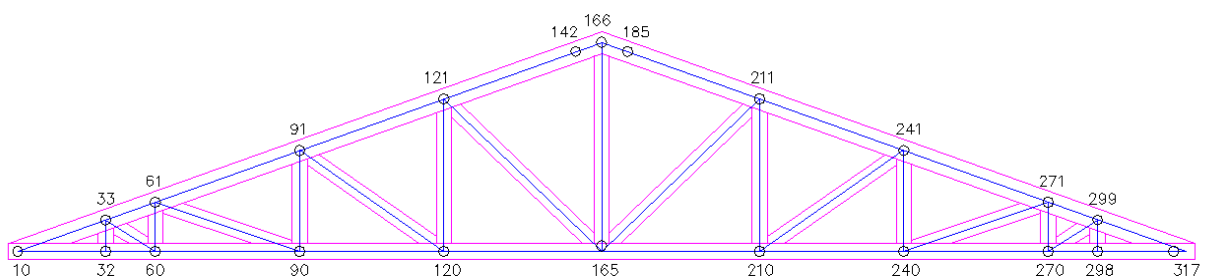
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 37: tesoura de madeira 8 com respectivos números dos nós



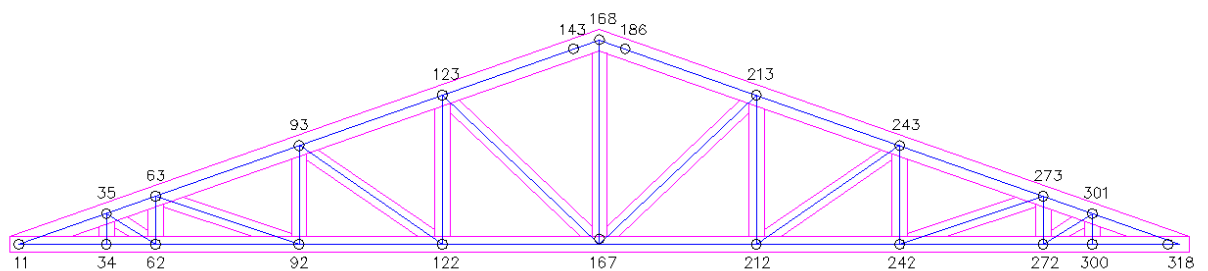
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 38: tesoura de madeira 9 com respectivos números dos nós



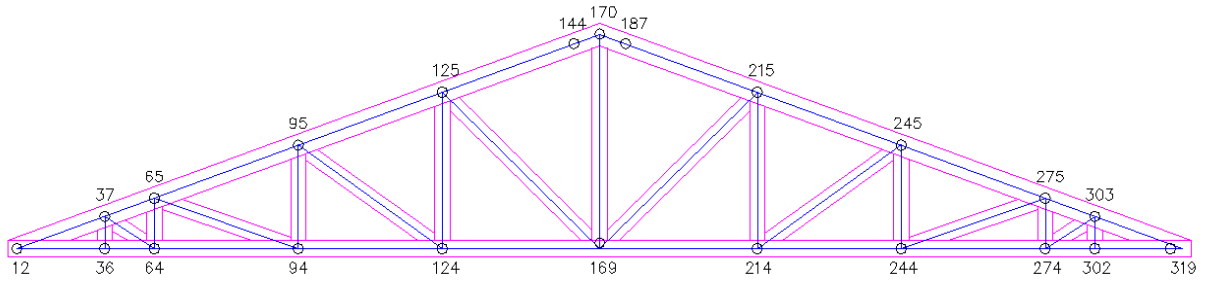
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 39: tesoura de madeira 10 com respectivos números dos nós



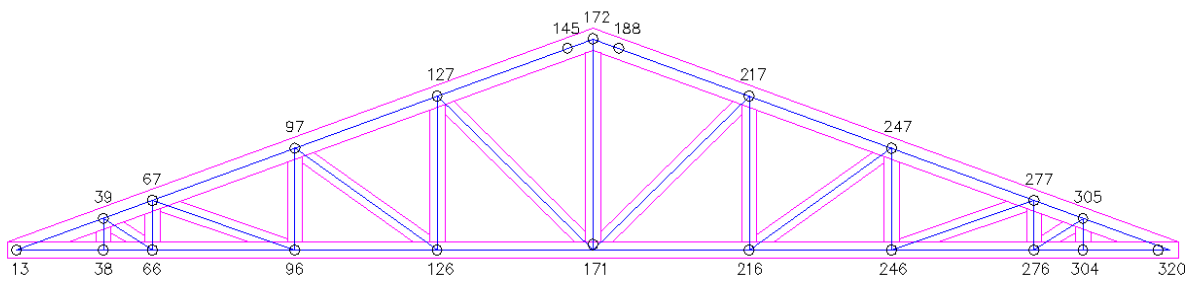
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 40: tesoura de madeira 11 com respectivos números dos nós



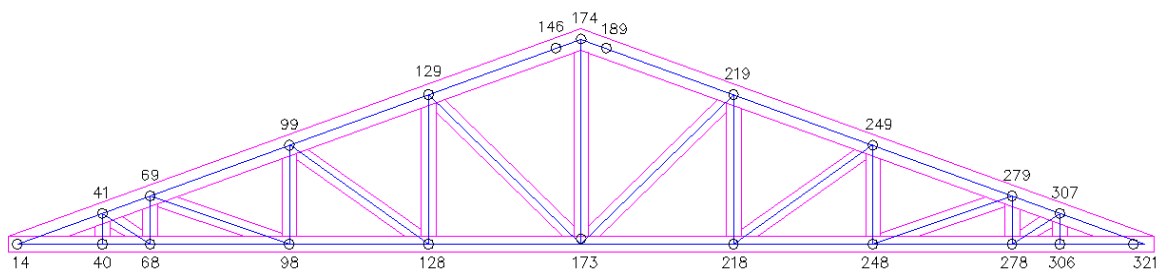
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 41: tesoura de madeira 12 com respectivos números dos nós



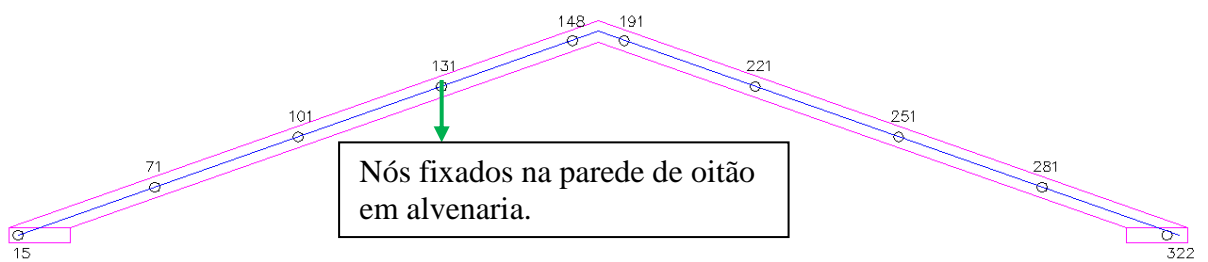
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 42: tesoura de madeira 13 com respectivos números dos nós



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 43: nós fixados no oitão de alvenaria



Nós fixados na parede de oitão em alvenaria.

(fonte: elaborado pelo autor)

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios discriminados nos quadros 10.

Quadro 10: identificação de coeficientes e variáveis

<p>E.L.U. Madeira: NBR 7190</p> <p>- Situações permanentes ou transitórias</p> <p>- Situações sísmicas</p> <p>- Combinações acidentais</p> <p>- Onde:</p> <p>G_k Ação permanente</p> <p>Q_k Ação variável</p> <p>A_E Ação sísmica</p> <p>A_d Ação acidental</p> <p>γ_G Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes</p> <p>$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de segurança da ação variável principal</p> <p>$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de segurança das ações variáveis de acompanhamento</p> <p>γ_{AE} Coeficiente parcial de segurança da ação sísmica</p> <p>γ_{Ad} Coeficiente parcial de segurança da ação acidental</p> <p>$\psi_{p,1}$ Coeficiente de combinação da ação variável principal</p> <p>$\psi_{a,i}$ Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento</p>
--

(fonte: elaborado pelo autor)

O quadro 11 apresenta três situações para os valores de coeficientes de segurança, os quais serão aplicados nos cálculos das reações para verificação dos valores.

Quadro 11: valores dos coeficientes

Situação 1				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	1.000	1.300	-	-
Sobrecarga (Q - Uso 1)	0.000	1.400	1.000	0.400
Sobrecarga (Q - Uso 2)	0.000	1.400	1.000	0.700
Sobrecarga (Q - Uso 3)	0.000	1.400	1.000	0.800
Vento (Q)	0.000	1.400	0.750	0.500
Neve (Q)	0.000	1.400	1.000	1.000
Empuxos do terreno (H)	1.000	1.300	-	-

Situação 2				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	1.000	1.100	-	-
Sobrecarga (Q - Uso 1)	0.000	1.000	0.400	0.400
Sobrecarga (Q - Uso 2)	0.000	1.000	0.700	0.700
Sobrecarga (Q - Uso 3)	0.000	1.000	0.800	0.800
Vento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Neve (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Empuxos do terreno (H)	1.000	1.100	-	-
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.000

Situação 3				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	1.000	1.100	-	-
Sobrecarga (Q - Uso 1)	0.000	1.000	0.400	0.400
Sobrecarga (Q - Uso 2)	0.000	1.000	0.700	0.700
Sobrecarga (Q - Uso 3)	0.000	1.000	0.800	0.800
Vento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Neve (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Empuxos do terreno (H)	1.000	1.100	-	-
Acidental (A)	1.000	1.000	-	-

(fonte: elaborado pelo autor)

9.5.1 Nós

Para a obtenção dos dados referentes ao tipo de nó e conectividades se empregou o software Cypecad Metálicas 3D Clássico 2012, da CYPE Engenheiros S.P.A. para uma análise completa. Optou-se em apresentar apenas a relação nós engastados ilustrados nas figuras de

29 a 43, conforme quadro 12. Estes nós estão engastados na viga de concreto que contorna todo o perímetro da edificação.

