

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DÉBORA THOMÉ MIRANDA

**ANÁLISE DA CONSIDERAÇÃO DA AÇÃO DO VENTO EM UMA
COBERTURA COM ESTRUTURA DE MADEIRA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2017

DÉBORA THOMÉ MIRANDA

**ANÁLISE DA CONSIDERAÇÃO DA AÇÃO DO VENTO EM UMA
COBERTURA COM ESTRUTURA DE MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 61

**Análise da consideração da ação do vento em uma cobertura com
estrutura de madeira**

por

Débora Thomé Miranda

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11:10h do dia **05 de junho de 2017** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Fúlvio Natercio Feiber
(UTFPR – TD)

Prof^a. Dra. Silmara Dias Feiber
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof^a. Msc. Silvana da Silva Ramme
Coordenadora da COECI

RESUMO

MIRANDA, Débora Thomé. Análise da consideração da ação do vento em uma cobertura com estrutura de madeira. 2017. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2017.

O uso da madeira na construção civil pode desempenhar desde funções estéticas até estruturais, como em móveis e coberturas de edificações respectivamente. A respeito desta última, a estrutura em forma das treliças do tipo Howe, Pratt e Belga são as mais utilizadas, sendo que suas principais atribuições são receber e descarregar as cargas atuantes (como peso próprio da estrutura e força do vento) nos apoios. Logo, o presente estudo refere-se à análise da consideração da ação do vento no dimensionamento de uma cobertura de madeira para um galpão industrial que será implantado na cidade de Toledo - PR. Adotada treliça do tipo Howe com vãos variando entre 5, 10 e 20 metros considerou-se como variável a velocidade básica do vento atuante na edificação, iguais a 0, 24 e 48 m/s. Foram considerados dois casos de dimensionamento para as barras que compõem a tesoura com o intuito de comparar o volume demandado: um calculando-se as menores seções transversais possíveis e outro considerando as dimensões mínimas recomendadas pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Os resultados obtidos mostraram que ao adotar as recomendações da norma, a variação do volume demandado entre as velocidades básicas do vento extremas (ou seja, 0 e 48 m/s) é maior quanto maior o vão da cobertura. Logo, concluiu-se que deve-se seguir as orientações da norma a fim de garantir a segurança da edificação e evitar desastres causados pela ação do vento.

Palavras-chave: Cobertura de madeira. Treliça Howe. Ação do vento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte transversal do tronco de uma árvore	5
Figura 2 - Esquema do processo do banho quente-frio com madeira seca e sem casca	6
Figura 3 - Representação gráfica do processo de tratamento da madeira por substituição de seiva por capilaridade.....	7
Figura 4 - Esquema do processo de tratamento da madeira em autoclave	8
Figura 5 - Direções radial, longitudinal e tangencial.....	9
Figura 6 - Alguns tipos de empenamentos: (a) encanoamento/abaulamento, (b) encurvamento, (c) arqueamento e (d) torcimento	10
Figura 7 - Desdobramento (a) radial e (b) em pranchas paralelas	12
Figura 8 - Residência com tesouras de madeira	12
Figura 9 - Pórticos em madeira laminada colada na Biblioteca e Centro Cultural em Vennesla, Noruega.....	13
Figura 10 - Jardim de Inverno de Sheffield com cobertura feita com arcos de madeira laminada colada, em Sheffield, Inglaterra	13
Figura 11 - Treliça do tipo Bowstring	14
Figura 12 - Treliça plana com banzos paralelos.....	15
Figura 13 - Treliça do tipo Howe	16
Figura 14 - Treliça do tipo Pratt.....	16
Figura 15 - Treliça do tipo Belga	17
Figura 16 - Trajetória do vento incidindo em uma edificação	18
Figura 17 - Dimensões da telha de fibrocimento que foi utilizada	20
Figura 18 - Região da cidade de Toledo (PR) indicada no mapa de isopleias.....	21
Figura 19 - Área de influência para o pior caso de tesoura.....	22
Figura 20 - Faixa de influência delimitando a carga atuante em cada nó	23
Figura 21 - Numeração dos nós da tesoura para vão de 5 m	34
Figura 22 - Numeração dos nós da tesoura para vão de 10 m	36
Figura 23 - Numeração dos nós da tesoura para vão de 20 m	38
Figura 24 - Volume de madeira x velocidade básica do vento para os vãos estudados considerando as seções transversais calculadas.....	42
Figura 25 - Volume de madeira x velocidade básica do vento para os vãos estudados considerando dimensões mínimas de norma	49
Figura 26 - Volume de madeira x velocidade básica do vento para os vãos estudados considerando as dimensões mínimas calculadas e as de norma.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de resistência das coníferas	10
Tabela 2 - Dimensões das peças serradas mais comuns com comprimentos variáveis	11
Tabela 3 - Pressões do vento (em kN/m ²) de acordo com a velocidade básica do vento (V ₀) e o vão da cobertura	33
Tabela 4 - Seção transversal (em cm) das terças de acordo com o vão da cobertura e a velocidade básica do vento (V ₀)	34
Tabela 5 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 0 m/s e vão de 5 m considerando as seções transversais calculadas	35
Tabela 6 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 24 m/s e vão de 5 m considerando as seções transversais calculadas	35
Tabela 7 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 48 m/s e vão de 5 m considerando as seções transversais calculadas	35
Tabela 8 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 0 m/s e vão de 10 m considerando as seções transversais calculadas	36
Tabela 9 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 24 m/s e vão de 10 m considerando as seções transversais calculadas	37
Tabela 10 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 48 m/s e vão de 10 m considerando as seções transversais calculadas	37
Tabela 11 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 0 m/s e vão de 20 m considerando as seções transversais calculadas	39
Tabela 12 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 24 m/s e vão de 20 m considerando as seções transversais calculadas	40
Tabela 13 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 48 m/s e vão de 20 m considerando as seções transversais calculadas	41
Tabela 14 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 0 m/s e vão de 5 m considerando dimensões mínimas de norma.....	43
Tabela 15 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 24 m/s e vão de 5 m considerando dimensões mínimas de norma.....	43
Tabela 16 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 48 m/s e vão de 5 m considerando dimensões mínimas de norma.....	44
Tabela 17 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 0 m/s e vão de 10 m considerando dimensões mínimas de norma.....	44
Tabela 18 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 24 m/s e vão de 10 m considerando dimensões mínimas de norma.....	45
Tabela 19 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 48 m/s e vão de 10 m considerando dimensões mínimas de norma.....	45
Tabela 20 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 0 m/s e vão de 20 m considerando dimensões mínimas de norma.....	46
Tabela 21 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 24 m/s e vão de 20 m considerando dimensões mínimas de norma.....	47
Tabela 22 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V ₀ igual a 48 m/s e vão de 20 m considerando dimensões mínimas de norma.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA.....	4
2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA	9
2.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS EM MADEIRA	11
2.4 AÇÃO DO VENTO	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 ESPECIFICAÇÕES DA EDIFICAÇÃO	19
3.2 CARGAS ATUANTES	20
3.2.1 Cargas permanentes.....	20
3.2.2 Cargas acidentais.....	20
3.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA.....	22
3.3.1 Verificação das terças	23
3.3.2 Dimensionamento das barras das tesouras	26
3.3.3 Determinação do volume de madeira.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 CARGA ATUANTE DO VENTO	33
4.2 SEÇÃO TRANSVERSAL DAS TERÇAS.....	33
4.3 VOLUME DE MADEIRA CONSIDERANDO SEÇÃO CALCULADA.....	34
4.3.1 Tesoura com vão de 5 metros.....	34
4.3.2 Tesoura com vão de 10 metros.....	36
4.3.3 Tesoura com vão de 20 metros.....	38
4.4 VOLUME DE MADEIRA CONSIDERANDO SEÇÃO MÍNIMA DA NORMA	43
4.4.1 Tesoura com vão de 5 metros.....	43
4.4.2 Tesoura com vão de 10 metros.....	44
4.4.3 Tesoura com vão de 20 metros.....	46
5 CONCLUSÃO	51
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS	52
APÊNDICE A - Planta baixa, corte, elevação e vista 3D do galpão (continua)...	56

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material natural amplamente encontrado no Brasil, seja em florestas nativas, como na região Norte, e também em áreas de reflorestamento como nas regiões Sul e Sudeste, nas quais as reservas de eucalipto e pinus prevalecem.

Devido à versatilidade e facilidade de manuseio, sendo usada por exemplo como móveis, meio de transporte e utensílio doméstico, a madeira é largamente empregada na construção civil paralelamente ao aço e ao concreto. Por ser também um material combustível, os projetos com estruturas em madeira ficam restringidos em razão dos riscos relacionados a incêndios. No entanto, essa circunstância é produto do desconhecimento do comportamento desse material quando exposto ao fogo, uma vez que sua seção transversal se reduz lentamente, assegurando a estabilidade da estrutura por mais tempo (ANASTÁCIO, 2010; FIGUEROA; MORAES, 2009).

Ao realizar os processos de produção e manutenção de forma adequada, essa matéria-prima de origem vegetal dura 50 anos ou mais (CALIL JUNIOR et al., 2006). Destaca-se o templo budista Horyu-ji, situado no Japão, que é considerado uma das construções em madeira mais antigas do mundo, sendo o projeto original datado de 670 d.C. Embora o fogo tenha destruído parte do edifício, este foi reconstruído nos primeiros anos do século VIII (UNESCO, s.d.).

Um dos principais usos da madeira pode ser visto nas estruturas de coberturas de edificações, as quais devem ser projetadas de modo a garantir segurança e confiabilidade. No Brasil, a norma NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997) recomenda que no dimensionamento de uma estrutura sejam consideradas algumas ações que a estrutura está sujeita, como cargas permanentes e acidentais verticais, impactos vertical e lateral e vento. Entre esses, destaca-se a consideração da ação do vento em edificações, que acrescenta carga sobre a estrutura.

Todavia, há uma constante busca por maneiras de reduzir a quantidade de materiais para diminuir o custo da obra. Uma dessas possíveis formas é menosprezar a ação do vento nos projetos de cobertura para tentar economizar no volume de madeira.

Posto isso, o trabalho propõe analisar se a consideração da ação do vento em uma treliça de cobertura influencia significativamente no volume de madeira. O estudo

foi realizado considerando um galpão que será implantado na cidade de Toledo, Paraná, a qual estará sujeito a variações dos vãos e das velocidades do vento.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a evolução dos sistemas construtivos, a consideração do efeito da ação do vento sobre edificações torna-se cada vez mais necessária, já que as estruturas estão se tornando mais esbeltas, com grandes vãos livres e de leve peso.

Aliado às mudanças climáticas, o vento pode colocar em risco a segurança dessas obras quando não considerado adequadamente. A região oeste do Paraná já teve edificações arruinadas parcial ou totalmente por conta da ação do vento, como ocorrido em outubro de 2009, quando os municípios foram atingidos por ventos de 115 km/h, ocasionando em destelhamento de casas, árvores e postes caídos, e coberturas de edificações arrancadas (GAZETA DO POVO, 2009).

A fim de estabelecer condições exigíveis para a consideração do vento no dimensionamento das edificações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a norma NBR 6123 (ABNT, 1988) que apresenta, entre outras especificações, valores de velocidade básica para cada região brasileira que devem ser adotados nos cálculos de vento.

Baseado no exposto, o presente trabalho justifica-se por considerar que a ação do vento sobre uma estrutura é um dos quesitos mais importantes que devem ser considerados nos cálculos para garantir a segurança da obra.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da consideração da ação do vento no volume de madeira utilizado para cobertura de galpões.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a carga de vento atuante sobre a estrutura considerando diferentes velocidades básicas;

- Dimensionar uma cobertura com tesouras e terças de madeira variando o vão e a velocidade básica do vento incidindo sobre a estrutura seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997);

- Avaliar a variação do volume de madeira demandado nos casos considerados.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O enfoque do presente trabalho trata-se de uma tesoura do tipo Howe de madeira da espécie *Araucaria angustifolia* para a cobertura de um galpão comercial que será situado no oeste do Paraná. A edificação possuirá 20 m de comprimento e largura variando entre 5, 10 e 20 m e pé direito de 4 m.

Além das cargas permanentes da estrutura da cobertura, a obra foi sujeita às cargas acidentais de uso e ocupação e de vento, sendo que a velocidade básica deste último foi variada entre 0, 24 e 48 m/s.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta as principais informações a respeito da madeira para melhor compreensão do principal objetivo deste trabalho. Em ordem, encontram-se a anatomia do material de forma breve, suas resistências mecânicas e os principais sistemas estruturais que utilizam a madeira. E, em seguida, os parâmetros utilizados no cálculo da ação do vento regulamentados por norma.

2.1 ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DA MADEIRA

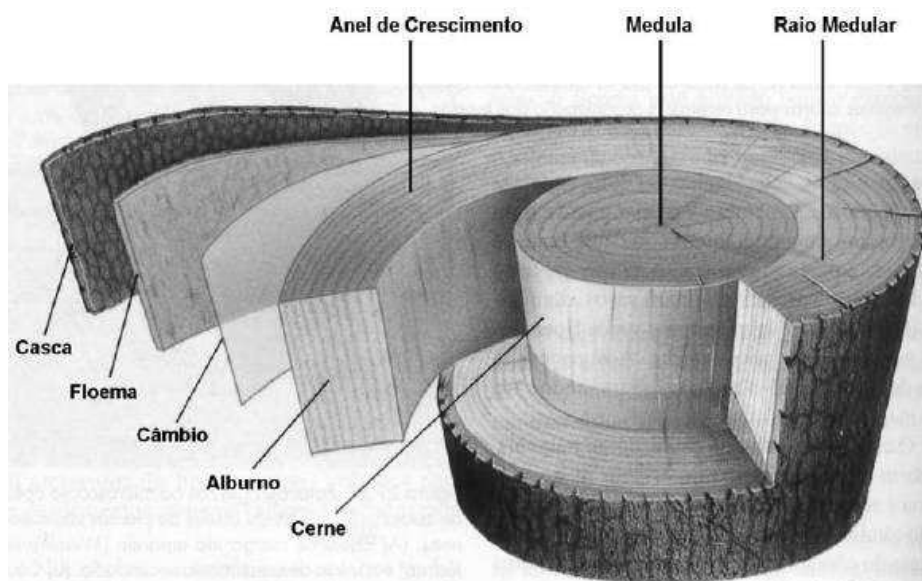
A madeira é um material natural oriundo das árvores, que são constituídas por raiz, tronco e copa basicamente. Em função da sua estrutura anatômica, a madeira pode ser classificada em dois grandes grupos, a saber:

- Gimnospermas: conhecidas como madeiras moles ou “*softwoods*”, não produzem frutos e têm suas sementes descobertas, além de ter folhas perenes em forma de agulha. O Pinus e o Pinho do Paraná são as madeiras mais encontradas na América do Sul (CALIL JUNIOR et al., 2002).

- Angiospermas: dividem-se em monocotiledôneas e dicotiledôneas. As primeiras consistem em gramíneas e palmas. Já as segundas são chamadas de “*hardwoods*”, ou madeiras duras, e abrangem cerca de 65% das espécies conhecidas, como o Eucalipto, Ipê e Jatobá (BAUER, 2008).

Uma vez que o tronco é a parte que dá origem a esse material de construção, pode-se detalhar uma seção de árvore e distingui-la por partes bem definidas. A Figura 1 indica essas camadas: casca, floema, câmbio, lenho (alburno e cerne), medula, raios medulares e anéis de crescimento (BAUER, 2008).

Figura 1 - Corte transversal do tronco de uma árvore



Fonte: Amabis; Martho, 1995, apud Hortegal, s.d.

Segundo Lepage et al. (1986) e Negrão e Faria (2009), o cerne e o alburno são as partes mais utilizadas na construção civil. O alburno é composto por células vivas que são responsáveis pela condução da seiva bruta (água e sais minerais), o que, conseqüentemente, torna essa região mais suscetível ao ataque de agentes bióticos. Com o decorrer do tempo, as células da parte mais interna perdem a atividade fisiológica e dão origem à formação do cerne. Essa camada do tronco é a de maior interesse nas estruturas de madeira por ser mais densa e possuir maior resistência.

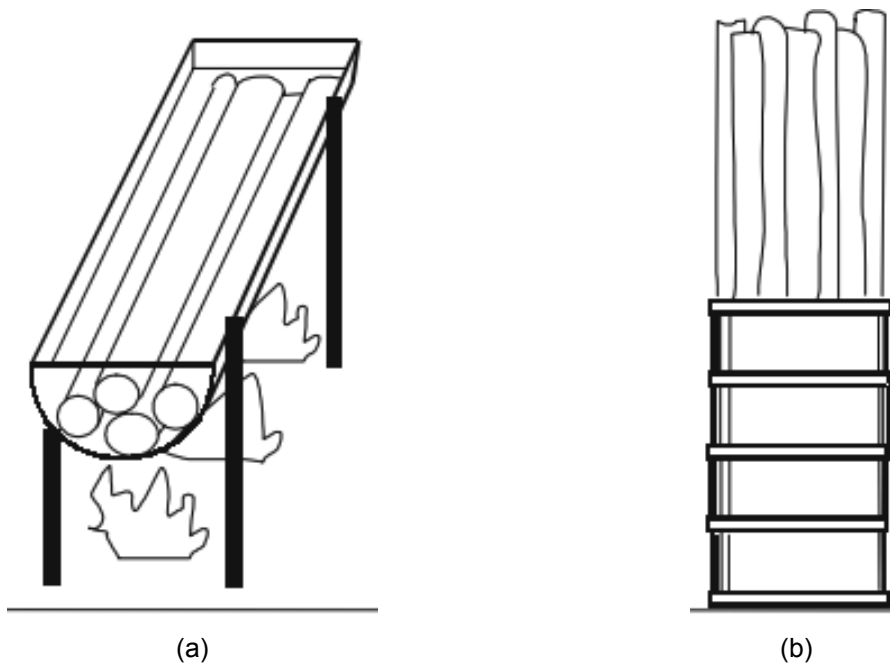
Pelo fato de ser um material de natureza orgânica, a madeira está suscetível à decomposição e à deterioração após ser extraída, sendo que os agentes bióticos (microrganismos, insetos, brocas marinhas) e abióticos (intempéries, produtos químicos) aceleram esses processos (SILVA, 2007).

