

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Anderson Luiz Machado Coutinho

## **TELHADOS DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

Santa Maria, RS  
2018

**Anderson Luiz Machado Coutinho**

**TELHADOS DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil,  
da Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial para  
obtenção do grau de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim César Pizzutti dos Santos

Santa Maria, RS  
2018

**Anderson Luiz Machado Coutinho**

**TELHADOS DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil,  
da Universidade Federal de Santa Maria  
(UFSM, RS), como requisito parcial para  
obtenção do grau de **Engenheiro Civil**.

**Aprovado em 17 de julho de 2018**

---

**Joaquim César Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**André Lübeck, Dr. (UFSM)**

---

**Rogério Cattelan Antocheves de Lima, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2018

## **RESUMO**

### **TELHADOS DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

AUTOR: Anderson Luiz Machado Coutinho  
ORIENTADOR: Joaquim César Pizzutti dos Santos

Objetivando embasar o projeto e a execução do sistema de proteção superior de uso mais comum em edificações habitacionais, este trabalho faz uma análise dos principais elementos utilizados em telhados. Inicialmente, são identificadas as exigências funcionais que servem para nortear a escolha dos materiais e, após, apresentadas as características dos principais tipos de telhas existentes no mercado que é o elemento construtivo fundamental dos telhados. Para a boa execução são feitas, também, considerações sobre o processo de instalação das telhas e acabamentos. As estruturas dos telhados compostas, basicamente, por peças de madeira serrada têm as suas seções transversais especificadas conforme valores da prática que foram adotados quando a peroba-rosa, atualmente em extinção, era a espécie mais utilizada. Dessa forma, discute-se as propriedades das madeiras, a introdução das espécies de reflorestamento no mercado e seus produtos estruturais. Em comparativo com as estruturas cujas seções são especificadas por valores da prática é feito o dimensionamento de estruturas de madeira com base em normas técnicas brasileiras. Obtém-se uma redução de 11,88% e 28,70% no volume de madeira das estruturas de telhados fabricados com telhas cerâmicas e metálicas, respectivamente. Já para o aço, apresentado como alternativa mais imediata à madeira, são analisadas as suas propriedades principais. Para duas estruturas similares de aço e madeira dimensionadas chega-se a um custo estimado de 18,57% mais caro para o aço que pode ser competitivo à madeira se for levado em consideração as vantagens da utilização da estrutura metálica.

**Palavras-chave:** Telhados. Coberturas. Telhas. Madeira. Aço.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCeM	Associação Brasileira da Construção Metálica
ABCP	Associação Brasileira Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANICER	Associação Nacional da Industria Cerâmica
CDE	Chapa com Dentes Estampados
CRFS	Cimento Reforçado com Fio Sintético
ELU	Estado Limite Último
ELS	Estado Limite de Serviço
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MLC	Madeira Laminada Colada
PVC	Policloreto de Vinila
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SINAT	Sistema Nacional de Aprovações Técnicas
UV	Ultravioleta
USP	Universidade de São Paulo
WWF	World Wide Fund for Nature

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho_{ap}$	Densidade aparente
$\rho_{esp}$	Peso específico
$\gamma$	Coeficiente de ponderação da resistência ou das ações
$\lambda$	Parâmetro de esbeltes
$\theta$	Valor da inclinação do telhado
$\sigma_M$	Tensão normal devida ao momento fletor
$\sigma_N$	Tensão Normal devida ao esforço normal
$\tau$	Tensão de cisalhamento
$\delta$	Valor da flecha imediata
$\psi$	Fator de redução das ações
A ou $A_G$	Área bruta de peça de seção retangular
b	Base da seção retangular
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2,0 m de distância da fachada/cobertura
$e_d$	Excentricidade de projeto
$f_{co,k}$	Resistência à compressão paralela às fibras (valor característico)
$f_{to,k}$	Resistência à tração paralela às fibras (valor característico)
$f_{vo,k}$	Resistência ao cisalhamento paralela às fibras (valor característico)
$f_{co,d}$	Resistência à compressão paralela às fibras (valor de projeto)
$f_{to,d}$	Resistência à tração paralela às fibras (valor de projeto)
$f_{vo,d}$	Resistência ao cisalhamento paralela às fibras (valor de projeto)
$f_y$	Resistência ao escoamento do aço
$f_u$	Resistência à ruptura do aço a tração
$F_e$	Carga crítica de Euler
$F_{sb}$	Ação variável ocasionada pelo vento (sobrepressão)
$F_{sc}$	Ação variável ocasionada pelo vento (sucção)
$E_{co,m}$	Módulo de elasticidade (valor médio)
$E_{co,ef}$	Módulo de elasticidade (valor efetivo)
h	Altura da seção retangular
I	Momento de inércia
i ou r	Raio de giração
$k_{mod}$	Coeficiente de modificação da madeira
L	Comprimento
M	Momento fletor
N	Esforço Normal
V	Esforço Cortante