Quadro 12: nós engastados

Nós	Ligações
16,18,20,22,24,26,28,30,32,34,36,38,40,282,284,286,288,290,292,294,296,298 300,302,304,306	Engastado

(fonte: elaborado pelo autor)

9.5.2 Barras: Características Mecânicas

As propriedades geométricas das seções transversais dos perfis de madeira estão apresentadas no quadro 13.

Quadro 13: propriedades geométricas dos perfis de madeira

Descrição	Inércia Torção cm ⁴	Inércia y cm ⁴	Inércia z cm ⁴	Seção cm ²
Madeira, R 50x150 (R)	493.125	1406.250	156.250	75.000
Madeira, R 80x200 (R)	2519.040	5333.333	853.333	160.000

(fonte: elaborado pelo autor)

9.5.3 Materiais empregados nas barras

As características mecânicas do Eucalipto estão descritas no quadro 14.

Quadro 14: características mecânicas do *Eucalyptus*

Material	Módulo elasticidade E(MPa)	Módulo elasticidade transversal G(MPa)	Limite elasticidade fck (kgf/cm ²)	Coefficiente de dilatação (m/m°C)	Peso específico (kg/m ³)
Madeira (Eucalipto Serrado)	3498	175	-	5e-006	850

(fonte: elaborado pelo autor)

9.5.4 Seções transversais das barras

As barras ilustradas nas figuras 26 a 40 das treliças são de madeira (Eucalipto Serrado) com seção transversal [5 x 15] cm e [8 x 20] cm. Com o auxílio do software Cypecad Metálicas, calculou-se o quantitativo de material correspondente a cada perfil.

9.5.5 Barras: Resumo dos Quantitativos

O resumo dos quantitativos dos perfis foram retirados das planilhas de cálculos do Software empregado conforme quadro 15.

Quadro 15: resumo dos quantitativos

Descrição		Comprimento (m)			Material
		Perfil	Perfil	Série	
Serrada (eucalipto)	R	R 50x150	2608.21	869.49	1024.97
		R 80x200	995.02	155.48	
					1024.97
					1024.97

(elaborado pelo autor)

9.5.6 Cargas (Barras)

Para a verificação das cargas nas barras o programa Cyber fornece as planilhas que descreve cada barra da estrutura. As cargas consideradas são as cargas permanentes, as sobrecargas e as cargas de vento.

9.5.7 Reações

A tabela 7 apresenta as reações obtidas nos engastes.

Tabela 7: cálculo das reações

Nós	Descrição	REAÇÕES (EIXOS GLOBAIS)					
		RX (t)	RY (t)	RZ (t)	MX (t·m)	MY (t·m)	MZ (t·m)
1	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.0837	0.0000	0.0000	0.0000
15	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.0837	0.0000	0.0000	0.0000
16	Envoltória (Fun.equil.)	1.9261	0.0000	1.6036	0.0000	0.0000	0.0000
18	Envoltória (Fun.equil.)	1.8130	0.0000	1.4123	0.0000	0.0000	0.0000
20	Envoltória (Fun.equil.)	1.8237	0.0000	1.4549	0.0000	0.0000	0.0000
22	Envoltória (Fun.equil.)	1.8224	0.0000	1.4451	0.0000	0.0000	0.0000
24	Envoltória (Fun.equil.)	1.8225	0.0000	1.4474	0.0000	0.0000	0.0000
26	Envoltória (Fun.equil.)	1.8225	0.0000	1.4469	0.0000	0.0000	0.0000
28	Envoltória (Fun.equil.)	1.8225	0.0000	1.4470	0.0000	0.0000	0.0000
30	Envoltória (Fun.equil.)	1.8225	0.0000	1.4469	0.0000	0.0000	0.0000
32	Envoltória (Fun.equil.)	1.8225	0.0000	1.4474	0.0000	0.0000	0.0000
34	Envoltória (Fun.equil.)	1.8225	0.0000	1.4452	0.0000	0.0000	0.0000
36	Envoltória (Fun.equil.)	1.8233	0.0000	1.4547	0.0000	0.0000	0.0000
38	Envoltória (Fun.equil.)	1.8147	0.0000	1.4131	0.0000	0.0000	0.0000
40	Envoltória (Fun.equil.)	1.9186	0.0000	1.6002	0.0000	0.0000	0.0000
43	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1964	0.0000	0.0000	0.0000
70	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1964	0.0000	0.0000	0.0000
73	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1976	0.0000	0.0000	0.0000
100	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1976	0.0000	0.0000	0.0000
103	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1658	0.0000	0.0000	0.0000
130	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1922	0.0000	0.0000	0.0000
133	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1221	0.0000	0.0000	0.0000
147	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0000	0.1220	0.0000	0.0000	0.0000
176	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1221	0.0000	0.0000	0.0000
190	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1220	0.0000	0.0000	0.0000
193	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1658	0.0000	0.0000	0.0000
220	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1922	0.0000	0.0000	0.0000
223	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1976	0.0000	0.0000	0.0000
250	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1976	0.0000	0.0000	0.0000
253	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1964	0.0000	0.0000	0.0000
280	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.1964	0.0000	0.0000	0.0000
282	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6811	0.0000	1.6036	0.0000	0.0000	0.0000
284	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6438	0.0000	1.4123	0.0000	0.0000	0.0000
286	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6471	0.0000	1.4549	0.0000	0.0000	0.0000
288	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6467	0.0000	1.4451	0.0000	0.0000	0.0000
290	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6467	0.0000	1.4474	0.0000	0.0000	0.0000
292	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6467	0.0000	1.4469	0.0000	0.0000	0.0000
294	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6467	0.0000	1.4470	0.0000	0.0000	0.0000
296	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6467	0.0000	1.4469	0.0000	0.0000	0.0000

298	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6467	0.0000	1.4474	0.0000	0.0000	0.0000
300	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6467	0.0000	1.4452	0.0000	0.0000	0.0000
302	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6468	0.0000	1.4547	0.0000	0.0000	0.0000
304	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6450	0.0000	1.4131	0.0000	0.0000	0.0000
306	Envoltória (Fun.equil.)	-0.6758	0.0000	1.6002	0.0000	0.0000	0.0000
308	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.0837	0.0000	0.0000	0.0000
322	Envoltória (Fun.equil.)	0.0000	0.0000	0.0837	0.0000	0.0000	0.0000

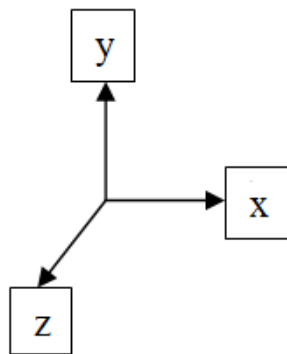
(fonte: elaborado pelo autor)

A Envoltória (Função de equilíbrio) é a pior situação encontrada no cálculo das reações. Um corpo está em equilíbrio quando a resultante de todas as forças e a resultante dos momentos que nele atuam são consideradas nulas. Portanto os resultados obtidos devem verificar:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma M_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_y = 0$$