Com o intuito de proporcionar maior resistência frente aos organismos deterioradores, aumentando assim a vida útil da madeira e reduzindo os custos com substituição, são realizadas medidas preventivas por meio da aplicação de preservantes químicos adequados a cada tipo de madeira (LEBOW, 2010). Esses procedimentos são citados pela Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM) a saber:

- Processos não industriais: tratam-se de métodos que não utilizam pressão para aplicar o preservante na madeira. Segundo Jankowsky (1990), os mais comuns e eficientes são os processos do banho quente-frio e da substituição de seiva.

No primeiro método, utiliza-se madeira seca e sem casca que é submetida primeiramente ao banho quente onde ocorrerá absorção do preservativo e expansão do ar presente nas cavidades da madeira (Figura 2.a). Em seguida, é transferida para um tambor contendo preservativo frio (Figura 2.b), o que acarretará em penetração profunda do produto devido ao vácuo formado pela rápida contração do ar aquecido (GALVÃO et al., 2004).

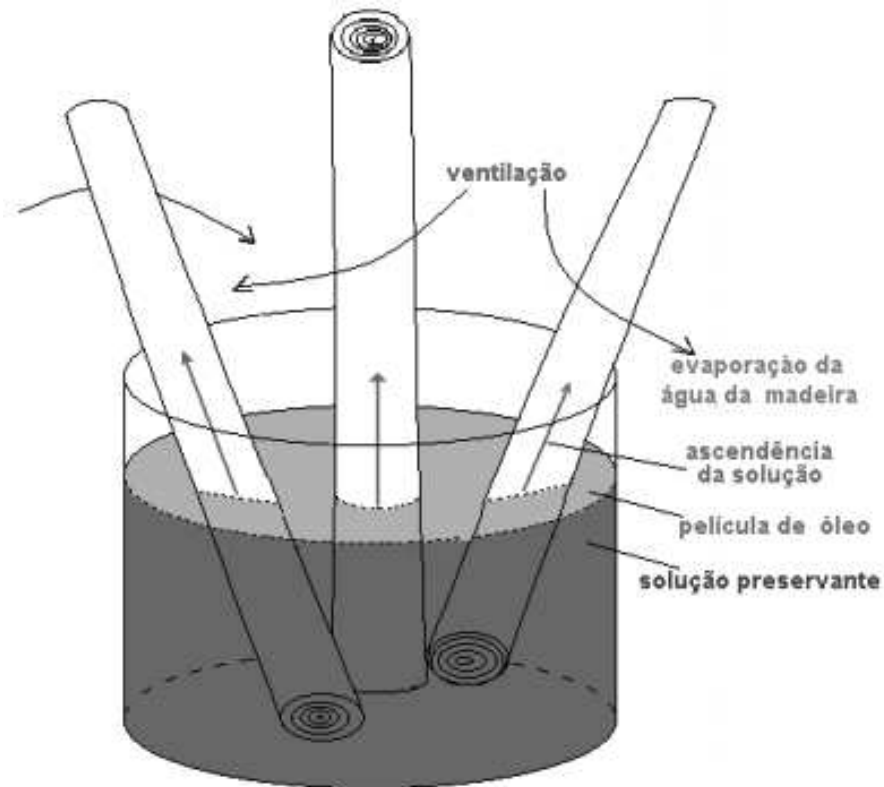
Figura 2 - Esquema do processo do banho quente-frio com madeira seca e sem casca



Fonte: Galvão et al., 2004.

Já o segundo método necessita ser realizado no máximo 24 horas após o corte da madeira, ou seja, é utilizado o material ainda verde para que haja a evaporação da seiva de modo a promover um fluxo capilar ascendente que induza a penetração da solução preservativa (Figura 3).

Figura 3 - Representação gráfica do processo de tratamento da madeira por substituição de seiva por capilaridade

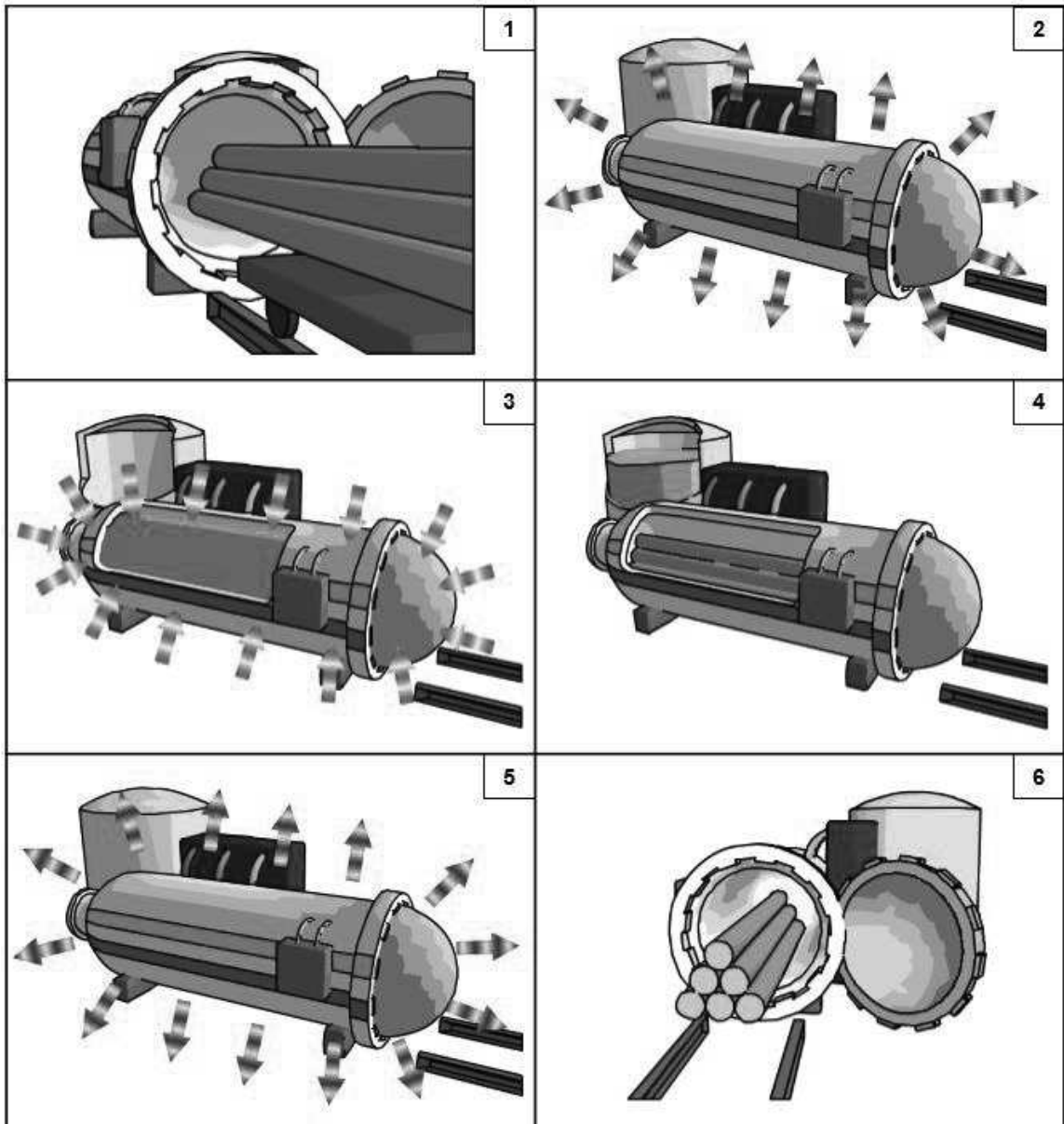


Fonte: Moreschi, 2013.

- Processos industriais: referem-se aos métodos executados nas Usinas de Preservação de Madeira (UPMs) que realizam o tratamento da madeira com o uso de autoclaves, bombas de vácuo e de pressão.

A Figura 4 mostra um esquema de como é realizado esse processo: (1) a madeira seca é colocada na autoclave; (2) aplica-se vácuo para retirar o ar dos capilares da madeira; (3) a solução preservativa é transferida para a autoclave e injetada na madeira sob pressão até a saturação; (4) alivia-se a pressão e retira-se a solução remanescente; (5) aplica-se vácuo novamente para retirar o excesso de preservativo da superfície da madeira; (6) retirada do material tratado da autoclave.

Figura 4 - Esquema do processo de tratamento da madeira em autoclave



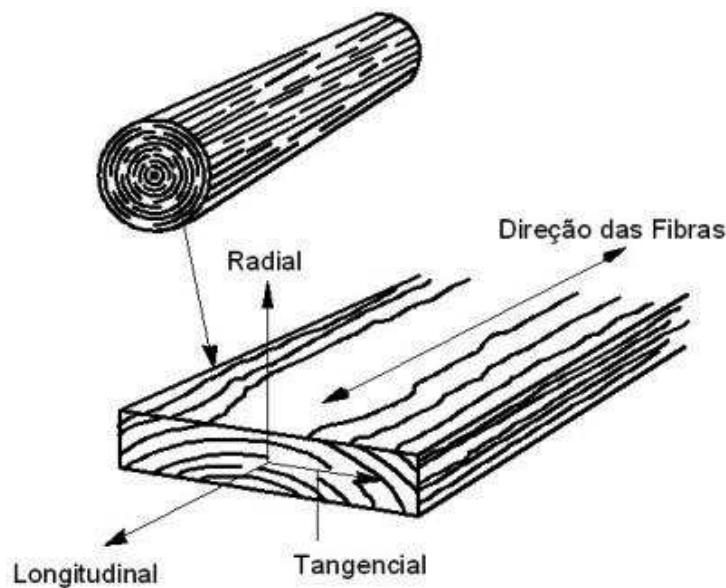
Fonte: adaptado da ABPM.

Ressalta-se que, antes da escolha de qualquer tratamento, deve-se considerar os preservantes adequados para cada espécie e as condições de exposição que a madeira será submetida por exemplo. Além disso, os produtos químicos usados como preservativos devem atender a requisitos como eficiência, segurança e custo (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 2003; LEPAGE et al., 1986).

2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Uma característica relevante da madeira é o fato de essa ser um material anisotrópico, ou seja, possuir propriedades mecânicas únicas e independentes nas direções dos três eixos perpendiculares entre si: longitudinal, radial e tangencial. O eixo longitudinal é paralelo às fibras; o eixo radial é perpendicular aos anéis de crescimento; e o eixo tangencial é tangencial aos anéis de crescimento (PFEIL e PFEIL, 2003; KRETSCHMANN, 2010), conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Direções radial, longitudinal e tangencial



Fonte: Ritter, 1992, apud Oliveira et al., 2003.

No entanto, pelo fato das propriedades nos sentidos tangencial e radial não diferirem significativamente, considera-se apenas propriedades paralelas e perpendiculares às fibras para efeitos práticos de projetos (FERNÁNDEZ-VILLEGAS; ECHENIQUE-MANRIQUE, 1991).

A norma NBR 7190 (ABNT, 1997) sugere valores médios de propriedades mecânicas de algumas espécies de dicotiledôneas e coníferas. A resistência, uma das principais propriedades mecânicas da madeira, depende do ângulo do esforço aplicado em relação às fibras, se normal ou paralela (NEGRÃO; FARIA, 2009). Ao analisar a Tabela 1 que consta na norma citada, por exemplo, é possível notar significativa diferença no caso da conífera conhecida como Pinho do Paraná: sua resistência à tração no sentido paralelo às fibras (f_{t0}) é quase 60 vezes superior à mesma resistência no sentido perpendicular (f_{t90}).

Tabela 1 - Classes de resistência das coníferas

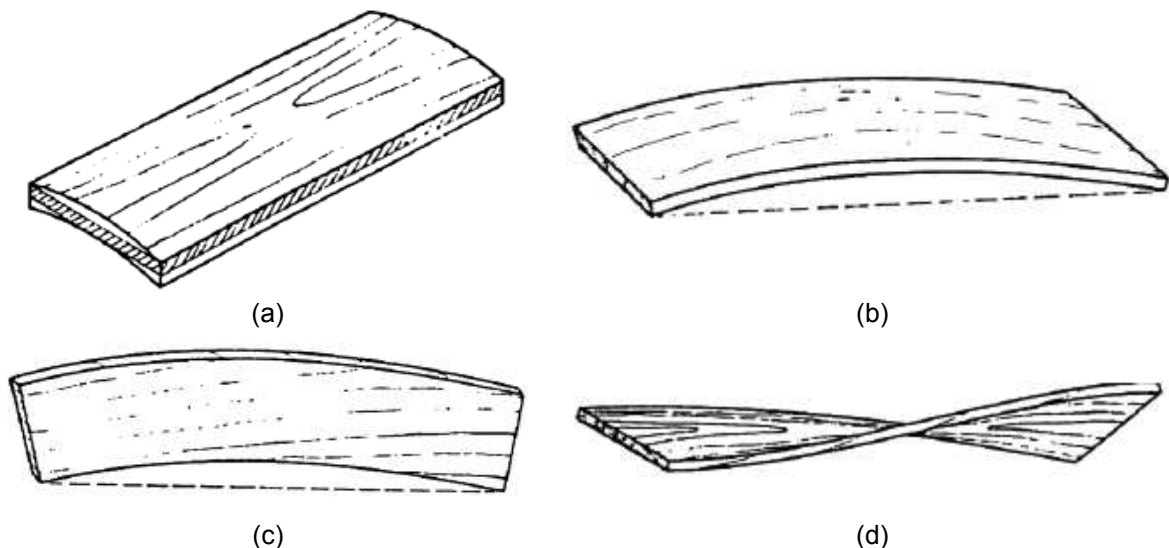
Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ kg/m ³	f_{c0} MPa	f_{t0} MPa	f_{i90} MPa	f_v MPa	E_{c0} MPa	n
Pinho do Paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15 225	15
<i>Pinus caribea</i>	<i>Pinus caribea var. caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8 431	28
<i>Pinus bahamensis</i>	<i>Pinus caribea var. bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7 110	32
<i>Pinus hondurensis</i>	<i>Pinus caribea var. hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9 868	99
<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus elliottii var. elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11 889	21
<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinus oocarpa shiede</i>	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10 904	71
<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13 304	15

Fonte: adaptado da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Entretanto, esta propriedade mecânica pode sofrer influência devido à higroscopia da madeira, isto é, a capacidade de assimilação (adsorção) ou de perda (dessorção) de água decorrente do teor de umidade do ambiente. Esses fenômenos causam inchamento e retração nas peças de madeira respectivamente. Enquanto o primeiro se caracteriza pelo aumento das dimensões, o segundo as reduz, ocasionando assim variações dimensionais com valores diferentes nas três direções da madeira em razão da anisotropia: desprezíveis na direção longitudinal e cerca de duas vezes mais na direção tangencial que na radial (CALIL JUNIOR et al., 1998; MORESCHI, 2005).

Em virtude desta diferença de variação dimensional entre suas direções, Brown, Panshin e Forsaith (1949) explicam que, durante a etapa de secagem da madeira, podem ocorrer distorções nas peças em relação aos planos originais de suas superfícies (Figura 6).

Figura 6 - Alguns tipos de empenamentos: (a) encanoamento/abaulamento, (b) encurvamento, (c) arqueamento e (d) torcimento



Fonte: Jankowsky e Galina, 2013.

De acordo com Simpson (1983), essas deformações podem ser reduzidas adotando medidas de controle nas fases de desdobro, empilhamento e secagem da madeira por exemplo.

2.3 SISTEMAS ESTRUTURAIS EM MADEIRA

Por ter baixo custo de produção, boa resistência mecânica e boa trabalhabilidade, a madeira pode ser vista em diversas etapas de uma construção, sendo como escoramento, formas para concreto, em esquadrias e até mesmo com emprego na decoração, como em painéis e guarnições. No entanto, uma das principais formas encontradas é a madeira com função estrutural em sistemas de coberturas. Nesse quesito, as madeiras de Pinus e de Eucalipto são as mais usuais no Brasil por apresentarem mais estabilidade e maior disponibilidade (IPT, 2003).