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.2	JUSTIFICATIVA .....	11
1.1	OBJETIVOS .....	11
1.1.1	Objetivo Geral .....	11
1.1.2	Objetivos Específicos .....	11
<b>2</b>	<b>COBERTURAS INCLINADAS EM TELHADOS .....</b>	<b>13</b>
2.1	PARÂMETROS DE DESEMPENHO E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM TELHADOS .....	16
<b>3</b>	<b>TELHAMENTOS .....</b>	<b>19</b>
3.1	TELHAS CERÂMICAS .....	19
3.2	TELHAS DE CONCRETO .....	23
3.3	TELHAS DE FIBROCIMENTO .....	26
3.4	TELHAS METÁLICAS .....	28
3.4.1	Telhas de aço .....	31
3.4.2	Telhas de alumínio .....	32
3.5	TELHAS METÁLICAS TERMO-ACÚSTICAS .....	33
3.6	TELHAS SHINGLE (ASFÁLTICAS) .....	35
3.7	TELHAS PLÁSTICAS (PVC) .....	39
3.8	TELHAS TRANSLÚCIDAS E TRANSPARENTES .....	42
3.8.1	Vidro .....	42
3.8.2	Fiberglass .....	43
3.8.3	Policarbonato .....	43
3.8.4	Plástico (PVC) .....	43
3.8.5	Polipropileno .....	44
3.9	INSTALAÇÃO DAS TELHAS .....	44
3.9.1	Aquisição e recebimento .....	45
3.9.2	Processo de instalação .....	46
3.10	ACABAMENTOS DOS TELHADOS E ELEMENTOS COMPLEMENTARES .....	49
3.10.1	Cumeeira .....	50
3.10.2	Espigão .....	50
3.10.3	Argamassa de emboçamento .....	51
3.10.4	Rincão ou água furtada .....	51
3.10.5	Beiral .....	52
3.10.6	Elementos de captação pluvial .....	53
3.10.7	Elementos para melhoramento termo-acústico .....	54