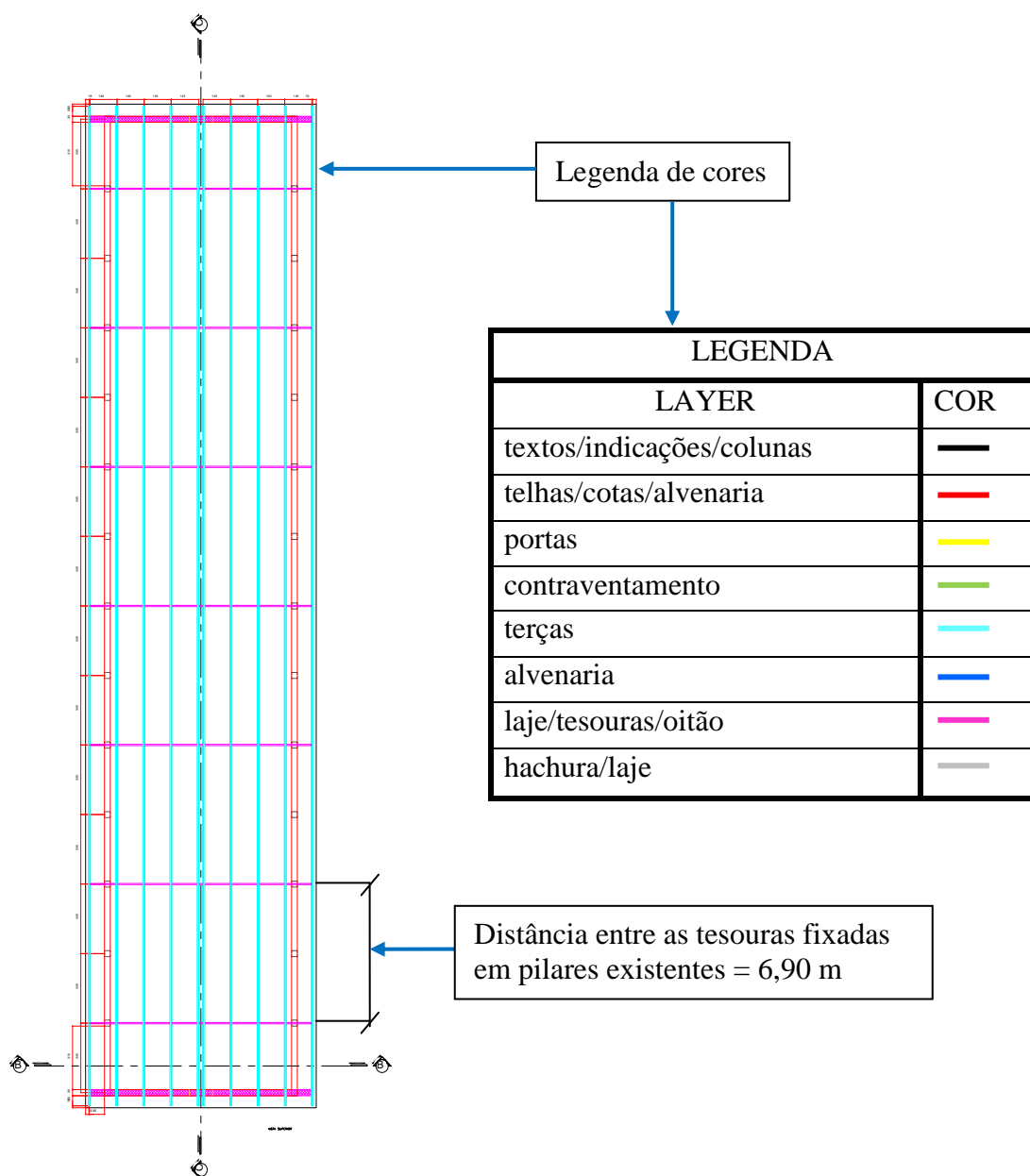
$$\Sigma F_z = 0 \quad \Sigma M_z = 0$$



10 PROJETO DE ESTRUTURA DE AÇO

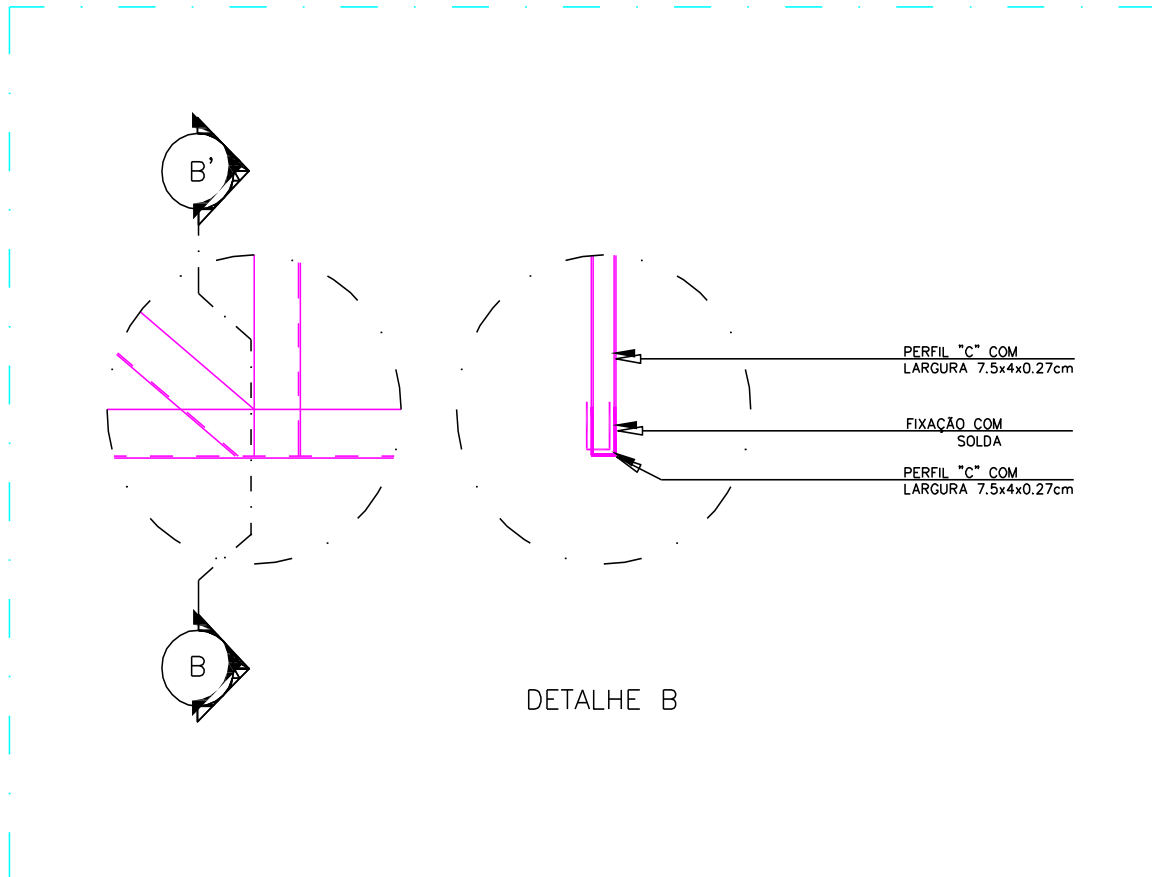
A figura 44 ilustra o projeto da estrutura de aço, composta de sete tesouras, 10 terças, contraventamento e cobertura. O Apêndice B apresenta o projeto de estrutura de aço.

Figura 44: projeto da estrutura de aço



(fonte: elaborado pelo autor)

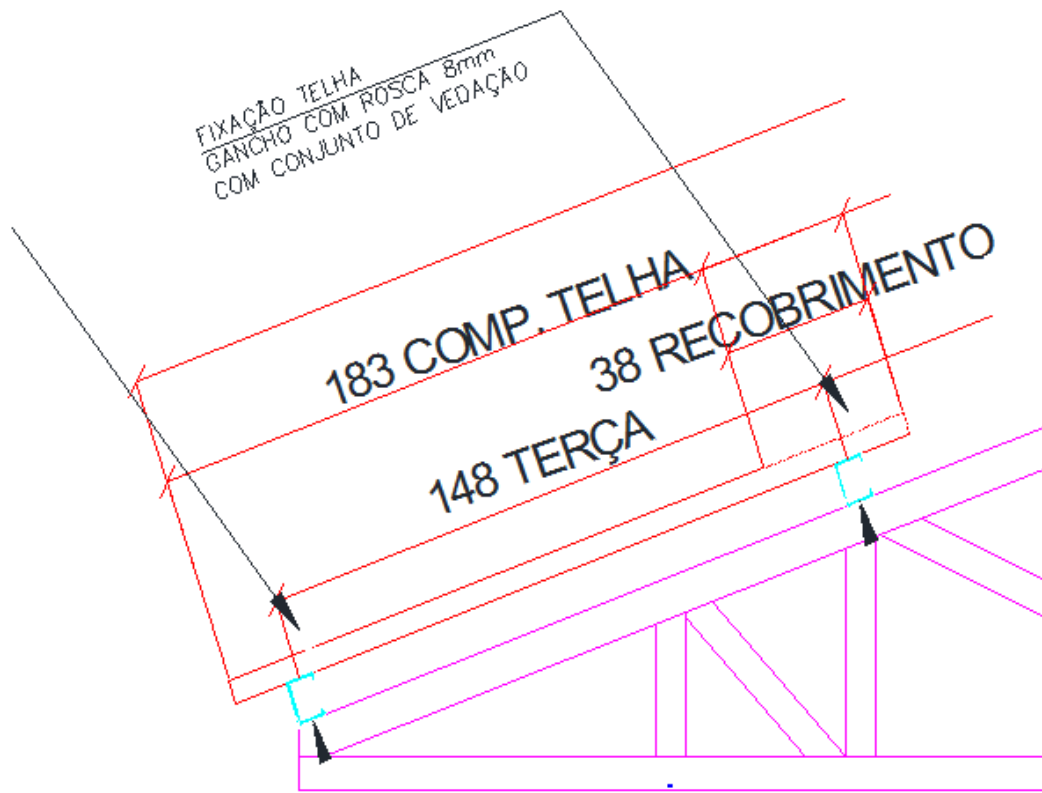
Figura 46: detalhe B da tesoura de aço



(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 47 mostra detalhes da cobertura na estrutura de aço, com fixação da telha de fibrocimento 6 mm em terças em perfil U [10 x 7 x 3] cm apoiadas nas tesouras treliçadas.