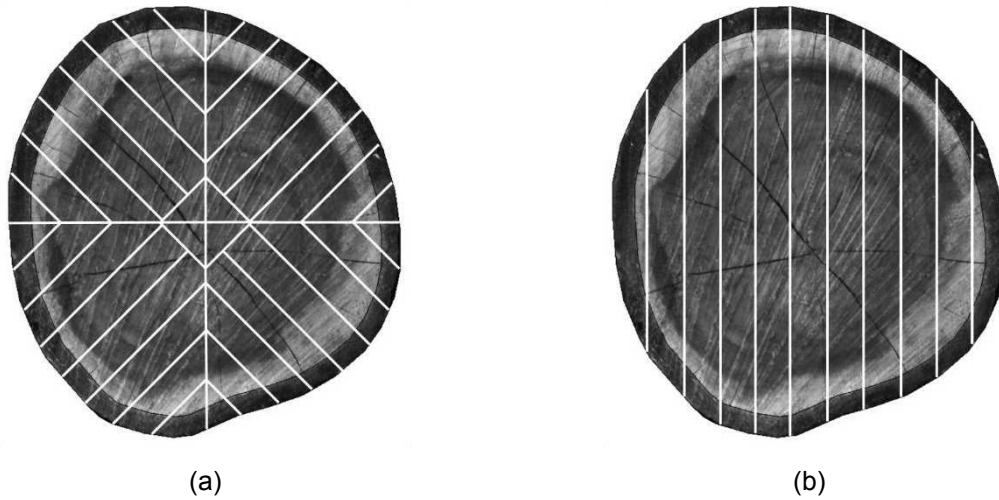
Conforme Pfeil e Pfeil (2003), nesse tipo de estrutura, o mais comum é utilizar peças serradas com dimensões padronizadas pela NBR 7203 (ABNT, 1982) (Tabela 2) que são produtos do desdobramento. Inicialmente, divide-se o tronco em quatro partes e o desdobro é realizado na direção radial, ou seja, perpendicular aos anéis de crescimento (Figura 7.a). Outro processo de corte utilizado é serrar a madeira em pranchas paralelas como mostrado na Figura 7.b.

Tabela 2 - Dimensões das peças serradas mais comuns com comprimentos variáveis

Nome da peça	Espessura (cm)	Largura (cm)
Pranchão	> 7,0	> 20,0
Prancha	4,0 - 7,0	> 20,0
Viga	> 4,0	11,0 - 20,0
Vigota	4,0 - 8,0	8,0 - 11,0
Caibro	4,0 - 8,0	5,0 - 8,0
Tábua	1,0 - 4,0	> 10,0
Sarrafo	2,0 - 4,0	2,0 - 10,0
Ripa	< 2,0	< 10,0

Fonte: adaptado da NBR 7203 (ABNT, 1982).

Figura 7 - Desdobramento (a) radial e (b) em pranchas paralelas



Fonte: adaptado de Pfeil e Pfeil, 2003.

Para a escolha do sistema estrutural de uma cobertura em madeira, o projetista deve considerar a interação entre a concepção arquitetônica e estrutural do projeto. Entre os sistemas lineares, Hasegawa (s.d.) cita estruturas como treliças planas, pórticos e arcos conforme exemplificado nas Figuras 8, 9 e 10 respectivamente.

Figura 8 - Residência com tesouras de madeira



Fonte: Galeria da Arquitetura, s.d.

Figura 9 - Pórticos em madeira laminada colada na Biblioteca e Centro Cultural em Vennessla, Noruega



Fonte: concursosdeprojeto.org, 2012.

Figura 10 - Jardim de Inverno de Sheffield com cobertura feita com arcos de madeira laminada colada, em Sheffield, Inglaterra



Fonte: The Academy of Urbanism, 2016.

A respeito das treliças, Fernández (2010) menciona que essas são amplamente utilizadas na engenharia por oferecerem uma solução estrutural mais leve (com deslocamentos verticais menores) e mais econômica, quando comparadas a vigas de madeira maciça.

Segundo Plesha, Gray e Costanzo (2014), a treliça trata-se de uma estrutura formada por um conjunto de barras interligadas nas suas extremidades por articulações denominadas de nós. Usualmente, essas barras são elementos retos, já que resistem a forças axiais (tração e compressão) com mais eficiência quando comparadas a elementos curvos - que suportam flexão e, logo, necessitam de uma quantidade maior de material para que sejam rígidos.

De acordo com Beer e Jonhston (1994), a aplicação das cargas deve ser localizada nas juntas das barras, pois como as barras apresentam em geral uma estrutura delgada, suportam pequenas cargas laterais. Os nós são construídos com ligações semirrígidas, como pinos metálicos, cavilhas e conectores.

Mello (2007) classifica as treliças planas de madeira de acordo com a sua geometria, a saber:

- Bowstring (banzo superior arqueado): indicada para vãos entre 15 e 25 m e para cargas distribuídas por apresentar desenho semelhante a linha de pressão, ou seja, apresenta geometria parabólica conforme Figura 11;

Figura 11 - Treliça do tipo Bowstring



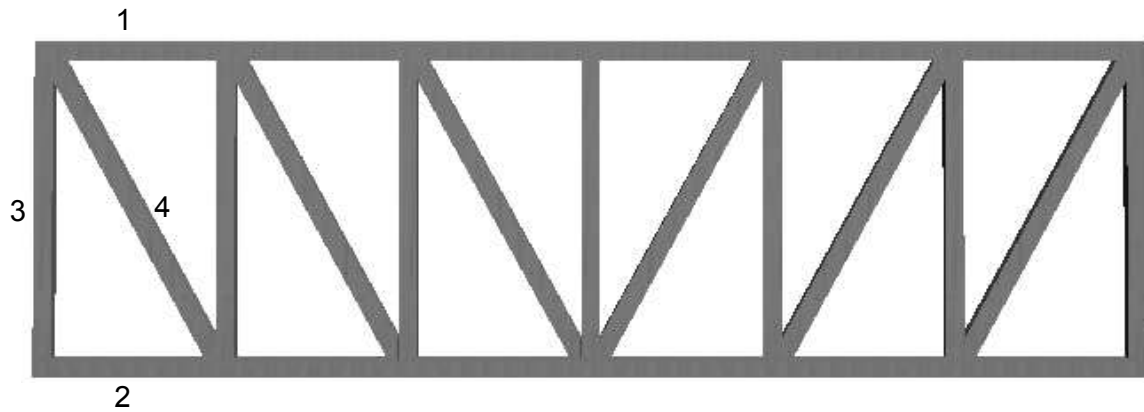
LEGENDA

1 - Banzo superior	3 - Diagonal
2 - Banzo inferior	4 - Montante

Fonte: elaborada no *software* ArchiCAD.

- Plana com banzos paralelos: indicada para estruturas de pontes e suportes de pisos (Figura 12);

Figura 12 - Treliça plana com banzos paralelos



LEGENDA

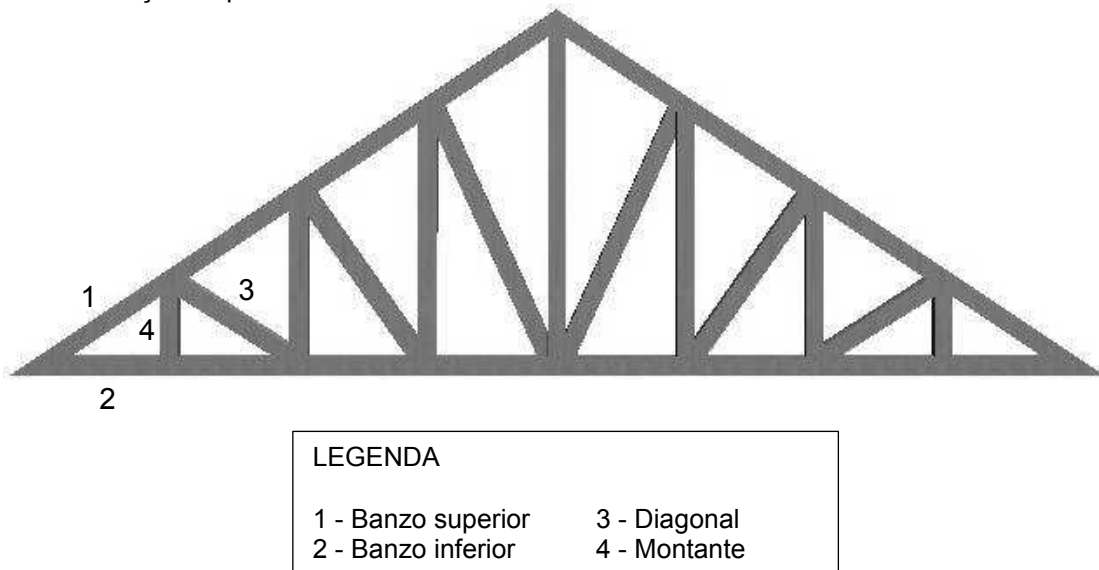
1 - Banzo superior	3 - Diagonal
2 - Banzo inferior	4 - Montante

Fonte: elaborada no *software* ArchiCAD.

- Triangular: é a forma mais utilizada no Brasil. Pode ser executada com peças simples, duplas ou compostas. Existem vários modelos desse tipo de treliça, os mais conhecidos são: Howe, Pratt e Belga.

Segundo Sedano (2006), a treliça do tipo Howe apresenta diagonais comprimidas e os montantes tracionados. As barras de montantes centrais não devem ter comprimentos maiores que 4 metros. Esse tipo de treliça é comumente utilizado para vencer vãos de pequena e média ordem, ou seja, até 18 m (Figura 13).

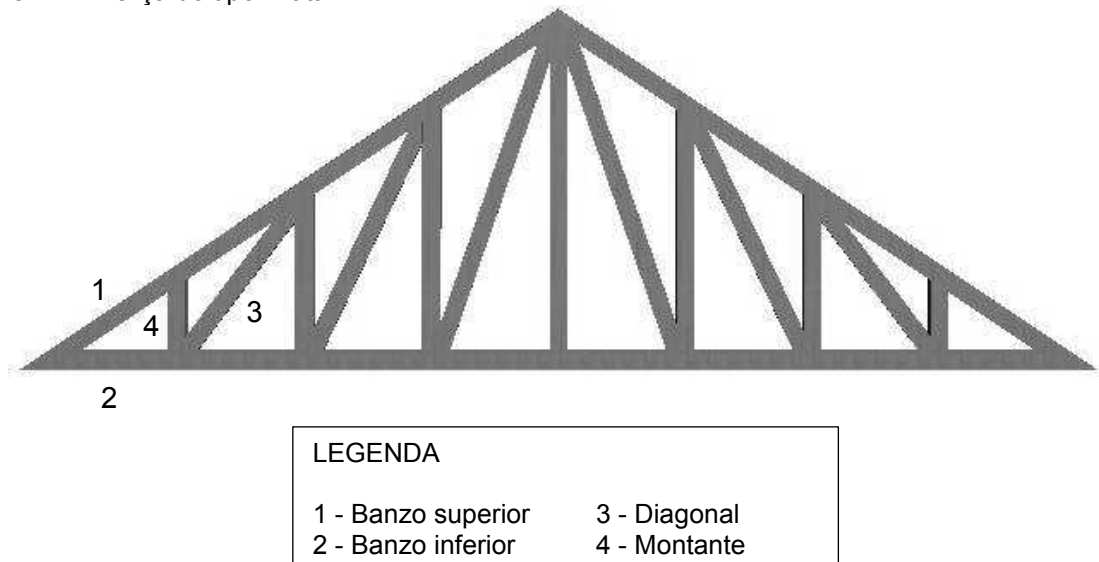
Figura 13 - Treliça do tipo Howe



Fonte: elaborada no *software* ArchiCAD.

Já as treliças do tipo Pratt são recomendadas para vãos que variam entre 18 a 30 metros e apresentam diagonais invertidas (Figura 14). A principal vantagem da utilização desse tipo de treliça refere-se ao tamanho das barras comprimidas que são menores que as barras tracionadas (SEDANO, 2006).

Figura 14 - Treliça do tipo Pratt

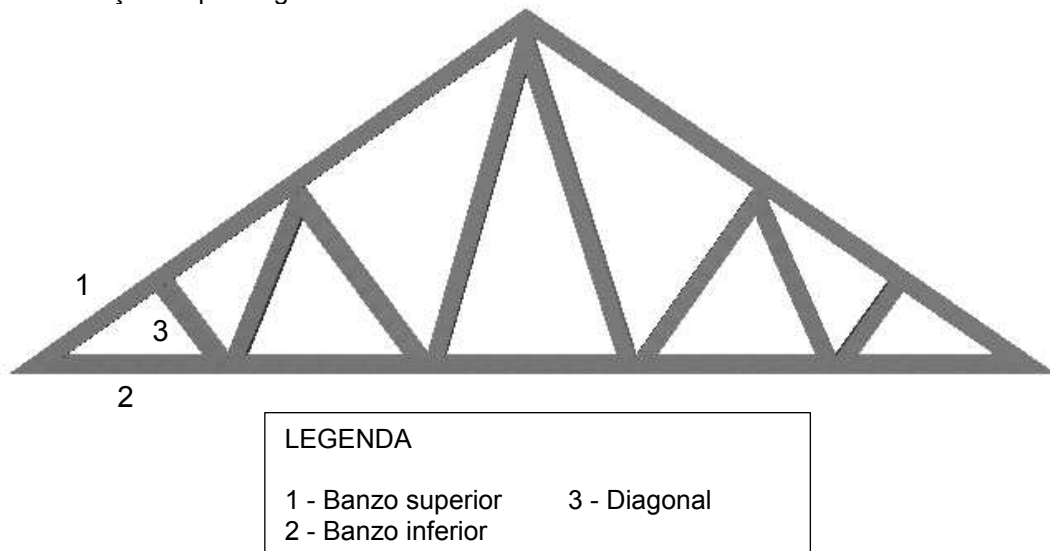


Fonte: elaborada no *software* ArchiCAD.

A treliça do tipo Belga é recomendada para vãos de 18 a 25 metros. As montantes são mais curtas dos que as diagonais e os montantes comprimidos são

perpendiculares ao banzo superior (Figura 15). Basicamente, a treliça do tipo Belga é uma variante do tipo Pratt (SEDANO, 2006).

Figura 15 - Treliça do tipo Belga



Fonte: elaborada no *software* ArchiCAD.

2.4 AÇÃO DO VENTO

No dimensionamento de uma estrutura de madeira, uma das principais cargas acidentais que devem ser consideradas é o vento, visto que sua ação pode ocasionar em ruína parcial ou total das edificações (GONÇALVES et al., 2007).

Visto que a vida útil de uma estrutura, em geral, é considerada igual a 50 anos, é necessário definir parâmetros característicos para tentar garantir a duração daquela edificação. A norma NBR 6123 (ABNT, 1988) sugere uma sequência de cálculos que estimam a força do vento que atua em uma edificação de acordo com alguns parâmetros, a saber:

a) Velocidade básica (V_0): cada região está sujeita a uma velocidade do vento, sendo que essa pode ser estimada a partir de um mapa de isopletras.

b) Velocidade característica (V_k): trata-se da velocidade que atuará em certa edificação e que depende de aspectos particulares como:

b.1) Topografia do local, ou seja, se o relevo do terreno é plano, refere-se a vales protegidos ou a talude e morros;

b.2) Rugosidade do terreno (presença de obstáculos) e dimensões da edificação, que geram um fator que varia de 0,67 a 1,35 vide Tabela 2 da NBR 6123 (ABNT, 1988);

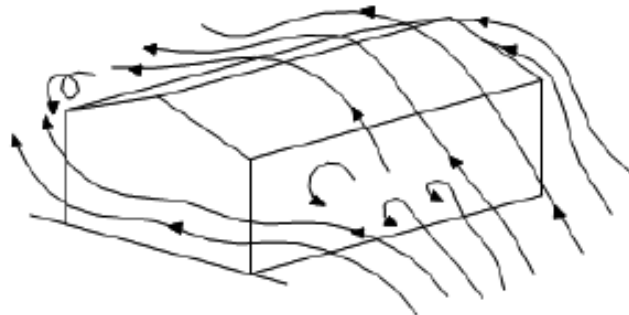
b.3) Tipo de ocupação e risco de vida, que depende se a edificação é destinada a hotéis, residências, hospitais ou silos por exemplo.

c) Pressão dinâmica do vento (q) que equivale à velocidade característica em condições normais de pressão dada pela Equação (1) em N/m^2 ;

$$q = 0,613 V_k^2 \quad (1)$$

d) Coeficientes aerodinâmicos (C_p): são determinados por meio da trajetória do vento ao passar pelas edificações (Figura 16) considerando suas aberturas e dimensões.

Figura 16 - Trajetória do vento incidindo em uma edificação



Fonte: Gonçalves et al., 2007.

Isto posto, é possível definir a força do vento (F) atuante em uma dada área (A) de edificação como sendo (Equação 2):

$$F = C_p \cdot q \cdot A \quad (2)$$

Essa força pode ser positiva ou negativa dependendo do coeficiente de pressão, ou seja, quando há uma sobrepressão, haverá acréscimo de carga sobre o telhado. De modo contrário, uma sucção aliviará essa carga atuante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise do efeito da velocidade básica do vento atuando sobre uma estrutura de cobertura de madeira de um galpão no volume de material demandado realizada neste trabalho considerou alguns parâmetros que são apresentados neste capítulo, divididos nos seguintes subitens: especificações da edificação, cargas atuantes e dimensionamento das barras das tesouras.

3.1 ESPECIFICAÇÕES DA EDIFICAÇÃO

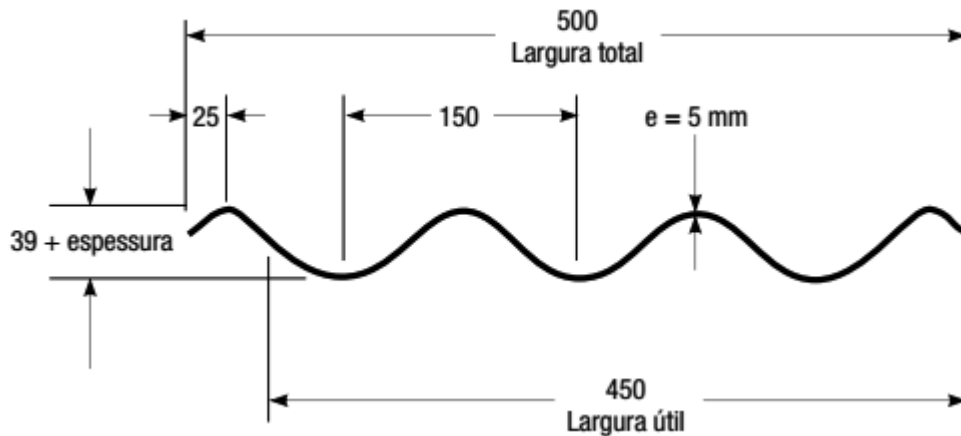
A edificação objeto deste estudo consistiu em um galpão comercial com comprimento de 20 m e largura variando entre 5, 10 e 20 m, que será localizada na cidade de Toledo, Paraná, com pé direito de 4,00 m, vedação em blocos de alvenaria estrutural e cobertura aparente - sem forro.