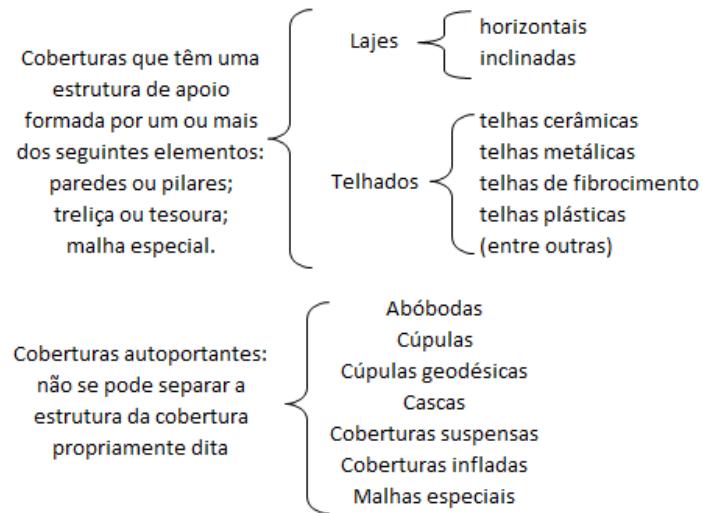
<b>4</b>	<b>ESTRUTURA DOS TELHADOS .....</b>	56
4.1	ESTRUTURA SECUNDÁRIA DE APOIO: TRAMA .....	57
<b>4.1.1</b>	<b>Ripas.....</b>	57
<b>4.1.2</b>	<b>Caibros .....</b>	59
<b>4.1.3</b>	<b>Terças.....</b>	60
4.2	ESTRUTURA PRINCIPAL: TESOURAS DE MADEIRA.....	63
4.3	ALTERNATIVAS ÀS TESOURAS DE MADEIRA.....	66
<b>4.3.1</b>	<b>Paredes de oitão.....</b>	66
<b>4.3.2</b>	<b>Estruturas Pontaleteadas .....</b>	67
4.4	LIGAÇÕES NAS PEÇAS DE MADEIRA .....	68
<b>4.4.1</b>	<b>Disposições construtivas .....</b>	70
4.5	AÇÃO DO VENTO E CONTRAVENTAMENTOS .....	72
4.6	ANCORAGEM DA ESTRUTURA .....	75
<b>5</b>	<b>MADEIRA UTILIZADA NAS ESTRUTURAS .....</b>	76
5.1	PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	76
5.2	ESPÉCIES DE MADEIRA UTILIZADAS EM TELHADOS .....	81
5.3	PRODUTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA.....	82
<b>5.3.1</b>	<b>Madeira roliça .....</b>	82
<b>5.3.2</b>	<b>Madeira serrada .....</b>	83
<b>5.3.3</b>	<b>Madeira laminada e colada (MLC) .....</b>	85
5.4	AQUISIÇÃO DA MADEIRA SERRADA E O MERCADO MADEIREIRO .....	86
5.5	TELHADO COM ESTRUTURA DE MADEIRA PRÉ-FABRICADA .....	87
5.6	O AÇO COMO ALTERNATIVA À MADEIRA.....	89
<b>6</b>	<b>COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS EM MADEIRA E EM AÇO PARA TELHADOS .....</b>	93
6.1	DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE MADEIRA PARA UM TELHADO COM TELHAS CERÂMICAS .....	94
<b>6.1.1</b>	<b>Dimensionamento das ripas.....</b>	95
<b>6.1.2</b>	<b>Dimensionamento dos caibros .....</b>	97
<b>6.1.3</b>	<b>Dimensionamento das terças.....</b>	98
<b>6.1.4</b>	<b>Dimensionamento da treliça.....</b>	99
	<i>6.1.4.1 Barras tracionadas – verificação da segurança e estabilidade.....</i>	103
	<i>6.1.4.2 Barras comprimidas – verificação da segurança e estabilidade.....</i>	103
	<i>6.1.4.3 Estado limite de serviço (flecha máxima admissível) .....</i>	104
6.2	DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE MADEIRA PARA UM TELHADO COM TELHAS METÁLICAS TERMO-ACÚSTICAS .....	104
<b>6.2.1</b>	<b>Dimensionamento das terças.....</b>	105
<b>6.2.2</b>	<b>Dimensionamento da treliça.....</b>	105

6.3	DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE AÇO PARA UM TELHADO COM TELHA METÁLICA TERMO-ACÚSTICA.....	109
6.3.1	Dimensionamento das terças.....	110
6.3.1.1	Verificação dos estados <i>limites últimos e de serviço</i> .....	111
6.3.2	Dimensionamento da treliça.....	112
6.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	115
7	<b>CONCLUSÃO .....</b>	117
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	120
	<b>APÊNDICE “A” – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA.....</b>	127

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o início dos tempos o homem primitivo já utilizava os elementos da natureza para se proteger das intempéries e dos perigos do meio natural. “De início, as coberturas eram feitas com materiais perecíveis como as cascas de árvores, folhagens e peles de animais”. (MELO E LANNA,2002, p.60). Mas com tempo, Montenegro (1984) relata o desenvolvimento de uma infinidade de novos materiais e técnicas de construção que possibilitaram o surgimento de novas coberturas tais como as feitas de elementos cerâmicos e as de fibrocimento. Atualmente no Brasil, Sant’Anna (2014) indica que estes dois materiais são os mais vendidos no mercado de coberturas. Apesar disso, em paralelo, a indústria desenvolve constantemente novos modelos cada vez mais tecnológicos como é o caso das ligas metálicas e dos polímeros plásticos. Segundo Montenegro (1984, p.93) podem existir diversos tipos de coberturas as quais agrupa de forma didática na Figura 1.

Figura 1 - Tipos de coberturas



Fonte: Montenegro,1984 (adaptado).

A utilização do termo “cobertura”, porém, pode gerar controvérsia uma vez que não há uniformidade na literatura em relação ao seu significado. De acordo com Calil Júnior (2010) enquanto alguns autores utilizam o termo “cobertura” tanto para referir-se exclusivamente ao telhado quanto de forma mais abrangente, outros admitem que

essa denominação é mais comum para construções industriais e quadras poliesportivas ficando o termo “telhado” restrito às edificações residenciais.