Figura 47: detalhe da fixação da telha

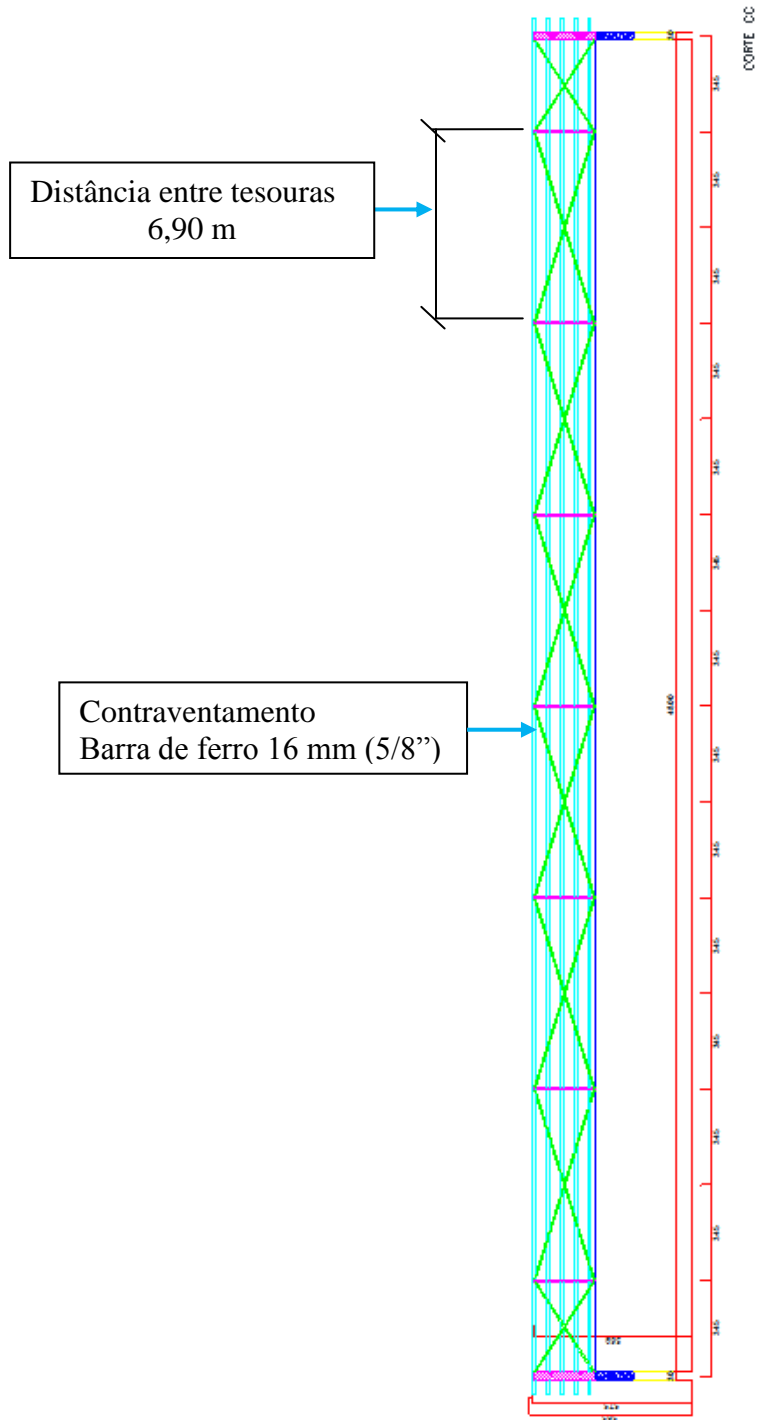


(fonte: elaborado pelo autor)

10.2 CONTRAVENTAMENTO

A figura 48 mostra os detalhes do contraventamento da estrutura de aço.

Figura 48: Contraventamento da estrutura de aço



(fonte: elaborado pelo autor)

10.3 PROJETO DESCRITIVO ESTRUTURA DE AÇO

O projeto descritivo da estrutura de aço está apresentado nos próximos itens.

10.3.1 Objetivo e considerações preliminares

Apresenta-se a elaboração do projeto arquitetônico para a nova cobertura do pavilhão de baias.

O projeto arquitetônico elaborado visa à substituição da cobertura de um pavilhão de alvenaria atualmente de telhas cerâmicas apoiadas em estrutura de madeira, por uma nova cobertura de telhas fibrocimento, apoiadas em nova estrutura de aço de duas águas em forma de tesoura e fixada sobre viga de contorno existente.

Área interna total de 664,71 m² e área de projeção 702,72 m².

Este memorial descritivo e as especificações contidas no projeto, determinam as normas a seguir, os materiais a empregar e os serviços a executar na obra da Reforma do Telhado do Pavilhão de Baias do 3º RCG.

Para execução do projeto, o presente Memorial não limita a aplicação de técnica, experiência e mão de obra qualificada para execução, indicando as condições necessárias, as quais devem obrigatoriamente atender às normas e especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), quanto a sua execução e aos materiais empregados.

10.3.2 Considerações preliminares

Nestas especificações fica esclarecido que só será permitido o uso de materiais ou equipamentos similares aos especificados, se rigorosamente equivalentes, isto é, desempenharem idênticas funções construtivas e apresentarem as mesmas características formais e técnicas.

Os serviços e materiais obedecerão sempre a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008c, p 11) que diz:

Os aços aprovados para uso nesta Norma para perfis, barras e chapas são aqueles com qualificação estrutural assegurada por Norma Brasileira ou norma ou especificação estrangeira, desde que possuam resistência ao escoamento máxima de 450 MPa e relação entre resistências de ruptura (f_u) e ao escoamento (f_y) não inferior a 1,18.

10.3.3 Serviços preliminares

Os serviços preliminares estão apontados nos próximos ítems.

10.3.3.1 Introdução

Este memorial descritivo refere-se aos procedimentos básicos que devem ser tomados para a execução das obras civis referente à reforma do telhado.

Todos os procedimentos de execução deverão obedecer às normas técnicas vigentes, e qualquer alteração no processo de execução ou alteração no projeto deverá ser comunicada (por escrito) a fiscalização da obra para que seja emitido um parecer técnico.

10.3.3.2 Marcação da Obra

A obra deverá ser locada conforme projeto de arquitetura das treliças. A marcação dos eixos das tesouras treliçadas deverá ser indicada nos gabaritos.

10.3.4 Cobertura

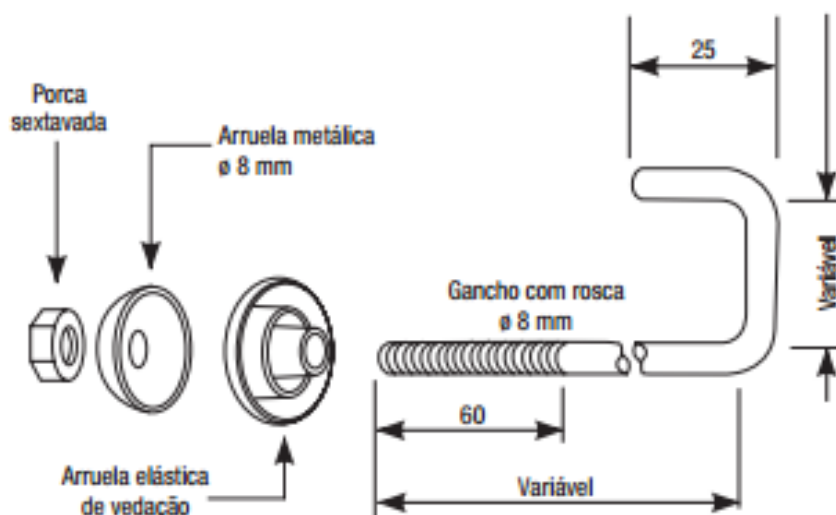
A cobertura será composta por telhas onduladas de fibrocimento, a qual possui qualidade, técnica de produção e facilidade de instalação.

Para o projeto foi dimensionado telhas com espessura de 6 mm, comprimento da primeira fileira (beiral) de 1,83 m e as demais, três fileiras com telhas iguais de 1,83 m de comprimento, em ambas as águas.

Como o número de apoios ou terças para as telhas onduladas, em função do vão livre máximo, varia conforme a espessura e o comprimento da telha. Para a estrutura de aço telhas de 6 mm e a inclinação será de 25°.

Para fixar as telhas de fibrocimento na estrutura de aço são utilizados ganchos com rosca com conjunto de vedação, com diâmetro de 8 mm. A figura 49 demonstra a montagem destas peças.

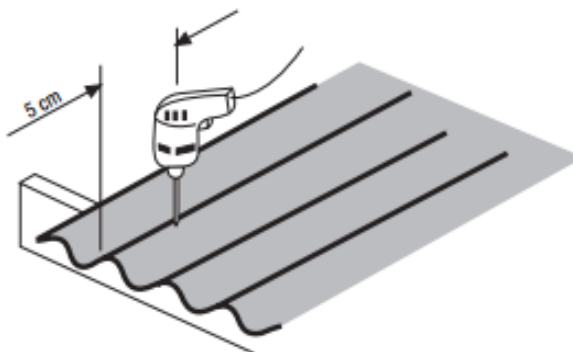
Figura 49: montagem dos ganchos de fixação



(fonte: BRASILIT, 2015 p. 8)

Para a inclinação do projeto em estudo são utilizadas as cumeeiras de 6 mm para cobrir o encontro de duas águas do telhado. A fixação é executada também com ganchos de rosca e vedação. Para colocação dos ganchos é feita a perfuração com brocas apropriadas, conforme a figura 50.

Figura 50: perfuração para colocação de ganchos com rosca



(fonte: BRASILIT, 2015 p. 9)

10.3.5 Estrutura de aço

Parte da estrutura de aço é produzida fora do canteiro de obras e outra parte na própria obra. Esta preparação prévia dos elementos padronizados constituem as tesouras treliçadas que serão levadas ao canteiro de obras para formar a estrutura.

O material utilizado na estrutura de aço, é o ASTM 36, para as tesouras adotou-se o perfil U estrutural e para as terças o perfil U enrijecido em chapa dobrada 2,65 que permite um vão livre entre as tesouras até 6 m sem apoio intermediário.