As aberturas consideradas foram: uma porta (4,00 x 3,00 m) centralizada em cada um dos menores lados e cinco janelas (2,00 x 1,00 m) distribuídas ao longo de cada um dos outros dois lados, conforme projeto arquitetônico apresentado no Apêndice A. Admitiu-se que a construção será hermeticamente fechada, ou seja, sem a influência das frestas entre a alvenaria e a cobertura.

A estrutura de cobertura consistiu em tesouras do tipo Howe de madeira da espécie *Araucaria angustifolia*, comumente denominada como Pinho do Paraná, por se tratar de uma conífera conhecida na região de Toledo-PR. As propriedades mecânicas desta espécie de madeira foram apresentadas na Tabela 1.

O telhado foi formado por duas águas com inclinação de 15° e beiral de 15 cm, sendo a telha de fibrocimento do tipo Ondina Plus na cor cerâmica, com espessura de 5 mm, peso de 16 kg/m² e vão livre máximo de 1,15 m (Figura 17).

Figura 17 - Dimensões da telha de fibrocimento que foi utilizada



Fonte: Brasilit, 2014.

3.2 CARGAS ATUANTES

3.2.1 Cargas permanentes

Uma das cargas permanentes atuantes é o peso próprio da estrutura, a qual foi estimada multiplicando-se a área da seção transversal pelo comprimento de cada barra. Como a área inicialmente era desconhecida, adotou-se as dimensões mínimas especificadas no subitem 10.2.1 da NBR 7190 (ABNT, 1997), ou seja, espessura e área mínimas de 5 cm e 50 cm² respectivamente.

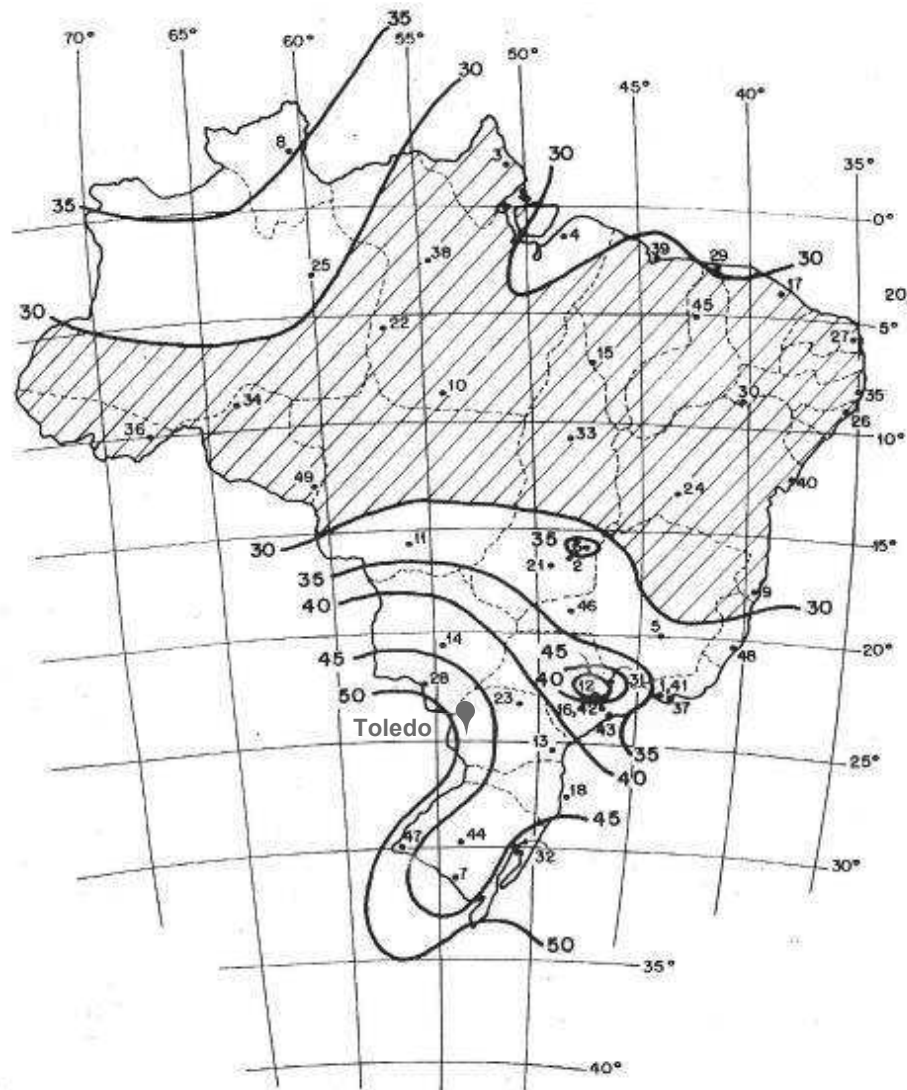
Para a vedação da cobertura, foram consideradas telhas de fibrocimento que, de acordo com o fabricante, necessitam estar apoiadas em terças. Estas, por serem peças secundárias, a mesma norma citada sugere que a espessura e a área mínimas sejam de 2,5 cm e 18 cm² respectivamente.

Por fim, o peso das telhas, que também se trata de uma carga permanente, foi considerado como 16 kg/m², conforme especificado pelo fabricante.

3.2.2 Cargas acidentais

As cargas acidentais que foram consideradas são: a ação do vento e uma carga de uso e ocupação. A primeira foi obtida a partir da velocidade básica do vento estimada de acordo com o mapa das isopletras presente na NBR 6123 (ABNT, 1988) para a região de Toledo-Paraná (Figura 18).

Figura 18 - Região da cidade de Toledo (PR) indicada no mapa de isopletas



Fonte: adaptado da NBR 6123 (ABNT, 1988).

Nota-se na Figura 18 que a velocidade básica do vento para a região em estudo é entre 45 e 50 m/s, logo, adotou-se o valor de 48 m/s. Como variáveis da pesquisa, também foi analisado o efeito do vento considerando uma velocidade básica de 0 m/s e uma intermediária de 24 m/s.

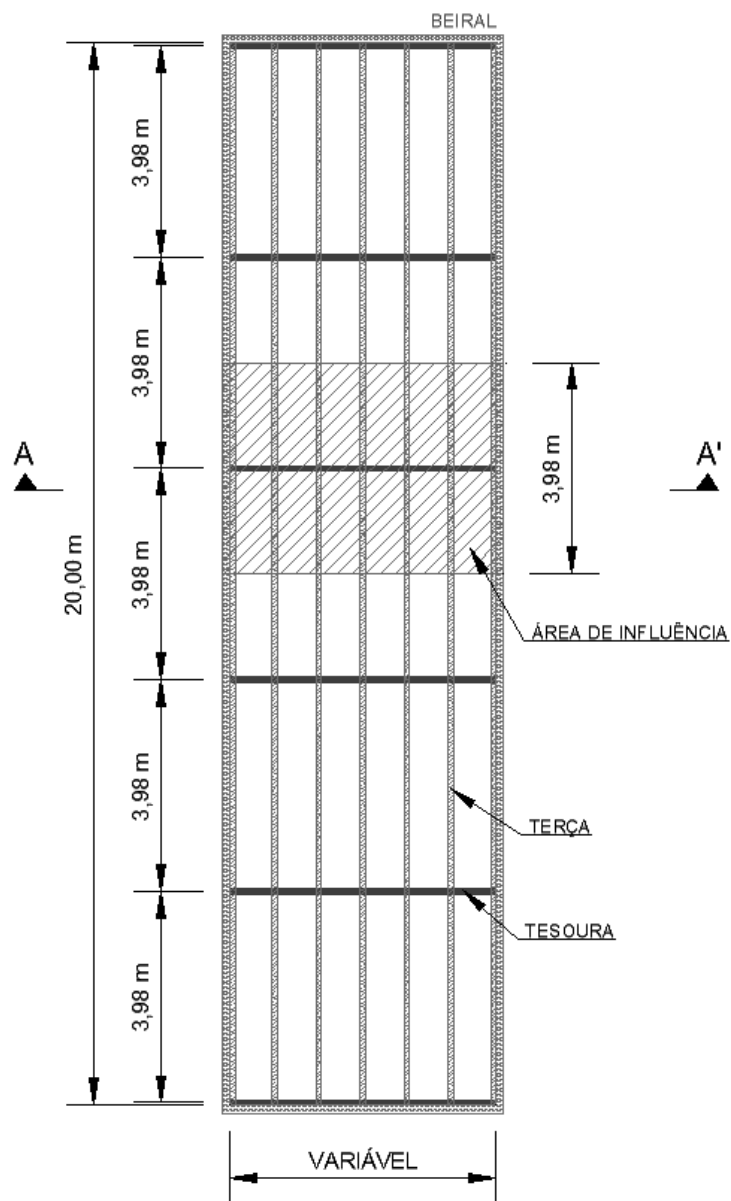
Todo o procedimento para obtenção das forças do vento atuantes sobre a estrutura foi realizado por meio da NBR 6123 (ABNT, 1988).

A respeito da carga acidental vertical de uso e ocupação, esta foi adotada a partir da NBR 6120 (ABNT, 1980) que sugere o valor de 0,5 kN/m².

3.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA

O cálculo da estrutura de cobertura foi realizado a partir das tesouras dispostas no meio da edificação, visto que esta recebe maior carga se comparada à tesoura da extremidade. Logo, a área de influência foi obtida a partir da metade do vão entre as tesouras multiplicada pela largura que varia entre 5, 10 e 20 m (Figura 19).

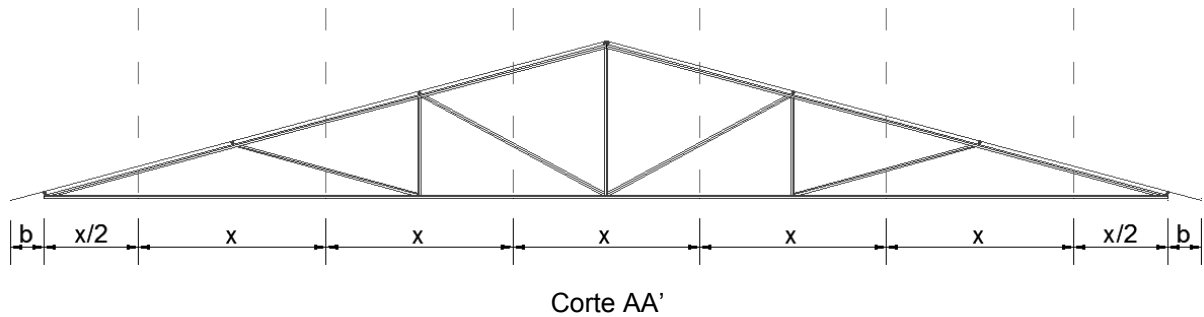
Figura 19 - Área de influência para o pior caso de tesoura



Fonte: elaborada no software AutoCAD.

As cargas atuantes na área de influência foram distribuídas pontualmente nos nós de acordo com a faixa de influência de cada um, sendo que para as cargas de telha, ventos e uso e ocupação foi acrescida a largura (b) do beiral nos nós das extremidades (Figura 20).

Figura 20 - Faixa de influência delimitando a carga atuante em cada nó



Fonte: elaborada no software AutoCAD.

Uma vez que as cargas referentes ao peso da terço, telha e ventos eram inclinadas, essas foram decompostas nas direções x e y. As forças referentes ao peso da tesoura e ao uso e ocupação eram verticais, ou seja, atuavam somente na direção y.

3.3.1 Verificação das terças

Posto que as terças recebem as cargas de vento, das telhas e acidental (referente ao uso e ocupação), foi necessário verificar se suas dimensões atendiam às condições de segurança de flexão oblíqua, cisalhamento e flecha. Para isso, utilizou-se como referência a NBR 7190 (ABNT, 1997) e Moliterno (2010).

A verificação à flexão oblíqua é considerada pela condição mais rigorosa entre as duas apresentadas a seguir (Equações 3 e 4).

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (3)$$

$$k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (4)$$

Onde:

$\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$: tensões máximas devidas às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais, calculadas pela Equação (5);

f_{wd} : respectiva resistência de cálculo, de tração ou de compressão conforme a borda verificada;

k_M : coeficiente de correção, que pode ser considerado como 0,5 para seção retangular.

$$\sigma_{M,d} = \frac{M_d}{I} \cdot y \quad (5)$$

Onde:

M_d : momento fletor na direção considerada, dado pela Equação (6);

y : distância da linha neutra até a borda;

I : momento de inércia da seção transversal na direção considerada.

$$M_d = q \frac{L^2}{8} \quad (6)$$

Onde:

q : resultante das cargas por metro linear na direção considerada;

L : distância entre as tesouras.

A condição de segurança que deve ser atendida para cisalhamento em ambas direções (x e y) para peças de seção retangular é apresentada na Equação (7).

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2 bh} \leq f_{v0,d} \quad (7)$$

Onde:

τ_d : máxima tensão de cisalhamento atuando no ponto mais solicitado da peça;

V_d : força cortante na direção considerada, dada pela Equação (8);

b : largura da peça na direção considerada;

h : altura da peça na direção considerada;

$f_{v0,d}$: resistência de cálculo ao cisalhamento paralelo às fibras.

$$V_d = \frac{qL}{2} \quad (8)$$

E, por fim, a verificação da flecha (f) que é realizada por meio da Equação (9).

$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E_{c0,ef} I} \leq f_{adm} \quad (9)$$

Onde:

$E_{c0,ef}$: valor efetivo do módulo de elasticidade paralelamente às fibras, dado pela Equação (10);

f_{adm} : flecha admissível dada por $L/200$.

$$E_{c0,ef} = k_{mod} \cdot E_{c0,m} \quad (10)$$

Onde:

k_{mod} : coeficiente de modificação, dado pela Equação (11);

$E_{c0,m}$: valor médio do módulo de elasticidade paralelamente às fibras.

$$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \quad (11)$$

Onde:

k_{mod1} : considera a classe de carregamento e o tipo de material empregado;

k_{mod2} : considera a classe de umidade e o tipo de material empregado;

k_{mod3} : considera se a madeira empregada é de primeira ou segunda categoria.

No caso do objeto de estudo, a madeira que é do tipo serrada estará sujeita a carregamento de longa duração ($k_{mod1} = 0,70$), exposta em um ambiente com umidade relativa entre 70 e 75% ($k_{mod2} = 1,0$) de acordo com Prefeitura Municipal de Toledo (2007) e é de segunda categoria ($k_{mod3} = 0,8$).

3.3.2 Dimensionamento das barras das tesouras

O dimensionamento da tesoura foi realizado com o auxílio do software Microsoft Excel® e da ferramenta computacional Ftool. Seguiram-se as recomendações da norma NBR 7190 (ABNT,1997), calculando-se as possíveis combinações atendendo o estado limite último (E.L.U.) dado pela Equação (12)

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{Gi} \cdot F_{Gi,k}) + \gamma_Q \cdot \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\psi_{0j} F_{Qj,k}) \right] \quad (12)$$

Onde:

F_d : valor de cálculo da combinação;

γ_{Gi} : coeficiente de ponderação das ações permanentes;

$F_{Gi,k}$: valor característico das ações permanentes;

γ_Q : coeficiente de ponderação da ação variável considerada como principal;

$F_{Q1,k}$: valor característico da ação variável considerada como principal;

$\psi_{0j} F_{Qj,k}$: valores reduzidos de combinação das demais ações variáveis.

No total, foram consideradas oito combinações envolvendo peso próprio da tesoura (p_{tes}), peso das terças (p_{ter}), peso das telhas (p_{tel}), força do vento de sobrepressão (v_1), força do vento de sucção (v_2) e ação vertical do uso e ocupação (u.o.).

- a) C₁: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel}$;
- b) C₂: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel} + v_1$;
- c) C₃: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel} + u.o.$;
- d) C₄: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel} + v_2$;
- e) C₅: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel} + v_1 + u.o.$;
- f) C₆: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel} + v_2 + u.o.$;
- g) C₇: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel} + u.o. + v_1$;
- h) C₈: $p_{tes} + p_{ter} + p_{tel} + u.o. + v_2$.

A partir das combinações, foram obtidas as maiores forças de tração (+) e compressão (-) a que cada barra estava submetida.

3.3.2.1 Resistência à tração paralela às fibras

De acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), as barras sujeitas a esforços axiais de tração devem garantir a condição de segurança expressa pela Equação 13.

$$\sigma_{Nt,d} = \frac{N_d}{A} \leq f_{t0,d} \quad (13)$$

Onde:

$\sigma_{Nt,d}$: valor de cálculo da tensão de tração devida à força normal de tração;

N_d : esforço normal de cálculo;

A : área da seção transversal da peça considerada;

$f_{t0,d}$: valor de cálculo da resistência à tração paralela às fibras, sendo obtido pela Equação (14).

$$f_{t0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t0,k}}{\gamma_{wt}} \quad (14)$$

Onde:

$f_{t0,k}$: valor característico da resistência à tração paralela às fibras, obtido pela Equação (15) para espécies conhecidas;

γ_{wt} : coeficiente de ponderação de tração.

$$f_{t0,k} = 0,70 f_{t0,m} \quad (15)$$

Onde:

$f_{t0,m}$: valor médio da resistência à tração paralela às fibras.