No âmbito deste trabalho define-se uma cobertura como sendo um “conjunto de elementos e componentes dispostos no topo da edificação” destinados a “proteger o edifício contra a ação das intempéries, tais como chuva, vento, raios solares, neve e também impedir a penetração de poeiras e ruídos no seu interior”. (CORSINI, 2013; MOLITERNO, 2010, p.1). Já o telhado é definido por Carmo (2016) como sendo o sistema de cobertura “constituído pela composição de planos inclinados cujo principal elemento construtivo é a telha” sendo, portanto, um subtipo de cobertura. Mesmo assim, cabe ressaltar que não há nada de errado na utilização do termo “cobertura” para referir-se ao “telhado” já que a primeira denominação abrange a segunda.

Em edificações habitacionais estas coberturas compostas por telhas são largamente utilizadas como meio de proteção superior. Para este fim, Montenegro (1984, p.67-68) demonstra a evolução de um sistema de transmissão de cargas capaz de transferir adequadamente os carregamentos para apoios na alvenaria sem gerar resultantes oblíquas ou empuxos dos quais o material não resiste muito bem. A tesoura, como se refere o autor, é uma treliça em formato triangular com barras sujeitas apenas a esforços de tração ou compressão que é capaz de gerar somente resultantes verticais nos apoios.

Os sistemas estruturais dos telhados de residências são fabricados, majoritariamente, em madeira e por profissionais de carpintaria. Na maioria das vezes, as seções das peças são adotadas com base em valores indicados pela prática sem o menor cálculo estrutural o que pode resultar em superdimensionamento, em muitos casos, e até em ruptura por carga excessiva em outros. Visto que são variáveis as propriedades da madeira com a espécie, as magnitudes do carregamento, os arranjos estruturais e as condições ambientais e, sabendo-se que estes são fatores determinantes no dimensionamento, é natural que ocorram diferenças. Gonzaga (2009, p.91) recomenda que o construtor calcule as dimensões das peças pois os valores da prática foram definidos quando a peroba-rosa, atualmente em extinção, era a espécie mais utilizada em estruturas de telhados para as regiões sul e sudeste. Como alternativa às tradicionais estruturas de madeira surgem outros produtos como os fabricados com espécies de reflorestamento e as estruturas metálicas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Os telhados são o tipo de cobertura de uso mais comum em edificações habitacionais e de fundamental importância ao conforto do usuário. Neles, podem ser utilizados diversos tipos de materiais e vários sistemas estruturais de maneira que, o desconhecimento, pode gerar escolhas inadequadas e acarretar uma série de problemas. Em um telhado mal projetado ou mal executado podem ocorrer infiltrações, destelhamentos, gastos desnecessários, desconforto ao usuário, deformidades estéticas, rupturas, acidentes, não atendimento da vida útil de projeto, entre outros. Deste modo, o estudo das características dos elementos construtivos utilizados em telhados é necessário não apenas para coibir que tais problemas aconteçam, mas para permitir a escolha adequada dos materiais mais adaptáveis ao projeto em questão. Além disso, o conhecimento é de fundamental importância para que o engenheiro possa orientar a mão-de-obra e realizar o recebimento e a estocagem dos materiais de maneira correta.

## 1.1 OBJETIVOS

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho visa reunir informações necessárias ao estudo dos diversos materiais e elementos construtivos fundamentais no âmbito dos telhados de edificações habitacionais os quais servem para fundamentar as etapas de projeto, especificação e aquisição dos elementos da cobertura.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Definir as funções que os telhados desempenham no corpo da edificação estabelecendo, assim, critérios de seleção dos diversos materiais utilizados na sua composição bem como a terminologia básica necessária ao entendimento desse contexto.

Apresentar os principais tipos de telhas existentes no mercado nacional de coberturas expondo suas características fundamentais além de fazer indicações gerais sobre o processo executivo das mesmas e sobre seus elementos construtivos complementares.

Identificar os componentes estruturais básicos utilizados em telhados de edificações da classe habitacional estipulando o arranjo estrutural resistente destes elementos, as seções indicadas pela prática em madeira, as ligações e os contraventamentos.