As tesouras treliçadas em aço devem respeitar a geometria sugerida apresentada no projeto, obedecendo a uma inclinação de 25 graus nas duas direções.

O dimensionamento da estrutura incluindo tesouras treliçadas e terças são executados conforme as especificações do projeto, seguindo das normas técnicas.

Todas as peças em aço devem receber tratamento anticorrosivo visando a proteção destas peças entre o meio externo e o aço, retardando assim o processo de corrosão. Para isso será aplicado nas barras fundo de zarcão e pintura em tinta esmalte na cor vermelha.

10.4 DADOS DO PROJETO

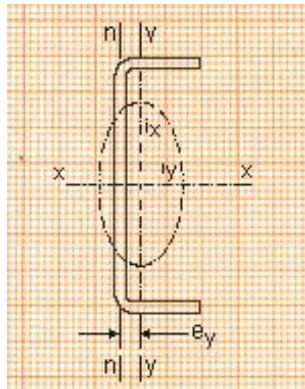
Os dados do projeto para execução da estrutura de aço estão apresentados a seguir.

Aço: ASTM-A36

- $F_u = 400 \text{ MPa}$
- $F_y = 250 \text{ MPa}$
- $E = 205 \text{ GPa}$
- $\gamma = 77 \text{ kN/m}$

Tesouras - Perfil U de chapa dobrada, conforme figura 51.

Figura 51: Perfil U simples chapa dobrada



(fonte: GERDAU, 2015, p. 1)

As dimensões e propriedades geométricas do perfil U simples estão descritas na tabela 9.

Tabela 9: Dimensões e propriedades geométricas perfil U simples

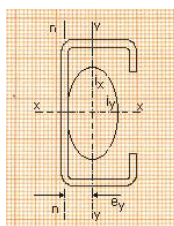
Dimensões			S	P	J _x	W _x	i _x	e _y	J _y	W _y	i _y
h	B	e = r	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm
mm	mm	mm									
75	40	2.66	3.84	3.01	33.5	8.9	2.95	1.16	6.15	2.17	1.26

(fonte: GERDAU, 2015, p.1)

Contraventamento – Barras redondas trefiladas de 16 mm

Terças – Perfil U enrijecido de chapa dobrada, conforme figura 52.

Figura 52: Perfil U enrijecido chapa dobrada



(fonte: GERDAU, 2015, p. 1)

A tabela 10 refere-se as dimensões e propriedades geométricas do perfil U.

Tabela 10: Dimensões e propriedades geométricas perfil U enrijecido

Dimensões				S	P	Jx	Wx	ix	ey	Jy	Wy	ly
h	B	d	e = r	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm
mm	mm	mm	mm									
100	70	15	3,00	7,40	5,81	123,6	24,7	4,08	3,20	46,30	10,40	2,50

(fonte: GERDAU, 2015, p. 1)

O quadro 16 a seguir descreve a planilha orçamentária da estrutura de aço.

Quadro 16: planilha orçamentária da estrutura de aço

Material (cm)	Quant	Unidade	R\$ (unid)	Valor R\$	Total R\$
Tesoura/solda 9,0 x 6,0 x 4,0	83,72	m	24,90	2.084,62	6.850,93
7,5 x 4,0 x 2,70	201,11		23,70	4.766,31	
Terças/solda 10,0 x 7,0 x 3,0	496,00	m	27,99	13.883,04	13.883,04
Contraventamento	14	pç	36,80	36,8	515,20
Guincho	4	h	200,00	600,00	600,00
Ganchos	960	pç (25 cm)	0,69	662,40	768,00
	96	pç (30 cm)	1,10	105,60	
Telhas	384	pç 1,83 m ²	37,90	14.553,60	14.553,60
Cumeeiras	48	pç 1,00 m	31,90	1.531,20	1.531,20
MO *				4.550,00	4.550,00
				TOTAL	43.251,97

(fonte: elaborado pelo autor)

MO * - Na mão de obra tabelada está inclusa a instalação de telhas e cumeeiras como também a pintura em tinta esmalte na estrutura.

O tempo de execução dos serviços discriminados, ou seja, da execução da estrutura de aço é de duas semanas ou dez dias úteis.

10.5 MEMORIAL DE CÁLCULOS DAS REAÇÕES E DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE AÇO

A estrutura de aço possui as mesmas dimensões da estrutura de madeira.

As cargas consideradas admissíveis para os cálculos são as cargas permanentes (peso próprio), as sobrecargas e as cargas de vento.

Os materiais utilizados são perfis de aço ASTM A36.

Todo projeto em aço foi baseado nos anexos da Norma Brasileira (ABNT), para Projeto de Estruturas de Aço, a NBR 8800/2008.

O dimensionamento das treliças: As treliças foram calculadas para suportar as terças sobre os nós das treliças. São compostas por perfis U 90 x 60 x 4 mm, no banzo superior, perfis U 75 x 40 x 2,70 no banzo inferior, montantes e diagonais. As ligações entre as barras da treliça são soldadas, e a treliça é apoiada em pilar de concreto existente, soldada em chapa de topo engastadas nos pilares com parafusos. O método utilizado para o dimensionamento das treliças foi o Método dos Nós.

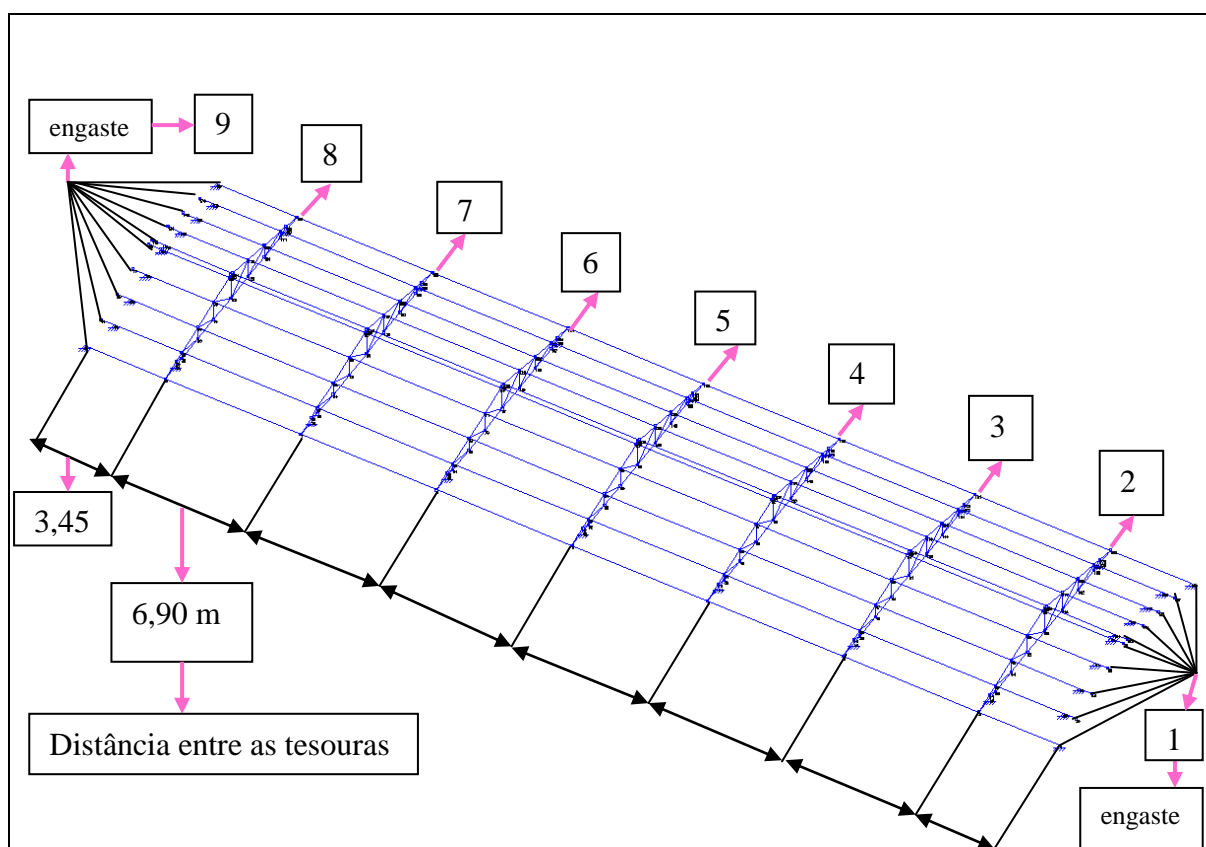
As terças são calculadas para suportarem o peso da cobertura e a ação do vento. Para não exceder o vão máximo de 6 à 7 m da terça de aço, há uma treliça de apoio à cada 6,9 m de vão fixadas em pilares já existentes, para suportar as terças. Com o comprimento da terça escolhido, calcula-se o carregamento distribuído sobre cada uma delas. Assim como na estrutura de madeira, não é necessário verificar flambagem lateral com torção (FLT), pois as terças são travadas pelos parafusos das telhas, logo torna-se desnecessário a verificação da FLT. Sendo que cada terça é apoiada sob um nó da treliça, considerado ponto de descarga.

As telhas foram dimensionadas conforme as características técnicas existentes no catálogo da BRASILIT.

Os cálculos das reações e do dimensionamento dos perfis da estrutura de aço também foram realizados, utilizando um modelo numérico, Software Cypecad Metálicas 3D Clássico 2012, da CYPE Engenheiros S.P.A. Os arquivos de texto são relatórios de dados para a modelagem estrutural, cargas aplicadas, características e quantitativos de materiais e as reações em cada barra ou nó.