3.3.2.2 Resistência à compressão paralela às fibras

O dimensionamento das peças solicitadas à compressão simples depende da sua esbelteza, definida pela Equação (16).

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\min}} \quad (16)$$

Onde:

λ : índice de esbeltez;

L_0 : comprimento teórico de referência, sendo $L_0 = L$ para peças em que ambas as extremidades sejam indeslocáveis por flexão;

i_{\min} : raio de giração mínimo de sua seção transversal, sendo calculado pela Equação (17).

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} \quad (17)$$

Onde:

I_{\min} : momento de inércia mínimo da seção transversal da peça relativo ao plano de flexão em que se está considerando;

A: área da seção transversal da peça.

De acordo com o índice de esbeltez, a verificação à compressão deve seguir parâmetros definidos pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

a) Peças curtas

São peças cujo índice de esbeltez é menor ou igual a 40. A condição de segurança é verificada pela Equação (18).

$$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_d}{A} \leq f_{c0,d} \quad (18)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d}$: valor de cálculo da tensão de compressão devida à força normal de compressão;

N_d : esforço normal de cálculo;

$f_{c0,d}$: valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras, sendo obtido pela Equação (19).

$$f_{c0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c0,k}}{\gamma_{wc}} \quad (19)$$

Onde:

$f_{c0,k}$: valor característico da resistência à compressão paralela às fibras, obtido pela Equação (20) para espécies conhecidas;

γ_{wc} : coeficiente de ponderação de compressão.

$$f_{c0,k} = 0,70 f_{c0,m} \quad (20)$$

Onde:

$f_{c0,m}$: valor médio da resistência à compressão paralela às fibras.

b) Peças medianamente esbeltas

Referem-se às peças cujo índice de esbeltez é maior que 40 e menor ou igual a 80. A condição de segurança determinada pela Equação (21) deve ser atendida neste caso.

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mc,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (21)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d}$: é dado pela Equação (18) citada anteriormente;

$\sigma_{Mc,d}$: valor de cálculo da tensão de compressão devida ao momento fletor calculado pela Equação (22).

$$\sigma_{Mc,d} = \frac{M_d}{I} \cdot y \quad (22)$$

Onde:

M_d : momento fletor, dado pela Equação (23);

y : distância da linha neutra até a fibra mais comprimida;

I : momento de inércia da seção transversal da peça relativo ao plano de flexão em que se está verificando a condição de segurança.

$$M_d = N_d \cdot e_d \quad (23)$$

Onde:

e_d : excentricidade de cálculo, dada pela Equação (24).

$$e_d = e_1 \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (24)$$

Onde:

e_1 : excentricidade de primeira ordem, dada pela Equação (25);

F_E : carga crítica, dada pela Equação (28).

$$e_1 = e_i + e_a \quad (25)$$

Onde:

e_i : excentricidade inicial, dada pela Equação (26);

e_a : excentricidade acidental, dada pela Equação (27).

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} \geq \frac{h}{30} \quad (26)$$

Onde:

M_{1d} : momento devido à excentricidade inicial;

h : menor dimensão da seção transversal da peça comprimida.

$$e_a = \frac{L_0}{300} \quad (27)$$

$$F_E = \frac{\pi^2 E_{c0,ef} I}{L_0^2} \quad (28)$$

c) Peças esbeltas

São aquelas cujo índice de esbeltez é maior que 80, não sendo permitido valor maior que 140. A verificação é realizada por meio da Equação (29).

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mc,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (29)$$

Onde:

$\sigma_{Nc,d}$: é dada pela Equação (18);

$\sigma_{Mc,d}$: é dada pela Equação (22) citada anteriormente, sendo o momento fletor M_d expresso pela Equação (30).

$$M_d = N_d \cdot e_{1,ef} \left(\frac{F_E}{F_E - N_d} \right) \quad (30)$$

Onde:

$e_{1,ef}$: excentricidade efetiva de primeira ordem, dada pela Equação (31);

F_E : é dada pela Equação (28) citada anteriormente.

$$e_{1,ef} = e_1 + e_c = e_i + e_a + e_c \quad (31)$$

Onde:

e_i : excentricidade inicial, dada pela Equação (32);

e_a : excentricidade acidental, dada pela Equação (27) citada anteriormente, não se tomando valor menor que $h/30$;

e_c : excentricidade suplementar de primeira ordem que representa a fluência da madeira, dada pela Equação (33).

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{M_{1gd} + M_{1qd}}{N_d} \quad (32)$$

Onde:

M_{1gd} : valor de cálculo do momento devido às cargas permanentes;

M_{1qd} : valor de cálculo do momento devido às cargas variáveis.

$$e_c = (e_{ig} + e_a) \left\{ \exp \left\{ \frac{\phi [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) N_{qk}]} - 1 \right\} \right\} \quad (33)$$

Onde:

e_{ig} : excentricidade inicial devida à carga permanente, dada pela Equação (34);

ϕ : coeficiente de fluência;

N_{gk} : valor característico da força normal devido às cargas permanentes;

N_{qk} : valor característico da força normal devido às cargas variáveis;

ψ_1 e ψ_2 : coeficientes de ponderação, com $\psi_1 + \psi_2 \leq 1$.

$$e_{ig} = \frac{M_{1g,d}}{N_{gd}} \quad (34)$$

Onde:

$M_{1g,d}$: valor de cálculo do momento fletor devido apenas às ações permanentes;

N_{gd} : valor de cálculo da força normal devido às cargas permanentes.

3.3.3 Determinação do volume de madeira

A partir das áreas das seções transversais calculadas para as barras e dos seus respectivos comprimentos, calculou-se o volume de madeira demandado em cada caso.

Ressalta-se que a norma NBR 7190 (ABNT, 1997) recomenda dimensões mínimas de espessura e área da seção transversal. Entretanto, inicialmente foi realizado o dimensionamento da tesoura considerando as menores dimensões possíveis de acordo com as condições de segurança com o intuito de comparar o volume demandado em cada situação. Posteriormente, foram avaliadas as dimensões mínimas e comparadas com os resultados obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e discussões foram apresentados na seguinte ordem: primeiramente foram exibidos os valores obtidos da pressão de vento atuante para os vãos em estudo. Em seguida, apresentou-se as menores seções transversais obtidas para cada barra de acordo com o seus respectivos vãos e velocidades básicas do vento. E, por fim, as seções transversais das mesmas barras respeitando-se as dimensões mínimas recomendadas pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

4.1 CARGA ATUANTE DO VENTO

Devido à geometria da edificação, foram obtidas duas pressões de vento atuantes para cada vão, uma de sobrepressão (+) e outra de sucção (-), conforme valores apresentados na Tabela 3, sendo que quando a velocidade básica do vento é 0 m/s, a pressão é nula.

Tabela 3 - Pressões do vento (em kN/m²) de acordo com a velocidade básica do vento (V_0) e o vão da cobertura

V_0 \ Vão	5 m	10 m	20 m
24 m/s	0,024	0,025	0,026
	-0,242	-0,248	-0,260
48 m/s	0,097	0,099	0,104
	-0,967	-0,993	-1,039

Observa-se que as pressões geradas pelos ventos de sucção são aproximadamente dez vezes superiores aos valores obtidos para sobrepressão.

4.2 SEÇÃO TRANSVERSAL DAS TERÇAS

As dimensões obtidas para as terças, considerando as cargas de peso próprio, carga accidental e de vento, correspondente às combinações de estado limite último e estado limite de serviço, são apresentadas na Tabela 4. Verificou-se que todas as dimensões atenderam aos requisitos da norma NBR 7190 (ABNT, 1997).

Tabela 4 - Seção transversal (em cm) das terças de acordo com o vão da cobertura e a velocidade básica do vento (V_0)

Vão \ V_0	0 m/s	24 m/s	48 m/s
5 m	7,5 x 10,0	7,5 x 10,0	8,0 x 10,0
10 m	7,5 x 11,0	7,5 x 11,0	7,5 x 12,0
20 m	7,5 x 11,0	7,5 x 11,0	7,5 x 12,5

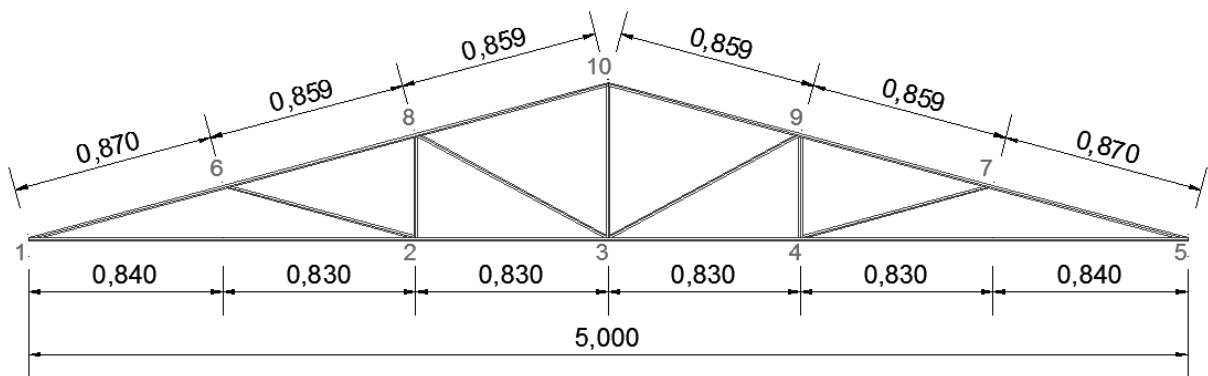
Observou-se que houve uma diferença de cerca de 6 a 12% entre as seções transversais das terças considerando as velocidades básicas do vento extremas, ou seja, 0 e 48 m/s.

4.3 VOLUME DE MADEIRA CONSIDERANDO SEÇÃO CALCULADA

4.3.1 Tesoura com vão de 5 metros

A Figura 21 apresenta a tesoura para o vão de 5 metros com as indicações das barras e dos nós.

Figura 21 – Numeração dos nós da tesoura para vão de 5 m



Fonte: elaborada no software AutoCAD.

Aplicando os carregamentos nos nós com as velocidades básicas do vento iguais a 0, 24 e 48 m/s, foram obtidas as menores seções transversais para as quais as tensões solicitantes eram iguais às resistências da madeira e, multiplicadas pelo comprimento das barras, foram encontrados os volumes de madeira para a tesoura apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7 respectivamente.

Tabela 5 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 0 m/s e vão de 5 m considerando as seções transversais calculadas

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	4 - 5	0,039	0,040	1,670	0,0052
2 - 3	3 - 4	0,034	0,036	0,830	0,0020
6 - 2	4 - 7	0,029	0,029	0,860	0,0014
2 - 8	4 - 9	0,007	0,012	0,447	0,0001
8 - 3	3 - 9	0,031	0,031	0,943	0,0018
3 - 10		0,016	0,021	0,670	0,0002
1 - 6	7 - 5	0,066	0,067	0,870	0,0077
6 - 8	9 - 7	0,059	0,063	0,859	0,0064
8 - 10	10 - 9	0,053	0,056	0,859	0,0051
Σ =					0,0300

Tabela 6 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 24 m/s e vão de 5 m considerando as seções transversais calculadas

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	4 - 5	0,042	0,042	1,670	0,0059
2 - 3	3 - 4	0,031	0,040	0,830	0,0021
6 - 2	4 - 7	0,029	0,029	0,860	0,0014
2 - 8	4 - 9	0,012	0,012	0,447	0,0001
8 - 3	3 - 9	0,031	0,031	0,943	0,0018
3 - 10		0,017	0,020	0,670	0,0002
1 - 6	7 - 5	0,066	0,068	0,870	0,0078
6 - 8	9 - 7	0,061	0,061	0,859	0,0064
8 - 10	10 - 9	0,054	0,055	0,859	0,0051
Σ =					0,0309

Tabela 7 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 48 m/s e vão de 5 m considerando as seções transversais calculadas

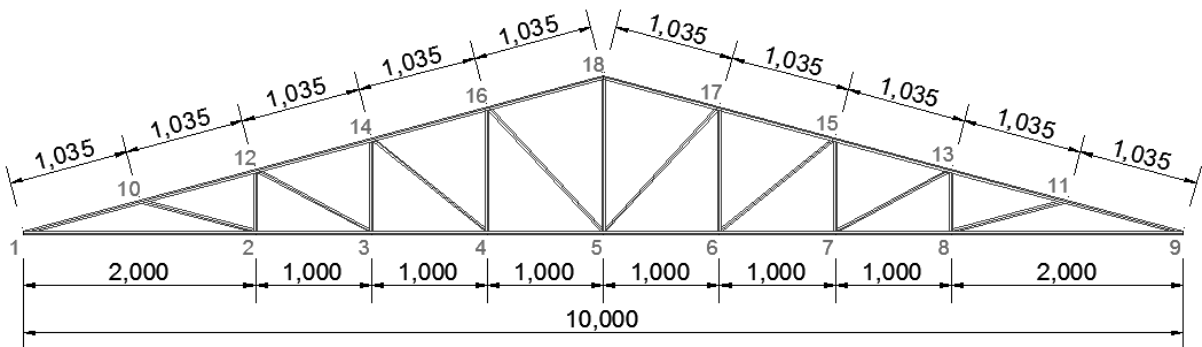
Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	4 - 5	0,065	0,066	1,670	0,0143
2 - 3	3 - 4	0,052	0,052	0,830	0,0045
6 - 2	4 - 7	0,029	0,031	0,860	0,0015
2 - 8	4 - 9	0,014	0,015	0,447	0,0002
8 - 3	3 - 9	0,032	0,032	0,943	0,0019
3 - 10		0,025	0,025	0,670	0,0004
1 - 6	7 - 5	0,067	0,071	0,870	0,0083
6 - 8	9 - 7	0,063	0,063	0,859	0,0068
8 - 10	10 - 9	0,056	0,056	0,859	0,0054
Σ =					0,0434

Observou-se que o aumento da velocidade básica do vento resultou em maiores volumes de madeira para produção das tesouras, sendo que a maior diferença constatada foi entre as velocidades de 24 e 48 m/s (29%).

4.3.2 Tesoura com vão de 10 metros

A Figura 22 apresenta o formato da tesoura para vão de 10 metros com indicação das barras e dos nós. Em relação à tesoura para vão com 5 metros, foi necessário o aumento da quantidade de barras a fim de reduzir os comprimentos de flambagem e evitar problemas de instabilidade.

Figura 22 - Numeração dos nós da tesoura para vão de 10 m



Fonte: elaborada no software AutoCAD.

As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam os volumes de madeira calculados considerando a velocidade básica do vento igual a 0, 24 e 48 m/s, respectivamente.

Tabela 8 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 0 m/s e vão de 10 m considerando as seções transversais calculadas

Barra	b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2 8 - 9	0,054	0,062	2,000	0,0134
2 - 3 7 - 8	0,048	0,062	1,000	0,0060
3 - 4 6 - 7	0,050	0,052	1,000	0,0052
4 - 5 5 - 6	0,042	0,053	1,000	0,0045
10 - 2 8 - 11	0,039	0,040	1,035	0,0032
2 - 12 8 - 13	0,010	0,011	0,536	0,0001
12 - 3 7 - 13	0,042	0,042	1,135	0,0040
3 - 14 7 - 15	0,012	0,017	0,804	0,0003
14 - 4 6 - 15	0,045	0,047	1,283	0,0054
4 - 16 6 - 17	0,015	0,021	1,072	0,0007
16 - 5 5 - 17	0,050	0,050	1,466	0,0073
5 - 18	0,025	0,033	1,340	0,0011
1 - 10 11 - 9	0,090	0,090	1,035	0,0168
10 - 12 13 - 11	0,090	0,090	1,035	0,0168
12 - 14 15 - 13	0,084	0,088	1,035	0,0153
14 - 16 17 - 15	0,080	0,081	1,035	0,0134
16 - 18 18 - 17	0,074	0,075	1,035	0,0115
Σ =				0,1250

Tabela 9 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 24 m/s e vão de 10 m considerando as seções transversais calculadas

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	8 - 9	0,050	0,068	2,000	0,0136
2 - 3	7 - 8	0,049	0,061	1,000	0,0060
3 - 4	6 - 7	0,045	0,058	1,000	0,0052
4 - 5	5 - 6	0,042	0,054	1,000	0,0045
10 - 2	8 - 11	0,039	0,041	1,035	0,0033
2 - 12	8 - 13	0,014	0,014	0,536	0,0002
12 - 3	7 - 13	0,042	0,043	1,135	0,0041
3 - 14	7 - 15	0,020	0,020	0,804	0,0006
14 - 4	6 - 15	0,046	0,046	1,283	0,0054
4 - 16	6 - 17	0,027	0,027	1,072	0,0016
16 - 5	5 - 17	0,050	0,051	1,466	0,0075
5 - 18		0,034	0,034	1,340	0,0015
1 - 10	11 - 9	0,090	0,090	1,035	0,0168
10 - 12	13 - 11	0,090	0,090	1,035	0,0168
12 - 14	15 - 13	0,085	0,088	1,035	0,0155
14 - 16	17 - 15	0,078	0,085	1,035	0,0137
16 - 18	18 - 17	0,073	0,078	1,035	0,0118
Σ =					0,1281

Tabela 10 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 48 m/s e vão de 10 m considerando as seções transversais calculadas