Expor as características da madeira apontando as espécies mais utilizadas em estruturas, suas propriedades, os tipos de produtos estruturais disponíveis além de fazer considerações sobre o mercado madeireiro e as condições para aquisição das peças.

Fazer dimensionamento de elementos estruturais em madeira e em aço para embasar um comparativo entre os materiais e entre as peças de madeira calculadas por normas técnicas e aquelas indicadas pela prática de engenharia.

## 2 COBERTURAS INCLINADAS EM TELHADOS

Segundo Azeredo (1997, p.155) a cobertura de um edifício tem por finalidade fundamental abriga-lo das intempéries sendo também necessário que a mesma possua propriedades isolantes, seja impermeável, de rápida secagem e bom escoamento, além de apresentar boas condições de colocação, manutenção e resistência durante a vida útil com relativa economia e inalterabilidade quanto ao peso e à forma. Em edificações habitacionais, Cardoso (2000, p.2) indica a existência de dois grandes grupos principais de coberturas: os telhados, dos quais trata este trabalho, e as lajes de concreto impermeabilizadas. A fins comparativos, a Tabela 1 apresenta as características fundamentais desses dois sistemas.

Tabela 1 - Quadro comparativo entre coberturas em telhados e lajes de concreto impermeabilizadas

(continua)

Características fundamentais	Coberturas em telhados	Lajes de concreto impermeabilizadas
Peso	Os materiais de revestimento utilizados são leves (telhas) e os vãos são vencidos geralmente por treliças, resultando em estruturas leves.	Os vãos são vencidos pelo próprio concreto armado ou protendido, resultando geralmente em coberturas mais pesadas.
Estanqueidade	É garantida pelo detalhe de justaposição das telhas (encaixe, comprimento de tal sobreposição, etc.) e pela inclinação; a inclinação é fundamental, de forma a garantir uma velocidade de escoamento das águas que evite a penetração pelas juntas, através do efeito do vento, ou através das próprias peças constituintes, quando o material não é suficientemente impermeável	A continuidade é garantida pela continuidade da superfície vedante; o concreto, pela sua fissuração (devido à retração, movimentação térmica e carregamento), não garante por si só esta continuidade, sendo exigidas as impermeabilizações.
Participação estrutural e comportamento frente a movimentações do edifício	As coberturas em telhados apenas se apoiam sobre o suporte, não tendo participação estrutural significativa no conjunto da edificação. E, ainda, a movimentação devida a mudanças de temperatura ou a outros motivos (até um certo limite) não compromete sua estanqueidade, por estarem as telhas soltas e sobrepostas.	As coberturas de concreto, integram a estrutura do edifício. As movimentações estruturais (variações dimensionais, recalques diferenciais) introduzem tensões na cobertura, o que pode comprometer sua estanqueidade devido à fissuração ou ao trincamento.

(continuação)

Necessidade de forro	Geralmente utiliza-se um forro, que desempenha dupla função: uma é de nivelar o teto e fornecer suporte às instalações, outra é a de propiciar correção térmica, uma vez que os telhados têm em geral pequena espessura. Pode-se dizer que o espaço de ar confinado entre a cobertura e o forro, e o próprio forro, participam da correção térmica.	Em geral, dispensam a utilização de forros. Por exemplo, nas coberturas em lajes horizontais, o nivelamento do teto e suporte para as instalações já é obtido pela própria laje
----------------------	---	---

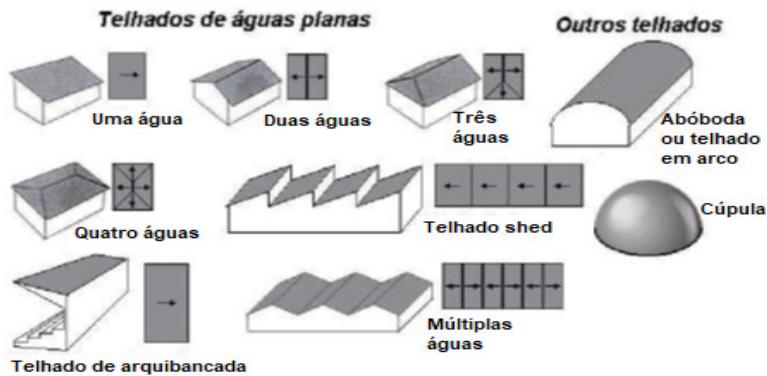
Fonte: Pichi, 1994 *apud* Cardoso,2000.