A figura 53 ilustra a representação esquemática da estrutura de aço dimensionada com a carga permanente e sobrecarga.

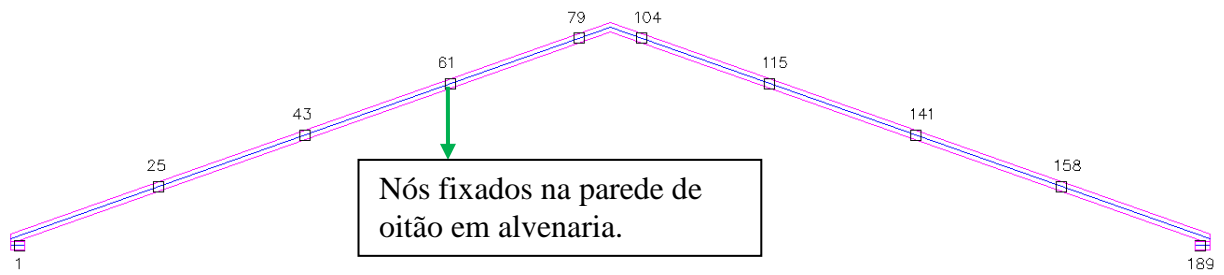
Figura 53: representação esquemática da estrutura de aço



(fonte: elaborado pelo autor)

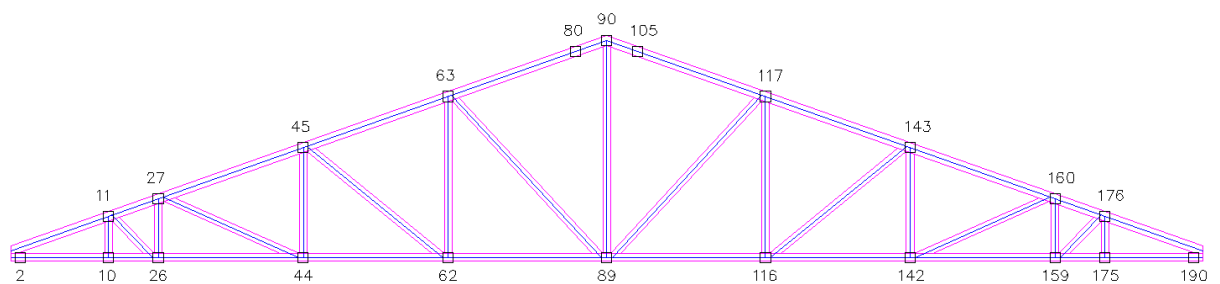
As figuras 54 a 62 ilustram as tesouras de aço com os respectivos números representando os nós, seguida das planilhas de cálculo.

Figura 54: nós fixados no oitão de alvenaria



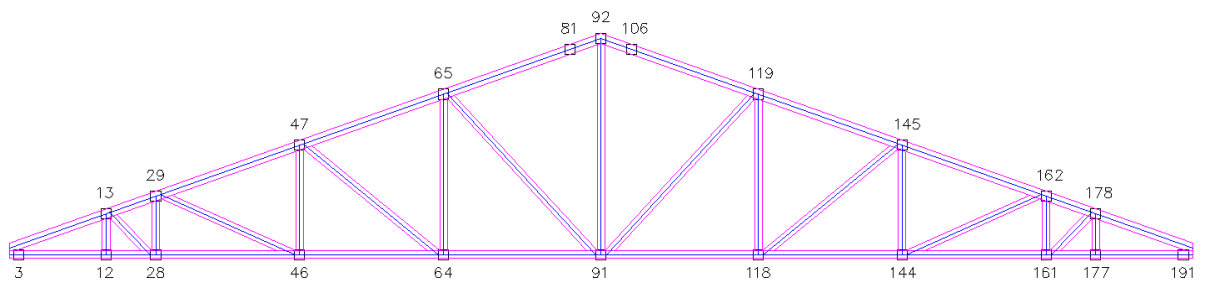
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 55: tesoura de aço 1 com respectivos números dos nós



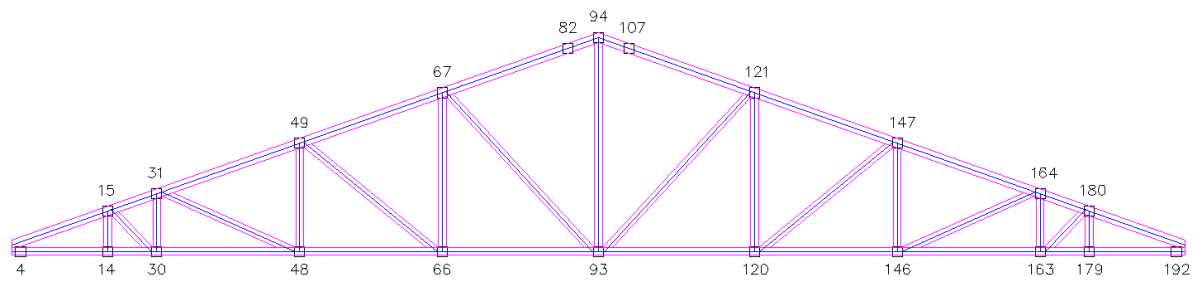
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 56: tesoura de aço 2 com respectivos números dos nós



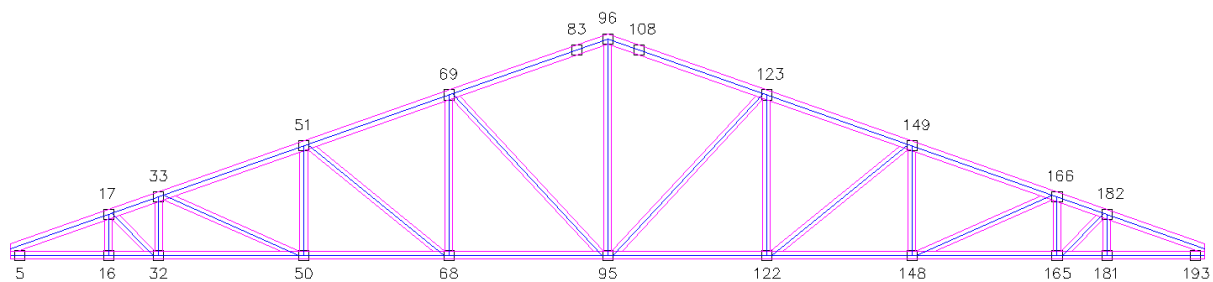
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 57: tesoura de aço 3 com respectivos números dos nós



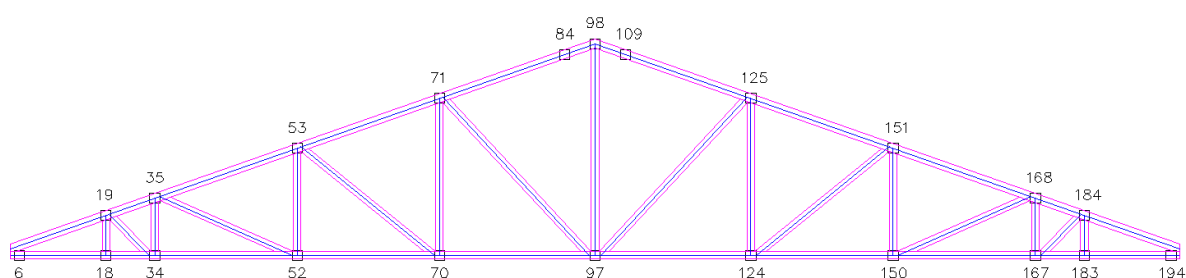
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 58: tesoura de aço 4 com respectivos números dos nós



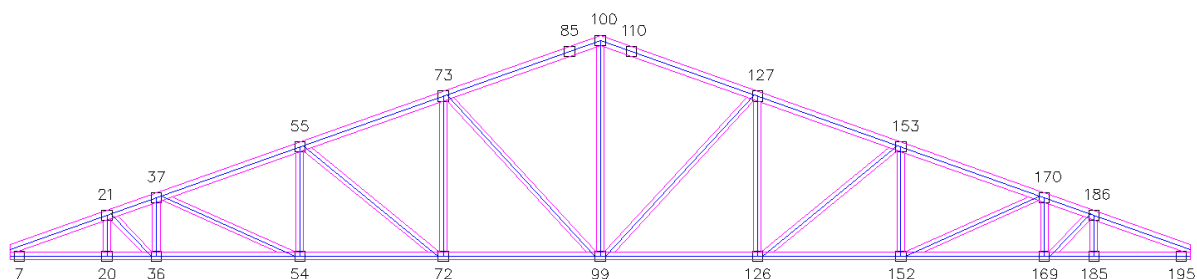
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 59: tesoura de aço 5 com respectivos números dos nós



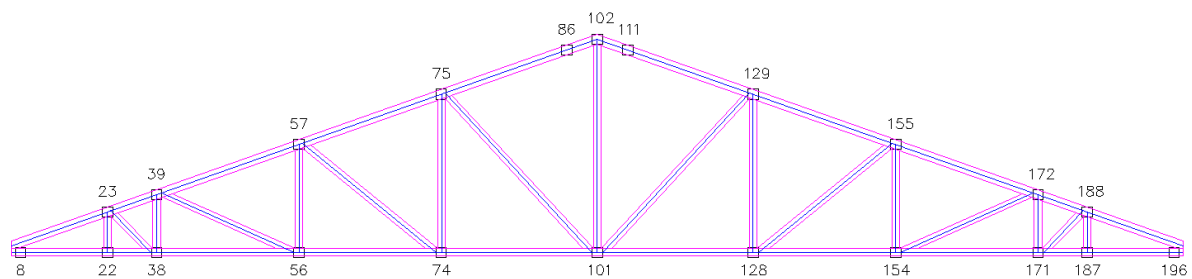
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 60: tesoura de aço 6 com respectivos números dos nós