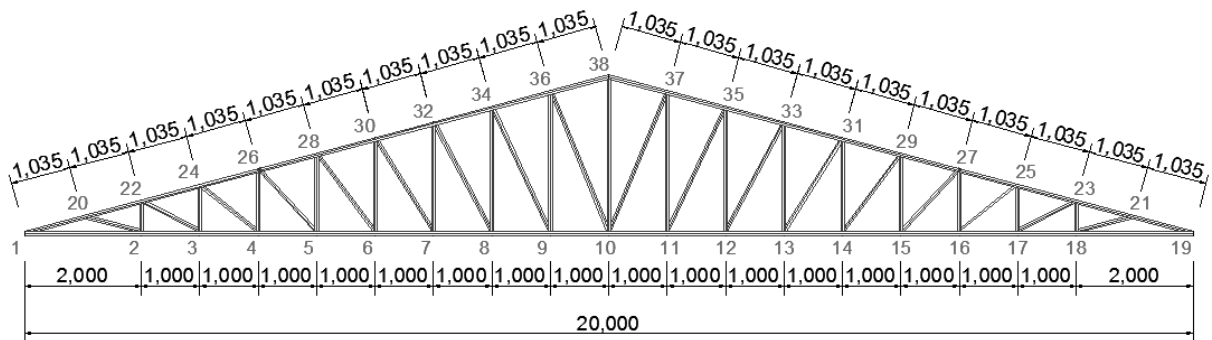
Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	8 - 9	0,092	0,102	2,000	0,0375
2 - 3	7 - 8	0,076	0,084	1,000	0,0128
3 - 4	6 - 7	0,074	0,075	1,000	0,0111
4 - 5	5 - 6	0,068	0,071	1,000	0,0097
10 - 2	8 - 11	0,040	0,041	1,035	0,0034
2 - 12	8 - 13	0,019	0,019	0,536	0,0004
12 - 3	7 - 13	0,043	0,043	1,135	0,0042
3 - 14	7 - 15	0,027	0,028	0,804	0,0012
14 - 4	6 - 15	0,047	0,047	1,283	0,0057
4 - 16	6 - 17	0,034	0,035	1,072	0,0026
16 - 5	5 - 17	0,051	0,052	1,466	0,0078
5 - 18		0,050	0,053	1,340	0,0036
1 - 10	11 - 9	0,090	0,090	1,035	0,0168
10 - 12	13 - 11	0,090	0,090	1,035	0,0168
12 - 14	15 - 13	0,088	0,089	1,035	0,0162
14 - 16	17 - 15	0,083	0,083	1,035	0,0143
16 - 18	18 - 17	0,077	0,077	1,035	0,0123
Σ =					0,1761

Analogamente, verificou-se que o aumento da velocidade básica do vento resultou em maiores volumes de madeira para produção das tesouras, com maior variação para velocidades acima de 24 m/s (27%).

4.3.3 Tesoura com vão de 20 metros

A Figura 23 apresenta a geometria da tesoura para o vão de 20 metros. O aumento do número de barras em relação à tesoura de 10 metros foi necessário para evitar problemas de instabilidade.

Figura 23 - Numeração dos nós da tesoura para vão de 20 m



Fonte: elaborada no software AutoCAD.

Nas Tabelas 11, 12 e 13 são apresentados os volumes calculados considerando a velocidade básica do vento igual a 0, 24 e 48 m/s respectivamente.

Tabela 11 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 0 m/s e vão de 20 m considerando as seções transversais calculadas

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m³)
1 - 2	18 - 19	0,075	0,096	2,000	0,0288
2 - 3	17 - 18	0,075	0,090	1,000	0,0135
3 - 4	16 - 17	0,070	0,091	1,000	0,0127
4 - 5	15 - 16	0,068	0,088	1,000	0,0120
5 - 6	14 - 15	0,066	0,085	1,000	0,0112
6 - 7	13 - 14	0,063	0,083	1,000	0,0105
7 - 8	12 - 13	0,062	0,079	1,000	0,0098
8 - 9	11 - 12	0,058	0,077	1,000	0,0089
9 - 10	10 - 11	0,055	0,075	1,000	0,0083
20 - 2	18 - 21	0,039	0,041	1,035	0,0033
2 - 22	18 - 23	0,008	0,013	0,536	0,0001
22 - 3	17 - 23	0,042	0,043	1,135	0,0041
3 - 24	17 - 25	0,013	0,016	0,804	0,0003
24 - 4	16 - 25	0,046	0,046	1,283	0,0054
4 - 26	16 - 27	0,014	0,022	1,072	0,0007
26 - 5	15 - 27	0,050	0,051	1,466	0,0075
5 - 28	15 - 29	0,018	0,023	1,340	0,0011
28 - 6	14 - 29	0,055	0,055	1,672	0,0101
6 - 30	14 - 31	0,019	0,027	1,608	0,0016
30 - 7	13 - 31	0,060	0,060	1,894	0,0136
7 - 32	13 - 33	0,022	0,028	1,876	0,0023
32 - 8	12 - 33	0,065	0,066	2,126	0,0182
8 - 34	12 - 35	0,024	0,030	2,144	0,0031
34 - 9	11 - 35	0,070	0,071	2,366	0,0235
9 - 36	11 - 37	0,025	0,033	2,412	0,0040
36 - 10	10 - 37	0,075	0,076	2,611	0,0298
10 - 38		0,040	0,047	2,680	0,0050
1 - 20	19 - 21	0,104	0,126	1,035	0,0271
20 - 22	21 - 23	0,101	0,123	1,035	0,0257
22 - 24	23 - 25	0,103	0,114	1,035	0,0243
24 - 26	25 - 27	0,098	0,113	1,035	0,0229
26 - 28	27 - 29	0,092	0,113	1,035	0,0215
28 - 30	29 - 31	0,090	0,108	1,035	0,0201
30 - 32	31 - 33	0,091	0,100	1,035	0,0188
32 - 34	33 - 35	0,090	0,094	1,035	0,0175
34 - 36	35 - 37	0,090	0,090	1,035	0,0168
36 - 38	37 - 38	0,090	0,090	1,035	0,0168
				Σ =	0,4611

Tabela 12 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 24 m/s e vão de 20 m considerando as seções transversais calculadas

Barra		b (m)	h (m)	lef (m)	Volume (m ³)
1 - 2	18 - 19	0,076	0,096	2,000	0,0292
2 - 3	17 - 18	0,075	0,092	1,000	0,0138
3 - 4	16 - 17	0,073	0,090	1,000	0,0131
4 - 5	15 - 16	0,071	0,087	1,000	0,0124
5 - 6	14 - 15	0,069	0,083	1,000	0,0115
6 - 7	13 - 14	0,065	0,083	1,000	0,0108
7 - 8	12 - 13	0,065	0,077	1,000	0,0100
8 - 9	11 - 12	0,060	0,076	1,000	0,0091
9 - 10	10 - 11	0,057	0,073	1,000	0,0083
20 - 2	18 - 21	0,040	0,040	1,035	0,0033
2 - 22	18 - 23	0,014	0,014	0,536	0,0002
22 - 3	17 - 23	0,042	0,044	1,135	0,0042
3 - 24	17 - 25	0,020	0,020	0,804	0,0006
24 - 4	16 - 25	0,046	0,047	1,283	0,0055
4 - 26	16 - 27	0,027	0,027	1,072	0,0016
26 - 5	15 - 27	0,050	0,052	1,466	0,0076
5 - 28	15 - 29	0,034	0,034	1,340	0,0031
28 - 6	14 - 29	0,055	0,057	1,672	0,0105
6 - 30	14 - 31	0,040	0,040	1,608	0,0051
30 - 7	13 - 31	0,060	0,062	1,894	0,0141
7 - 32	13 - 33	0,047	0,047	1,876	0,0083
32 - 8	12 - 33	0,065	0,067	2,126	0,0185
8 - 34	12 - 35	0,054	0,054	2,144	0,0125
34 - 9	11 - 35	0,070	0,073	2,366	0,0242
9 - 36	11 - 37	0,060	0,060	2,412	0,0174
36 - 10	10 - 37	0,076	0,076	2,611	0,0302
10 - 38		0,067	0,067	2,680	0,0120
1 - 20	19 - 21	0,107	0,126	1,035	0,0279
20 - 22	21 - 23	0,104	0,123	1,035	0,0265
22 - 24	23 - 25	0,108	0,112	1,035	0,0250
24 - 26	25 - 27	0,101	0,112	1,035	0,0234
26 - 28	27 - 29	0,095	0,112	1,035	0,0220
28 - 30	29 - 31	0,093	0,107	1,035	0,0206
30 - 32	31 - 33	0,091	0,102	1,035	0,0192
32 - 34	33 - 35	0,091	0,095	1,035	0,0179
34 - 36	35 - 37	0,090	0,090	1,035	0,0168
36 - 38	37 - 38	0,090	0,090	1,035	0,0168
				$\Sigma =$	0,5132

Tabela 13 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 48 m/s e vão de 20 m considerando as seções transversais calculadas

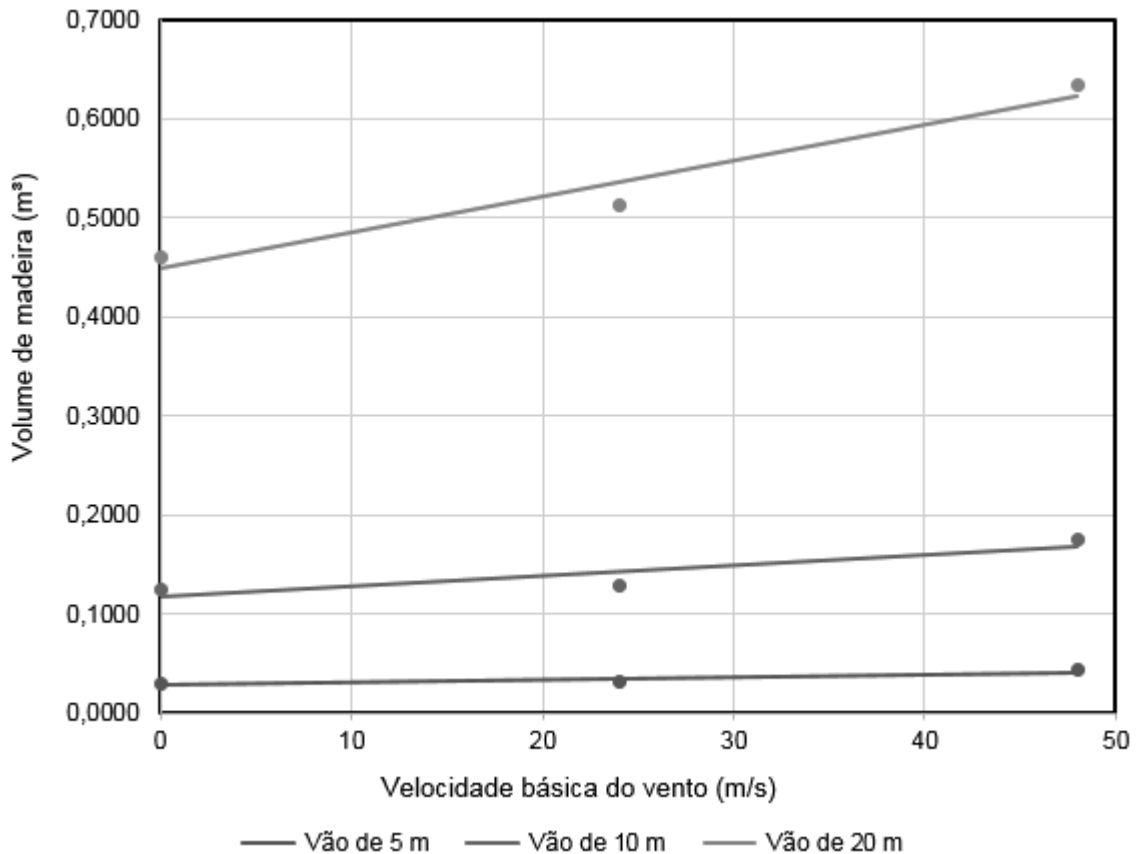
Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	18 - 19	0,128	0,133	2,000	0,0681
2 - 3	17 - 18	0,089	0,108	1,000	0,0192
3 - 4	16 - 17	0,087	0,104	1,000	0,0181
4 - 5	15 - 16	0,089	0,095	1,000	0,0169
5 - 6	14 - 15	0,087	0,091	1,000	0,0158
6 - 7	13 - 14	0,087	0,087	1,000	0,0151
7 - 8	12 - 13	0,087	0,087	1,000	0,0151
8 - 9	11 - 12	0,087	0,087	1,000	0,0151
9 - 10	10 - 11	0,087	0,087	1,000	0,0151
20 - 2	18 - 21	0,041	0,041	1,035	0,0035
2 - 22	18 - 23	0,019	0,019	0,536	0,0004
22 - 3	17 - 23	0,044	0,044	1,135	0,0044
3 - 24	17 - 25	0,027	0,029	0,804	0,0013
24 - 4	16 - 25	0,047	0,048	1,283	0,0058
4 - 26	16 - 27	0,034	0,037	1,072	0,0027
26 - 5	15 - 27	0,052	0,052	1,466	0,0079
5 - 28	15 - 29	0,041	0,042	1,340	0,0046
28 - 6	14 - 29	0,057	0,057	1,672	0,0109
6 - 30	14 - 31	0,047	0,049	1,608	0,0074
30 - 7	13 - 31	0,062	0,062	1,894	0,0146
7 - 32	13 - 33	0,053	0,055	1,876	0,0109
32 - 8	12 - 33	0,067	0,067	2,126	0,0191
8 - 34	12 - 35	0,059	0,060	2,144	0,0152
34 - 9	11 - 35	0,072	0,073	2,366	0,0249
9 - 36	11 - 37	0,064	0,066	2,412	0,0204
36 - 10	10 - 37	0,077	0,079	2,611	0,0318
	10 - 38	0,085	0,087	2,680	0,0198
1 - 20	19 - 21	0,110	0,131	1,035	0,0298
20 - 22	21 - 23	0,106	0,129	1,035	0,0283
22 - 24	23 - 25	0,101	0,128	1,035	0,0268
24 - 26	25 - 27	0,100	0,122	1,035	0,0253
26 - 28	27 - 29	0,097	0,118	1,035	0,0237
28 - 30	29 - 31	0,094	0,114	1,035	0,0222
30 - 32	31 - 33	0,090	0,111	1,035	0,0207
32 - 34	33 - 35	0,090	0,103	1,035	0,0192
34 - 36	35 - 37	0,090	0,095	1,035	0,0177
36 - 38	37 - 38	0,090	0,090	1,035	0,0168
				Σ =	0,6345

A tesoura com vão de 20 metros apresentou maior variação no volume de madeira para velocidades entre 0 e 24 m/s em relação aos casos de vãos de 5 e 10

metros (em torno de 11%), e uma diferença menor entre 24 e 48 m/s, com aumento no volume próximo à 20%.

Na Figura 24 são apresentados os volumes mínimos de madeira calculados para os vãos de 5, 10 e 20 m com velocidades básicas de vento iguais a 0, 24 e 48 m/s.

Figura 24 - Volume de madeira x velocidade básica do vento para os vãos estudados considerando as seções transversais calculadas



Para os vãos estudados, observou-se que a diferença do volume de madeira demandado considerando os valores extremos de velocidade básica do vento, ou seja, 0 e 48 m/s, foi cerca de 30%.

4.4 VOLUME DE MADEIRA CONSIDERANDO SEÇÃO MÍNIMA DA NORMA

A norma NBR 7190 (ABNT, 1997) considera que a seção mínima para barras simples de treliça deve ser igual a 5 cm com área não inferior à 50 cm². Desta forma, os valores calculados anteriormente que eram inferiores à estas dimensões foram substituídos visando atender a recomendação da norma.

4.4.1 Tesoura com vão de 5 metros

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam os volumes demandados considerando a velocidade básica do vento igual a 0, 24 e 48 m/s respectivamente.

Tabela 14 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 0 m/s e vão de 5 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	4 - 5	0,050	0,100	1,670	0,0167
2 - 3	3 - 4	0,050	0,100	0,830	0,0083
6 - 2	4 - 7	0,050	0,100	0,860	0,0086
2 - 8	4 - 9	0,050	0,100	0,447	0,0045
8 - 3	3 - 9	0,050	0,100	0,943	0,0094
3 - 10		0,050	0,100	0,670	0,0034
1 - 6	7 - 5	0,061	0,082	0,870	0,0087
6 - 8	9 - 7	0,050	0,100	0,859	0,0086
8 - 10	10 - 9	0,050	0,100	0,859	0,0086
Σ =					0,0767

Tabela 15 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 24 m/s e vão de 5 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	4 - 5	0,050	0,100	1,670	0,0167
2 - 3	3 - 4	0,050	0,100	0,830	0,0083
6 - 2	4 - 7	0,050	0,100	0,860	0,0086
2 - 8	4 - 9	0,050	0,100	0,447	0,0045
8 - 3	3 - 9	0,050	0,100	0,943	0,0094
3 - 10		0,050	0,100	0,670	0,0034
1 - 6	7 - 5	0,061	0,082	0,870	0,0087
6 - 8	9 - 7	0,050	0,100	0,859	0,0086
8 - 10	10 - 9	0,050	0,100	0,859	0,0086
Σ =					0,0767

Tabela 16 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 48 m/s e vão de 5 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	4 - 5	0,061	0,082	1,670	0,0167
2 - 3	3 - 4	0,050	0,100	0,830	0,0083
6 - 2	4 - 7	0,050	0,100	0,860	0,0086
2 - 8	4 - 9	0,050	0,100	0,447	0,0045
8 - 3	3 - 9	0,050	0,100	0,943	0,0094
3 - 10		0,050	0,100	0,670	0,0034
1 - 6	7 - 5	0,065	0,077	0,870	0,0087
6 - 8	9 - 7	0,050	0,100	0,859	0,0086
8 - 10	10 - 9	0,050	0,100	0,859	0,0086
Σ =					0,0767

Constatou-se que, atendendo as recomendações da norma, a diferença entre os volumes de madeira em tesoura com vão igual a 5 metros para as três condições de vento foi nula, não justificando a desconsideração do efeito do vento em edificações quando o vão é relativamente pequeno.

4.4.2 Tesoura com vão de 10 metros

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam os volumes demandados considerando a velocidade básica do vento igual a 0, 24 e 48 m/s respectivamente.

Tabela 17 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 0 m/s e vão de 10 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	8 - 9	0,050	0,100	2,000	0,0200
2 - 3	7 - 8	0,050	0,100	1,000	0,0100
3 - 4	6 - 7	0,050	0,100	1,000	0,0100
4 - 5	5 - 6	0,050	0,100	1,000	0,0100
10 - 2	8 - 11	0,050	0,100	1,035	0,0104
2 - 12	8 - 13	0,050	0,100	0,536	0,0054
12 - 3	7 - 13	0,050	0,100	1,135	0,0114
3 - 14	7 - 15	0,050	0,100	0,804	0,0080
14 - 4	6 - 15	0,050	0,100	1,283	0,0128
4 - 16	6 - 17	0,050	0,100	1,072	0,0107
16 - 5	5 - 17	0,050	0,100	1,466	0,0147
5 - 18		0,050	0,100	1,340	0,0067
1 - 10	11 - 9	0,090	0,090	1,035	0,0168
10 - 12	13 - 11	0,090	0,090	1,035	0,0168
12 - 14	15 - 13	0,085	0,088	1,035	0,0155
14 - 16	17 - 15	0,081	0,081	1,035	0,0136
16 - 18	18 - 17	0,075	0,076	1,035	0,0118
Σ =					0,2044

Tabela 18 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 24 m/s e vão de 10 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	8 - 9	0,050	0,100	2,000	0,0200
2 - 3	7 - 8	0,050	0,100	1,000	0,0100
3 - 4	6 - 7	0,050	0,100	1,000	0,0100
4 - 5	5 - 6	0,050	0,100	1,000	0,0100
10 - 2	8 - 11	0,050	0,100	1,035	0,0104
2 - 12	8 - 13	0,050	0,100	0,536	0,0054
12 - 3	7 - 13	0,050	0,100	1,135	0,0114
3 - 14	7 - 15	0,050	0,100	0,804	0,0080
14 - 4	6 - 15	0,050	0,100	1,283	0,0128
4 - 16	6 - 17	0,050	0,100	1,072	0,0107
16 - 5	5 - 17	0,050	0,100	1,466	0,0147
5 - 18		0,050	0,100	1,340	0,0067
1 - 10	11 - 9	0,090	0,090	1,035	0,0168
10 - 12	13 - 11	0,090	0,090	1,035	0,0168
12 - 14	15 - 13	0,085	0,089	1,035	0,0157
14 - 16	17 - 15	0,078	0,086	1,035	0,0139
16 - 18	18 - 17	0,073	0,079	1,035	0,0119
Σ =					0,2050

Tabela 19 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 48 m/s e vão de 10 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	8 - 9	0,092	0,102	2,000	0,0375
2 - 3	7 - 8	0,076	0,084	1,000	0,0128
3 - 4	6 - 7	0,074	0,075	1,000	0,0111
4 - 5	5 - 6	0,061	0,082	1,000	0,0100
10 - 2	8 - 11	0,050	0,100	1,035	0,0104
2 - 12	8 - 13	0,050	0,100	0,536	0,0054
12 - 3	7 - 13	0,050	0,100	1,135	0,0114
3 - 14	7 - 15	0,050	0,100	0,804	0,0080
14 - 4	6 - 15	0,050	0,100	1,283	0,0128
4 - 16	6 - 17	0,050	0,100	1,072	0,0107
16 - 5	5 - 17	0,050	0,100	1,466	0,0147
5 - 18		0,050	0,100	1,340	0,0067
1 - 10	11 - 9	0,090	0,090	1,035	0,0168
10 - 12	13 - 11	0,090	0,090	1,035	0,0168
12 - 14	15 - 13	0,088	0,090	1,035	0,0164
14 - 16	17 - 15	0,083	0,084	1,035	0,0144
16 - 18	18 - 17	0,077	0,078	1,035	0,0124
Σ =					0,2282

Neste caso, observou-se uma variação de cerca de 10% no volume de madeira entre a desconsideração da ação do vento e a utilização da velocidade básica do vento máxima.

4.4.3 Tesoura com vão de 20 metros

As Tabelas 20, 21 e 22 apresentam os volumes demandados considerando a velocidade básica do vento igual a 0, 24 e 48 m/s respectivamente.

Tabela 20 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 0 m/s e vão de 20 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	18 - 19	0,075	0,097	2,000	0,0291
2 - 3	17 - 18	0,075	0,092	1,000	0,0138
3 - 4	16 - 17	0,070	0,093	1,000	0,0130
4 - 5	15 - 16	0,068	0,090	1,000	0,0122
5 - 6	14 - 15	0,066	0,087	1,000	0,0115
6 - 7	13 - 14	0,063	0,085	1,000	0,0107
7 - 8	12 - 13	0,050	0,100	1,000	0,0100
8 - 9	11 - 12	0,050	0,100	1,000	0,0100
9 - 10	10 - 11	0,050	0,100	1,000	0,0100
20 - 2	18 - 21	0,050	0,100	1,035	0,0104
2 - 22	18 - 23	0,050	0,100	0,536	0,0054
22 - 3	17 - 23	0,050	0,100	1,135	0,0114
3 - 24	17 - 25	0,050	0,100	0,804	0,0080
24 - 4	16 - 25	0,050	0,100	1,283	0,0128
4 - 26	16 - 27	0,050	0,100	1,072	0,0107
26 - 5	15 - 27	0,050	0,100	1,466	0,0147
5 - 28	15 - 29	0,050	0,100	1,340	0,0134
28 - 6	14 - 29	0,050	0,100	1,672	0,0167
6 - 30	14 - 31	0,050	0,100	1,608	0,0161
30 - 7	13 - 31	0,050	0,100	1,894	0,0189
7 - 32	13 - 33	0,050	0,100	1,876	0,0188
32 - 8	12 - 33	0,061	0,082	2,126	0,0213
8 - 34	12 - 35	0,050	0,100	2,144	0,0214
34 - 9	11 - 35	0,070	0,073	2,366	0,0242
9 - 36	11 - 37	0,050	0,100	2,412	0,0241
36 - 10	10 - 37	0,075	0,078	2,611	0,0305
10 - 38		0,050	0,100	2,680	0,0134
1 - 20	19 - 21	0,104	0,129	1,035	0,0278
20 - 22	21 - 23	0,102	0,125	1,035	0,0264
22 - 24	23 - 25	0,104	0,116	1,035	0,0250
24 - 26	25 - 27	0,099	0,115	1,035	0,0236
26 - 28	27 - 29	0,093	0,115	1,035	0,0221
28 - 30	29 - 31	0,091	0,110	1,035	0,0207
30 - 32	31 - 33	0,091	0,102	1,035	0,0192
32 - 34	33 - 35	0,091	0,095	1,035	0,0179
34 - 36	35 - 37	0,090	0,090	1,035	0,0168
36 - 38	37 - 38	0,090	0,090	1,035	0,0168
				Σ =	0,6287

Tabela 21 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 24 m/s e vão de 20 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	18 - 19	0,076	0,097	2,000	0,0295
2 - 3	17 - 18	0,075	0,093	1,000	0,0140
3 - 4	16 - 17	0,073	0,091	1,000	0,0133
4 - 5	15 - 16	0,071	0,088	1,000	0,0125
5 - 6	14 - 15	0,069	0,084	1,000	0,0116
6 - 7	13 - 14	0,065	0,083	1,000	0,0108
7 - 8	12 - 13	0,065	0,077	1,000	0,0100
8 - 9	11 - 12	0,050	0,100	1,000	0,0100
9 - 10	10 - 11	0,050	0,100	1,000	0,0100
20 - 2	18 - 21	0,050	0,100	1,035	0,0104
2 - 22	18 - 23	0,050	0,100	0,536	0,0054
22 - 3	17 - 23	0,050	0,100	1,135	0,0114
3 - 24	17 - 25	0,050	0,100	0,804	0,0080
24 - 4	16 - 25	0,050	0,100	1,283	0,0128
4 - 26	16 - 27	0,050	0,100	1,072	0,0107
26 - 5	15 - 27	0,050	0,100	1,466	0,0147
5 - 28	15 - 29	0,050	0,100	1,340	0,0134
28 - 6	14 - 29	0,050	0,100	1,672	0,0167
6 - 30	14 - 31	0,050	0,100	1,608	0,0161
30 - 7	13 - 31	0,050	0,100	1,894	0,0189
7 - 32	13 - 33	0,050	0,100	1,876	0,0188
32 - 8	12 - 33	0,061	0,082	2,126	0,0213
8 - 34	12 - 35	0,061	0,082	2,144	0,0214
34 - 9	11 - 35	0,070	0,073	2,366	0,0242
9 - 36	11 - 37	0,061	0,082	2,412	0,0241
36 - 10	10 - 37	0,076	0,076	2,611	0,0302
10 - 38		0,067	0,075	2,680	0,0135
1 - 20	19 - 21	0,107	0,127	1,035	0,0281
20 - 22	21 - 23	0,104	0,124	1,035	0,0267
22 - 24	23 - 25	0,108	0,113	1,035	0,0253
24 - 26	25 - 27	0,101	0,114	1,035	0,0238
26 - 28	27 - 29	0,095	0,114	1,035	0,0224
28 - 30	29 - 31	0,093	0,109	1,035	0,0210
30 - 32	31 - 33	0,091	0,103	1,035	0,0194
32 - 34	33 - 35	0,091	0,096	1,035	0,0181
34 - 36	35 - 37	0,090	0,090	1,035	0,0168
36 - 38	37 - 38	0,090	0,090	1,035	0,0168
Σ =					0,6318

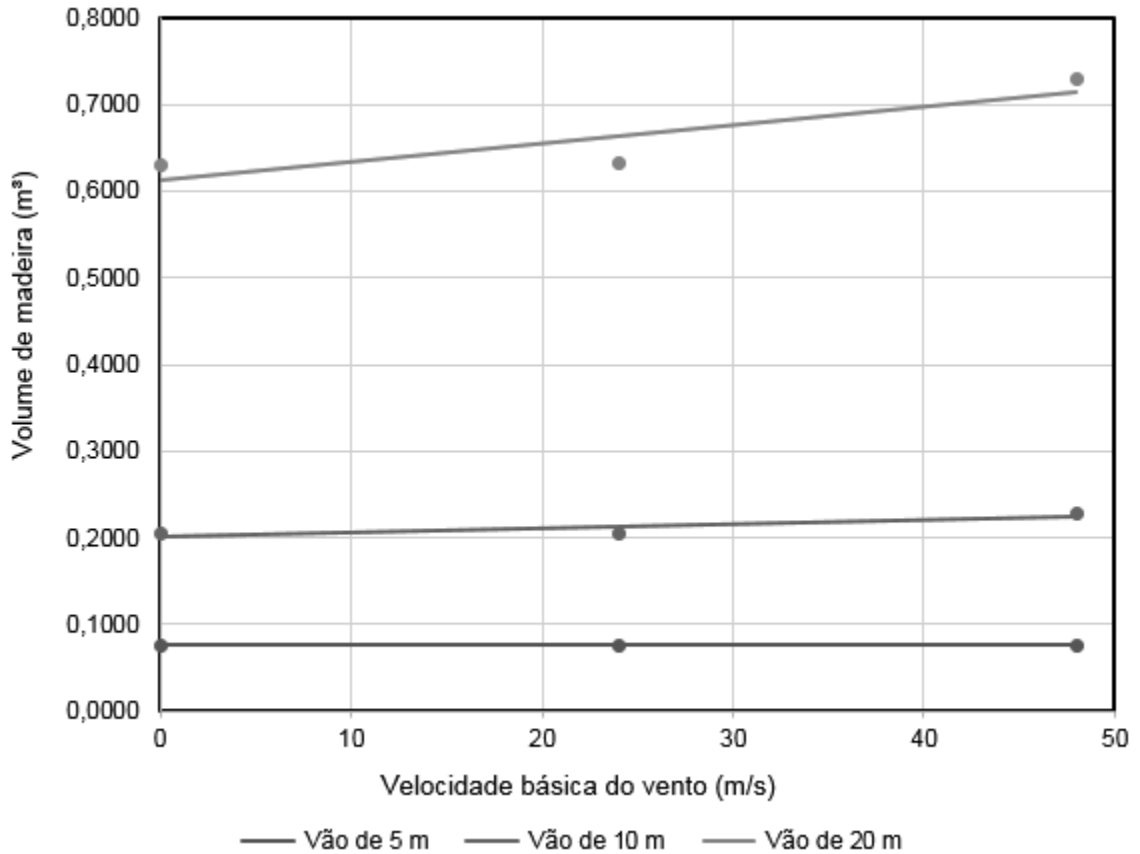
Tabela 22 - Dimensões das barras e volume total de madeira necessário para V_0 igual a 48 m/s e vão de 20 m considerando dimensões mínimas de norma

Barra		b (m)	h (m)	l _{ef} (m)	Volume (m ³)
1 - 2	18 - 19	0,128	0,133	2,000	0,0681
2 - 3	17 - 18	0,089	0,108	1,000	0,0192
3 - 4	16 - 17	0,087	0,104	1,000	0,0181
4 - 5	15 - 16	0,089	0,095	1,000	0,0169
5 - 6	14 - 15	0,087	0,091	1,000	0,0158
6 - 7	13 - 14	0,087	0,087	1,000	0,0151
7 - 8	12 - 13	0,087	0,087	1,000	0,0151
8 - 9	11 - 12	0,087	0,087	1,000	0,0151
9 - 10	10 - 11	0,087	0,087	1,000	0,0151
20 - 2	18 - 21	0,050	0,100	1,035	0,0104
2 - 22	18 - 23	0,050	0,100	0,536	0,0054
22 - 3	17 - 23	0,050	0,100	1,135	0,0114
3 - 24	17 - 25	0,050	0,100	0,804	0,0080
24 - 4	16 - 25	0,050	0,100	1,283	0,0128
4 - 26	16 - 27	0,050	0,100	1,072	0,0107
26 - 5	15 - 27	0,050	0,100	1,466	0,0147
5 - 28	15 - 29	0,050	0,100	1,340	0,0134
28 - 6	14 - 29	0,050	0,100	1,672	0,0167
6 - 30	14 - 31	0,050	0,100	1,608	0,0161
30 - 7	13 - 31	0,061	0,082	1,894	0,0189
7 - 32	13 - 33	0,050	0,100	1,876	0,0188
32 - 8	12 - 33	0,065	0,077	2,126	0,0213
8 - 34	12 - 35	0,061	0,082	2,144	0,0214
34 - 9	11 - 35	0,072	0,073	2,366	0,0249
9 - 36	11 - 37	0,061	0,082	2,412	0,0241
36 - 10	10 - 37	0,077	0,079	2,611	0,0318
10 - 38		0,085	0,087	2,680	0,0198
1 - 20	19 - 21	0,107	0,135	1,035	0,0299
20 - 22	21 - 23	0,103	0,133	1,035	0,0284
22 - 24	23 - 25	0,099	0,131	1,035	0,0268
24 - 26	25 - 27	0,097	0,126	1,035	0,0253
26 - 28	27 - 29	0,095	0,121	1,035	0,0238
28 - 30	29 - 31	0,091	0,118	1,035	0,0222
30 - 32	31 - 33	0,090	0,112	1,035	0,0209
32 - 34	33 - 35	0,090	0,103	1,035	0,0192
34 - 36	35 - 37	0,090	0,095	1,035	0,0177
36 - 38	37 - 38	0,090	0,090	1,035	0,0168
				Σ =	0,7302

Para a tesoura com vão de 20 metros, a variação no volume de madeira entre as velocidades básicas do vento de 0 e 48 m/s foi de aproximadamente 14%.

Na Figura 25 são apresentadas as variações dos volumes de madeira para os vãos de 5, 10 e 20 metros nas condições de vento estudadas.