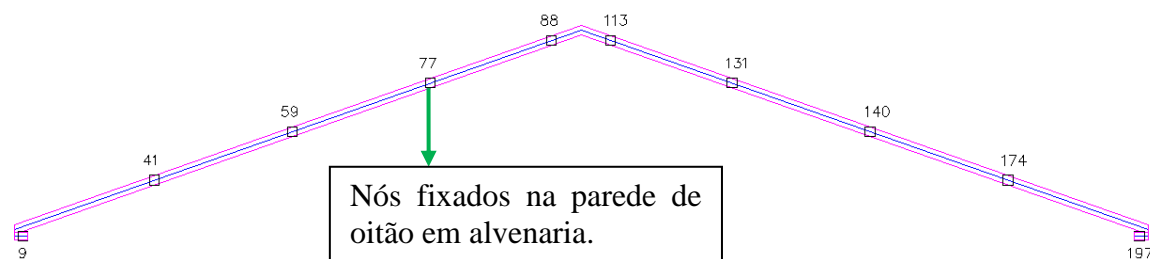
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 61: tesoura de aço 7 com respectivos números dos nós



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 62: nós fixados no oitão de alvenaria



(fonte: elaborado pelo autor)

Para as distintas situações de projeto, as combinações de ações serão definidas de acordo com os seguintes critérios discriminados no quadro 17.

Quadro 17: identificação de coeficientes e variáveis

E.L.U. Aço laminado: NBR8800

- **Situações permanentes ou transitórias**

- **Situações sísmicas**

- **Combinações acidentais**

- Onde:

G_k Ação permanente

Q_k Ação variável

A_E Ação sísmica

A_d Ação acidental

γ_G Coeficiente parcial de segurança das ações permanentes

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

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

γ_{AE} Coeficiente parcial de segurança da ação sísmica

γ_{Ad} Coeficiente parcial de segurança da ação acidental

$\psi_{p,1}$ Coeficiente de combinação da ação variável principal

$\psi_{a,i}$ Coeficiente de combinação das ações variáveis de acompanhamento

(fonte: elaborado pelo autor)

Assim como apresentado na estrutura de madeira, o quadro 18 descreve três situações para os valores de coeficientes de segurança.

Quadro 18: valores dos coeficientes

Situação 1				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	0.900	1.400	-	-
Sobrecarga (Q - Uso 1)	0.000	1.500	1.000	0.750
Sobrecarga (Q - Uso 2)	0.000	1.500	1.000	0.650
Vento (Q)	0.000	1.400	1.000	0.600
Neve (Q)	0.000	1.400	1.000	1.000
Empuxos do terreno (H)	0.900	1.400	-	-

Situação 2				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	0.900	1.200	-	-
Sobrecarga (Q - Uso 1)	0.000	1.100	0.750	0.750
Sobrecarga (Q - Uso 2)	0.000	1.100	0.650	0.650
Vento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Neve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Empuxos do terreno (H)	0.900	1.200	-	-
Sismo (E)	-1.000	1.000	1.000	0.000

Situação 3				
	Coeficientes parciais de segurança (γ)		Coeficientes de combinação (ψ)	
	Favorável	Desfavorável	Principal (ψ_p)	Acompanhamento (ψ_a)
Permanente (G)	0.900	1.200	-	-
Sobrecarga (Q - Uso 1)	0.000	1.100	0.750	0.750
Sobrecarga (Q - Uso 2)	0.000	1.100	0.650	0.650
Vento (Q)	0.000	1.000	0.000	0.000
Neve (Q)	0.000	1.000	1.000	1.000
Empuxos do terreno (H)	0.900	1.200	-	-
Acidental (A)	1.000	1.000	-	-

(fonte: elaborado pelo autor)

10.5.1 Nós

Para a obtenção dos dados referentes ao tipo de nó e conectividades também utilizou-se o software, os resultados encontrados estão no quadro 19.

Quadro 19: nós engastados

Nós	Ligações
	Engastado
1 - 197	Engastado

(fonte: elaborado pelo autor)

10.5.2 Barras: Características Mecânicas

As características mecânicas da madeira utilizada estão discriminadas no quadro 20.

Quadro 20: características mecânicas do aço

Descrição	Inércia Torção cm ⁴	Inércia y cm ⁴	Inércia z cm ⁴	Seção cm ⁴
Aço, C 90x60x4.0 (Perfil C)	0.420	102.903	28.946	7.869
Aço, CR 100x70x3.00 (Perfil CR)	0.225	125.854	47.400	7.503
Aço, UD 75x40x2.7 (UD)	0.092	34.038	6.172	3.888

(fonte: elaborado pelo autor)

10.5.3 Barras: Materiais Usados

As características físicas do Eucalipto estão descritas no quadro 21.

Quadro 21: características físicas do aço

Material	Módulo elasticidade (kgf/cm ²)	Módulo elasticidade transversal (kgf/cm ²)	Limite elasticidade fck (kgf/cm ²)	Coefficiente dilatação (m/m°C)	Peso específico (kg/dm ³)
Aço (A-36)	2089704.38	803732.46	2548.42	1.2e-005	7.85

(fonte: elaborado pelo autor)

10.5.4 Barras: Descrição

As barras apresentadas nas figuras 48 a 54 das treliças são de aço (ASTM A36), com perfis U de secção transversal (10,0 x 7,0 x 0,3) cm, (9,0 x 6,0 x 0,4) cm e (7,50 x 4,0 x 0,27) cm. Com o auxílio do software, calculou-se o quantitativo de cada perfil.

10.5.5 Barras: Resumo Quantitativos (aço)

O resumo dos quantitativos dos perfis está apresentado no quadro 22, os quais foram retirados das planilhas de cálculos do Software empregado.

Quadro 22: resumo dos quantitativos

Descrição			Peso (kgf)			Comprimento (m)					
			Perfil	Série	Aço	Perfil	Série	Aço			
Aço (A-36)	Perfil C	C 90x60x4.0	517.16	517.16	4051.90	83.72	83.72	780.83			
		CR 100x70x3.00	2921.40			496.00					
	Perfil CR	UD 75x40x2.7	613.34	2921.40		496.00					
		UD		613.34		201.11	201.11				
				4051.90			780.83				
				4051.90			780.83				

(fonte: elaborado pelo autor)

10.5.6 Cargas (Barras)

Para a verificação das cargas nas barras o programa Cyber fornece as planilhas que descreve cada barra da estrutura. As cargas consideradas são as mesmas mencionadas na estrutura de madeira, as cargas permanentes, as sobrecargas e as cargas de vento.

10.5.7 Reações

A tabela 11 apresenta as reações obtidas nos engastes.

Tabela 11: cálculo das reações

Nós	Descrição	REAÇÕES (EIXOS GLOBAIS)					
		RX (t)	RY (t)	RZ (t)	MX (t·m)	MY (t·m)	MZ (t·m)
1	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	-0.0069	0.0697	0.0000	0.0000	0.0000
9	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0208	0.0697	0.0000	0.0000	0.0000
10	Envoltória (Fun.equil.)	3.2114	0.1155	2.5233	0.0000	0.0000	0.0000
12	Envoltória (Fun.equil.)	3.6160	-0.0086	2.9885	0.0000	0.0000	0.0000
14	Envoltória (Fun.equil.)	3.6001	0.0052	2.9039	0.0000	0.0000	0.0000
16	Envoltória (Fun.equil.)	3.6031	-0.0000	2.9297	0.0000	0.0000	0.0000
18	Envoltória (Fun.equil.)	3.6001	-0.0018	2.9039	0.0000	0.0000	0.0000
20	Envoltória (Fun.equil.)	3.6160	0.0254	2.9885	0.0000	0.0000	0.0000
22	Envoltória (Fun.equil.)	3.2114	-0.0389	2.5233	0.0000	0.0000	0.0000
25	Envoltória (Fun.equil.)	0.0037	-0.0194	0.1594	0.0000	0.0000	0.0000
40	Envoltória (Fun.equil.)	0.0037	0.0572	0.1594	0.0000	0.0000	0.0000
43	Envoltória (Fun.equil.)	0.0034	0.0051	0.1557	0.0000	0.0000	0.0000
58	Envoltória (Fun.equil.)	0.0034	-0.0017	0.1557	0.0000	0.0000	0.0000
61	Envoltória (Fun.equil.)	0.0037	0.0040	0.1534	0.0000	0.0000	0.0000
76	Envoltória (Fun.equil.)	0.0037	-0.0015	0.1534	0.0000	0.0000	0.0000
79	Envoltória (Fun.equil.)	0.0009	-0.0045	0.0996	0.0000	0.0000	0.0000
87	Envoltória (Fun.equil.)	0.0009	0.0131	0.0996	0.0000	0.0000	0.0000
104	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0004	-0.0077	0.0996	0.0000	0.0000	0.0000
112	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0004	0.0224	0.0996	0.0000	0.0000	0.0000
115	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0009	0.0191	0.1570	0.0000	0.0000	0.0000
130	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0009	-0.0066	0.1570	0.0000	0.0000	0.0000
158	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0007	-0.0351	0.1620	0.0000	0.0000	0.0000
173	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0007	0.1040	0.1620	0.0000	0.0000	0.0000
175	Envoltória (Fun.equil.)	-1.1383	0.1288	2.6641	0.0000	0.0000	0.0000
177	Envoltória (Fun.equil.)	-1.2799	-0.0093	2.9138	0.0000	0.0000	0.0000
179	Envoltória (Fun.equil.)	-1.2698	0.0052	2.9182	0.0000	0.0000	0.0000
181	Envoltória (Fun.equil.)	-1.2725	-0.0000	2.9148	0.0000	0.0000	0.0000
183	Envoltória (Fun.equil.)	-1.2698	-0.0017	2.9182	0.0000	0.0000	0.0000
185	Envoltória (Fun.equil.)	-1.2799	0.0275	2.9138	0.0000	0.0000	0.0000
187	Envoltória (Fun.equil.)	-1.1383	-0.0434	2.6641	0.0000	0.0000	0.0000
189	Envoltória (Fun.equil.)	-0,0001	-0,0117	0,0255	0,0000	0,0000	0,0000
197	Envoltória (Fun.equil.)	-0.0000	0.0164	0.0697	0.0000	0.0000	0.0000