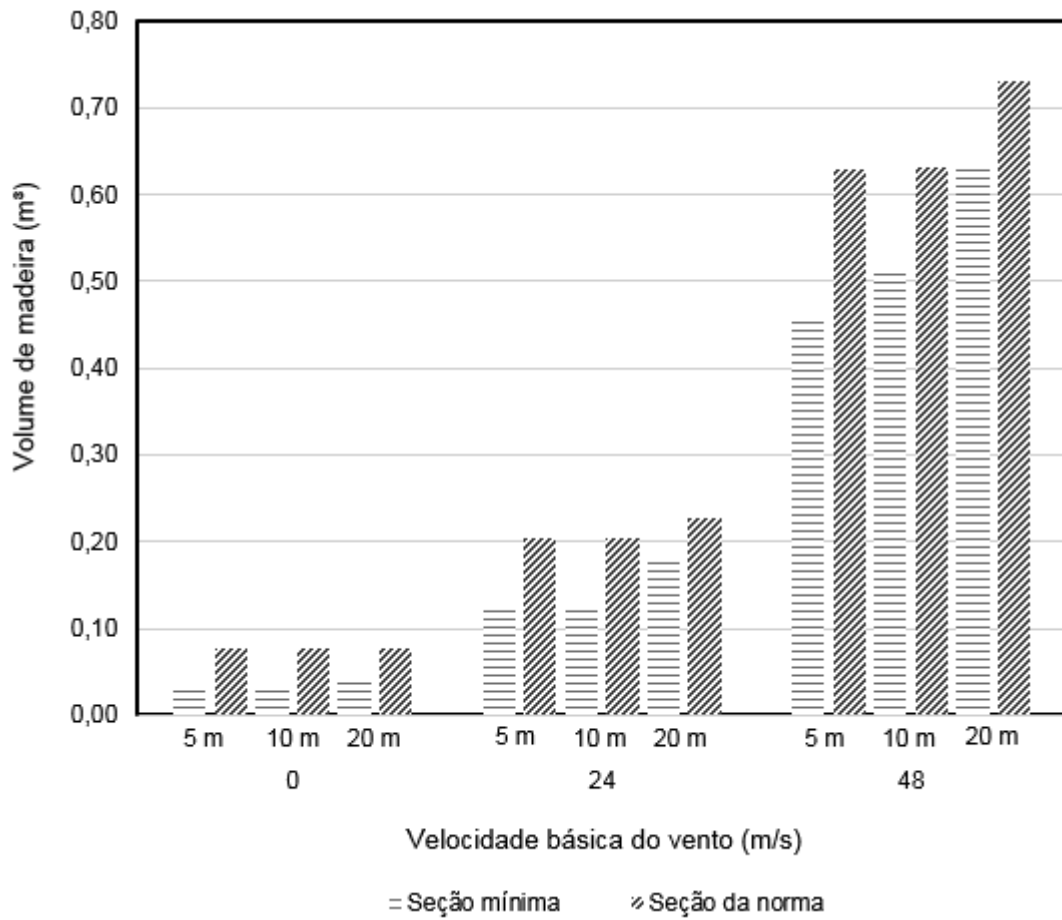
Figura 25 - Volume de madeira x velocidade básica do vento para os vãos estudados considerando dimensões mínimas de norma



Observou-se que a diferença do volume de madeira demandado considerando os valores extremos de velocidade básica do vento, ou seja, 0 e 48 m/s, foi cerca de 0, 11 e 14% para os vãos de 5, 10 e 20 m respectivamente.

Em suma, a Figura 26 exhibe a comparação entre os volumes de madeira mínimos e os de acordo com a norma.

Figura 26 - Volume de madeira x velocidade básica do vento para os vãos estudados considerando as dimensões mínimas calculadas e as de norma



Verificou-se que a diferença de volume considerando os valores extremos de velocidade básica do vento foi maior entre as dimensões mínimas calculadas do que as dimensões segundo a norma.

5 CONCLUSÃO

Na análise do efeito do vento no dimensionamento das terças, concluiu-se que para os vãos em estudo só houve diferença nas dimensões entre as velocidades básicas do vento de 24 e 48 m/s (até 12%).

Com relação às tesouras, a partir dos resultados obtidos inicialmente, observou-se que houve uma diferença significativa (cerca de 30%) no volume de madeira necessário ao considerar os valores extremos de velocidade básica do vento, ou seja, 0 e 48 m/s. Entretanto, um projeto deve garantir segurança e confiabilidade, e, desta forma, seguir recomendações normativas.

Logo, as seções transversais adotadas neste estudo foram as que respeitam as dimensões mínimas da norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Entre essas, notou-se que a diferença no volume de madeira demandado foi menor ao considerar os valores extremos de velocidade básica do vento (0 e 48 m/s), sendo que quanto menor o vão, menor essa diferença.

Portanto, concluiu-se que, por mais que demande maior volume de madeira ao considerar em um projeto a ação do vento atuando sobre uma edificação, essa consideração é de suma importância para garantir a segurança da obra e para evitar maiores desastres causados pelo efeito do vento, como ruínas parcial e total da edificação.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos, sugere-se estudos que analisem os custos dos materiais e a influência do tipo de treliça, como os modelos Pratt e Belga.

REFERÊNCIAS

ANASTÁCIO, R. S. A. **Especificação de protecção fogo para estruturas de madeira**. 2010. 118f. Dissertação (Mestrado em Construções Civas). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Portugal, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. 5 p. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. 66 p. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. 107 p. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 7203: Madeira serrada e beneficiada**. 2 p. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRESERVADORES DE MADEIRA (ABPM). **Preservação de madeira**. (s.d.). Disponível em: <<http://www.abpm.com.br/processo>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. Volume 2. 538 p.

BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R. **Mecânica vetorial para engenheiros - Estática**. 5 ed. São Paulo, SP: Makron Books, 1994.

BRASILIT. **Guia Técnico de Telhas de Fibrocimento e Acessórios para Telhado**. 2014. Disponível em: <http://www.brasilit.com.br/sites/default/files/catalogos_folhetos/Cat%C3%A1logo-TelhasDeFibrocimento-Brasilit_2.pdf>. Acesso em: 25 out. 2016.

BROWN, H. P.; PANSWIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. The American Forestry Series. Nova Iorque: McGraw-Hill Book Company, 1949. v. I.

CALIL JUNIOR, C. et al. **Estruturas de Madeira**. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

CALIL JUNIOR, C. et al. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006. 252 p.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. Editora Manole. 2002. 152 p.

CONCURSOSDEPROJETO.ORG. **Biblioteca e Centro Cultural – Vennesla – Noruega**. Revista eletrônica concursosdeprojeto.org, edição 039, ano 05, fev. 2012. Disponível em: <<https://concursosdeprojeto.org/2012/02/23/biblioteca-e-centro-cultural-vennesla-noruega/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

FERNÁNDEZ, B. O. **Sistemas de treliças modulares para pontes de madeira: uma boa alternativa para o estado do Pará**. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FERNÁNDEZ-VILLEGAS, F. R.; ECHENIQUE-MANRIQUE, R. **Estructuras de madera**. Editorial Limusa. México, 1991.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAES, P. D. **Comportamento da madeira a temperaturas elevadas**. 2009. Ambiente Construído, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

GALERIA DA ARQUITETURA. **Residência Santa Rita**. Disponível em: <http://www.galeriadaarquitetura.com.br/projeto/aprilanti-arquitetura-e-engenharia_/residencia-santa-rita/781>. Acesso em: 26 abr. 2017.

GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; DE MATTOS, P. P. **Processos práticos para preservar a madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 49 p.

GAZETA DO POVO. **Tornado leva ventos de 115 km/h às regiões Sudoeste e Oeste**. 2009. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/tornado-leva-ventos-de-115-kmh-as-regioes-sudoeste-e-oeste-bxypdrfvsw30shf45pvey0ksu>>. Acesso em: 22 out. 2016.

GONÇALVES, R. M.; NETO, J. M.; SALES, J. J.; MALITE, M. **Ação do vento nas edificações: teoria e exemplos**. 2 ed. São Carlos: SET/EESC/USP, 2007.

HASSEGAWA, B. **Por que e como utilizar a madeira na arquitetura?**. Sem data. Disponível em: <<http://comoprojetar.com.br/por-que-e-como-utilizar-madeira-na-arquitetura/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

HORTEGAL, I. **Apostila de estruturas de madeiras.** (s.d.). Universidade Estadual do Maranhão. Centro de Ciências Tecnológicas. Curso de Engenharia Civil. São Luís, Maranhão.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Madeira: uso sustentável na construção civil.** Sinduscon, São Paulo, 2003.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de preservação de madeiras.** Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba: Documentos Florestais, 1990.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. **Secagem de madeiras.** Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira (ANPM). 2013.

KRETSCHMANN, D. E. **Mechanical Properties of Wood.** Forest Products Laboratory. Wood handbook - Wood as an engineering material. Chapter 5. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010.

LEBOW, S. T. **Wood Preservation.** Forest Products Laboratory. Wood handbook - Wood as an engineering material. Chapter 15. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 2010.

LEPAGE, E. S. et al. **Manual de preservação de madeiras.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Volume I. São Paulo, 1986.

MELLO, R. L. **Projetar em madeira: uma nova abordagem.** 2007. 195 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira.** 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2010.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação da madeira.** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná. 4ª ed., v. I., 2013.

_____. **Propriedades da madeira.** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná. 2005.

NEGRÃO, J.; FARIA, A. **Projecto de estruturas de madeira**. Porto: Publindústria, 2009. 247 p. ISBN 9789728953362.

OLIVEIRA, F. G. R. et al. **Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som**. III Conferência Panamericana de Ensaio Não Destrutivos. 2003. Rio de Janeiro.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**: dimensionamento segundo a Norma Brasileira NBR 7190/97 e critérios das Normas Norte-americana NDS e Europeia EUROCODE 5. 6. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2003. 224 p.

PLESHA, M. E.; GRAY, G. L.; COSTANZO, F. **Mecânica para Engenharia**: estática. Editoria Bookman, 2014. 590 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TOLEDO. **Plano Integrado Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Toledo**. 1 ed. Toledo, 2007. 136 p.

SEDANO, L. H. A. **Comparativo entre tesouras simples e duplas**. Monografia. Universidade São Francisco – USF. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Engenharia Civil. Itatiba, São Paulo, 2006.

SILVA, J. C. **Madeira preservada e seus conceitos**. Revista da madeira, edição nº 103, mar., 2007.

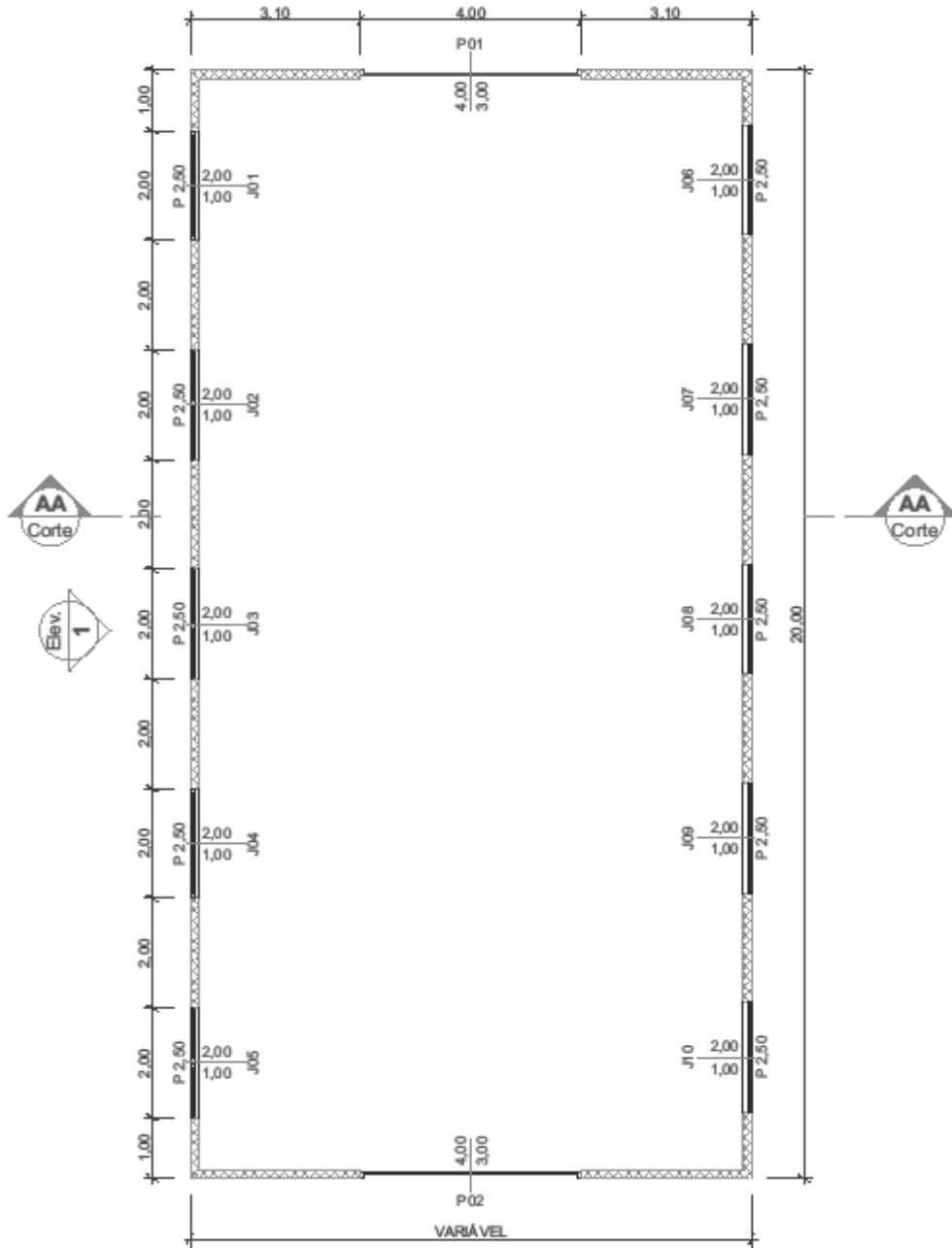
SIMPSON, W. T. **Methods of reducing warp when drying**. Asian Timber, v. 2, n. 5, p. 80-81, 1983.

THE ACADEMY OF URBANISM. **Peace and Winter Gardens**. 2016. Disponível em: <<https://www.academyofurbanism.org.uk/peace-and-winter-garden/>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Buddhist Monuments in the Horyu-ji Area**. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/en/list/660/>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

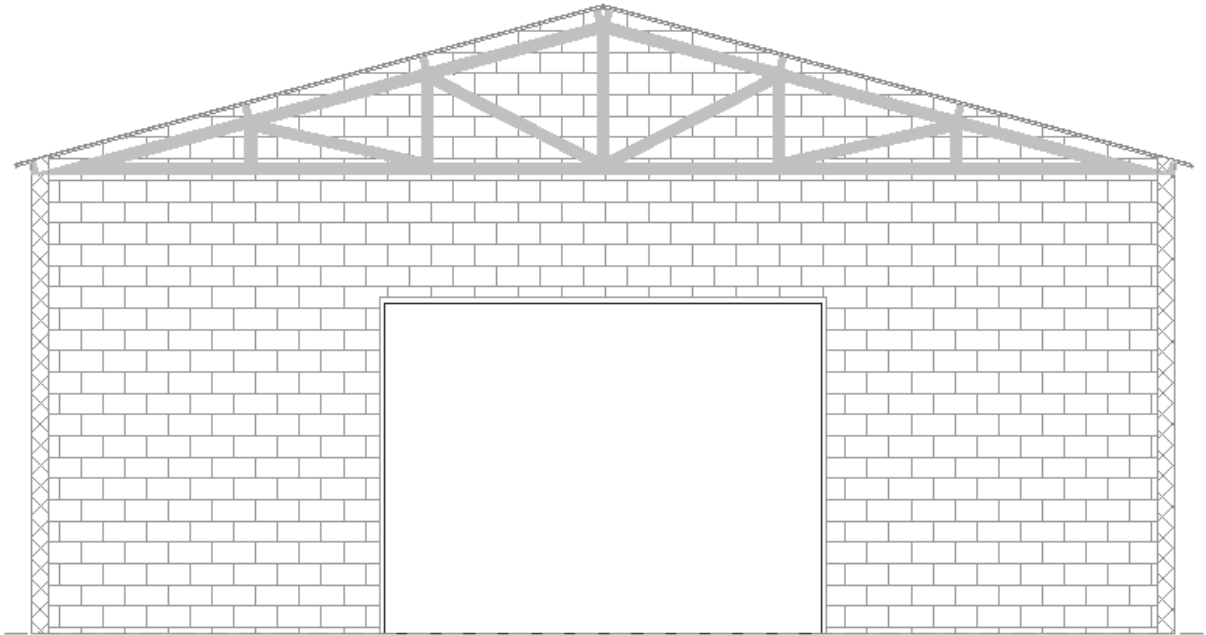
APÊNDICE A - Planta baixa, corte, elevação e vista 3D do galpão (continua)

Planta baixa

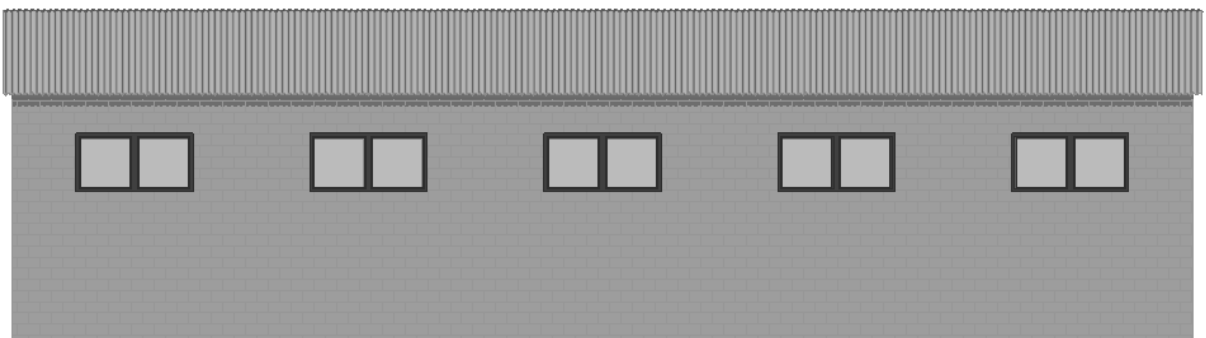


APÊNDICE A - Planta baixa, corte, elevação e vista 3D do galpão (conclusão)

Corte AA



Elevação



Vista 3D