(fonte: elaborado pelo autor)

11 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O comparativo entre as estruturas está demonstrado no quadro 23.

Quadro 23: dados comparativos das estruturas

	Estrutura de madeira	Estrutura de Aço
Mão de obra	Não qualificada	Qualificada
Material	Pronta entrega	Sob encomenda
Montagem	Lenta	Rápida
Custo	Menor	Maior
Manutenção	1 ano	3 anos
Peso da estrutura	Pesada	Leve
Preservação do meio ambiente	Baixa	Alta
Reciclabilidade	Parcial	Total
Espaçamento máximo entre tesouras	3 m	7 m
Precisão construtiva	Baixa	Alta
% carga nas fundações	Médio	Baixo

(fonte: elaborado pelo autor)

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na execução do projeto em estudo, nota-se que as duas estruturas apresentam um custo final com uma pequena diferença, em torno de 5 % a menos para a estrutura de madeira em relação a estrutura de aço. Em termos práticos essa diferença não é significativa.

Porém a diferença no tempo de execução entre as duas estruturas foi bem considerável, sendo que a execução da estrutura de madeira em relação a estrutura de aço foi de quinze dias a mais na totalidade do projeto.

A montagem das estruturas de aço é feita previamente fora do canteiro de obras, apenas a uma parte é montada in loco, já as estruturas de madeira é feita totalmente no canteiro de obras, elevando o custo da mão de obra e retardando o tempo de execução.

Nos pontos de emendas, que são partes críticas nas estruturas de telhados, há diferença fundamental, enquanto as tesouras de madeira necessitam de encaixes, reduzindo a seção e consequentemente enfraquecendo a estrutura, já nas tesouras metálicas as emendas são feitas com chapas soldadas ou rebitadas, o que favorece e aumenta a resistência.

A madeira por apresentar suas características naturais, é um material que sofre com a ação do tempo, ocasionando empenamentos e flexões nas peças. O aço já não possui este problema, porém assim como a madeira é tratada contra cupim e intempéries, o aço deve receber tratamento contra corrosão e ferrugem.

Pelos valores encontrados no levantamento de custo das estruturas, a madeira possui o menor valor, porém deve ser levado em consideração o custo da manutenção destas estruturas, considerando que a aplicação da pintura na madeira é feita anualmente, já a pintura da estrutura do aço leva de 3 a 4 anos sem manutenção,

Além disso, outro fator que deve ser levado em consideração é que devido ao desmatamento, a madeira de lei mais indicada para estruturas está escassa além do custo mais elevado, restando apenas madeiras de reflorestamento como o Eucalipto, porém nem sempre encontra-se esta madeira seca em condições de aplicação estrutural, causando sérios problemas. O desperdício de material no canteiro de obras devido as sobras com os cortes necessários para a execução da estrutura de madeira é outro fator relevante.

Uma das vantagens mais relevantes da estrutura de aço em relação a estrutura de madeira é o tempo de execução como visto na execução dos projetos, além da leveza, durabilidade, organização no canteiro de obras e a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALTOÉ, E. S. **Diretrizes projetuais para edificações unifamiliares em toras de eucalipto no Espírito Santo**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- _____. **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- _____. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios – método dos estados limites. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR 7190**: projeto de estrutura de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço**: projeto e cálculo. 3. ed. São Paulo: Pini, 2000.
- BERTOLA, A. **Eucalipto - 100 anos de Brasil**: falem mal, mas continuem falando de mim. 2010. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf>. Acesso em: 4 mar. 2015.
- BLOGSPOT, **Dijon e a Borgonha**. França, 2011. Disponível em: <<http://estamosemberna.blogspot.com.br/2011/04/dijon-e-borgonha.html>>. Acesso em: 03 jun. 2015.
- BRASILIT, **Catálogo Técnico**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.brasilit.com.br/pdf/catalogo-tecnico-telha-ondulada-brasilit.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2015.
- BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia Produtiva de Madeira**. Brasília: Qualidade, 2007.
- CALIL JÚNIOR, C; BRITO, L. D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- CARDÃO, CELSO. **Técnica da Construção**. 6. ed. Belo Horizonte. 1983.
- CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **CBCA**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/aplicacoes--construcao-civil.asp>>. Acesso em: 03 maio. 2015.
- COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL. **CSN**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.ufsm.br/decc/ECC8058/Downloads/Aço_na_Construção_Civil-CSN.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2015.
- COSTA, C. T. **O Sonho e a Técnica**: a arquitetura de ferro no Brasil. São Paulo: USP, 1994.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UEPG. **Composição do telhado**. Ponta Grossa. 2012. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT2809201182132.pdf>>. Acesso em: 12 maio. 2015.

DIAS, L. A. de M. **Estruturas de Aço: conceito, técnicas e linguagem**. São Paulo: Zigurate, 1997.

FERRAZ, H. Revista Siderurgia Brasil: a revista de negócios do aço. Feicon acontece no melhor momento da construção civil: O aço na construção civil – 1ª parte, São Paulo, n. 41, abr. 2008.

GERDAU, **Comercial Gerdau**. Porto Alegre. 2015. Disponível em: <<http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download.asp>>. Acesso em: 24 abr. 2015

GESUALDO, F. A. R. **Estruturas de Madeira**. Uberlândia: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2003. Notas de aula.

HISTÓRIA E VESTIBULAR. **História do Rio Grande do Sul – os primeiros habitantes**. 2014. Disponível em: <<http://historiandonovestibular.blogspot.com.br/2014/09/historia-do-rio-grande-do-sul-os.html>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

LIMA, W. P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. 2 ed. São Paulo: USP, 1996.

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

KENNETH, M. L. **Fundamentos da análise estrutural**. 3. ed. Minas Gerais: AMGH, 2010.

NASCIMENTO, F. **Estruturas Metálicas: projeto – critérios, análise estrutural e normas**. Itu: Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio, Instituto Superior de Engenharia, Arquitetura e Design, 2011.

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia: microestruturas e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1997.

PAES, J. B.; VITAL, B. R. **Revista Árvore**. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a cupins subterrâneos, em testes de laboratório, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 97-104, Jan. 2000.

PFEIL, W. **Estruturas de Aço: dimensionamento prático segundo as normas brasileiras**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1980.

_____. **Estruturas de Madeira: dimensionamento prático segundo as normas brasileiras**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

_____. **Estruturas de Aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 800:2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

QUEIROZ, G. **Elementos das Estruturas de Aço**. 4. ed. Belo Horizonte: IPT, 1993.

RIZZO, I.; MITIDIERI, C. **Como comprar estrutura de aço galvanizado para telhado**. 2010. Disponível em: <<http://www.cbca-iabr.org.br/noticias-ultimas-ler.php?cod=3457&bsc=&orig=noticias-ultimas>>. Acesso em: 6 mar. 2015.

SILVA, E. **Jorsil Indústrias: estruturas de telhado em aço**. 2010. Disponível em: <<http://www.jorsil.com.br/si/site/0601>>. Acesso em: 4 mar. 2015.

SÍTIO DI LAZER. **Eucalipto grants e citriodora e dune**. Paraná. 2010. Disponível em: <<http://lazerallife.blogspot.com/2010/10/estas-sao-minhas-queridas-arvores.html>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

THOMAZ, E. **Cobertura com Estruturas de Madeira e Telhados com Telhas Cerâmicas**. São Paulo: IPT, 1988.

ZANI MADEIRAS. **Elementos de uma tesoura e terminologia**. Natal. 2015. Disponível em: <<http://www.zanimadeiras.com.br/produtos.php>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

ZENID, G. J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2 ed. São Paulo: SVMA, 2009.

APÊNDICE C

Estrutura de aço, tempo de execução em 21 dias.

Figura 1: içamento da estrutura de aço



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 2: montagem da estrutura de aço



(fonte: elaborado pelo autor)

APÊNDICE D

Estrutura de madeira com ocorrência de deformação por flexão.



(fonte: elaborado pelo autor)

APÊNDICE E

Estrutura de aço, tempo de execução 15 dias.



(fonte: elaborado pelo autor)

APÊNDICE F

Estrutura de aço, tempo de execução 18 dias.



(fonte: elaborado pelo autor)