Do exposto fica claro que a escolha pelos telhados gera coberturas mais leves onde a estanqueidade é garantida pela inclinação e recobrimento das telhas, sem a necessidade imediata de adotar impermeabilizações, além de não serem vulneráveis às movimentações do edifício como as lajes impermeabilizadas. Porém, são coberturas que necessitam de forro, principalmente para se atingir um conforto térmico adequado. De acordo com as ideias de Calil Júnior (2010, p.22) pode-se subdividir esta parte da edificação em:

- um conjunto de telhas em sua parte superior;
- uma trama de madeira, ou outro material, que sustenta o conjunto de telhas;
- estruturas verticais de sustentação da trama que normalmente são tesouras de madeira;
- sistema de contraventamentos que confere a estrutura capacidade de absorver ações horizontais como a ocasionada pelos ventos;
- elementos de captação das águas pluviais.

Azeredo (1997, p.154) denomina plano de água, ou simplesmente água, as superfícies planas e inclinadas dos telhados cuja função é permitir um perfeito escoamento das águas da chuva. Segundo Moliterno (2010, p.2) os telhados podem ser formados por um ou mais planos de água ou também por uma ou mais superfícies curvas. No entanto, em residências é mais comum encontrar-se os chamados telhados de águas planas. (Figura 2).

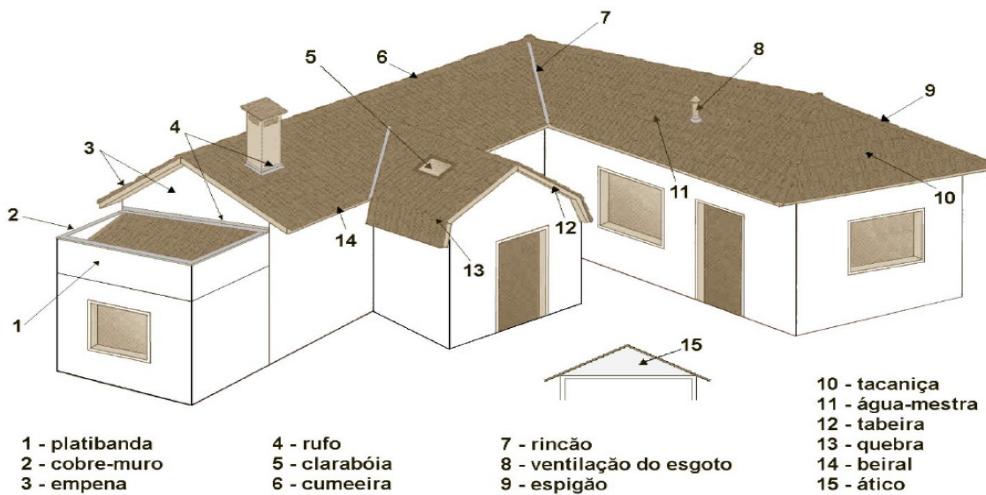
Figura 2 - Águas do telhado



Fonte: Longsdon,2002.

Na bibliografia técnica bem como no dia-a-dia da construção civil é frequentemente encontrar-se uma série de denominações para as diversas partes e componentes do telhado. Essa terminologia é muito vasta sendo comum a utilização de mais de um nome para um mesmo significado como também variações regionais. Para os componentes externos do telhado a NBR 15575-5:2013 indica a nomenclatura apresentada na Figura 3.

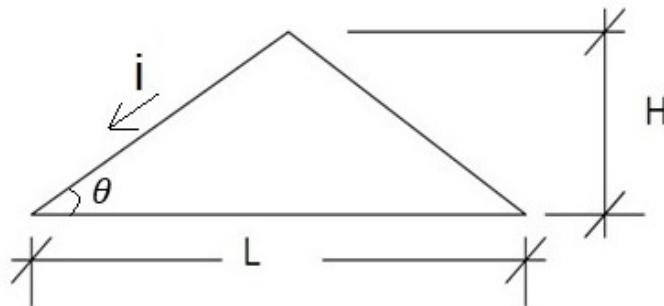
Figura 3 – Nomenclatura em telhados



Fonte: ABNT, 2013.

De acordo com Montenegro (1984, p.103) a inclinação de um telhado (Figura 4) pode ser medida através de 3 sistemas de referência: o ponto, o grau e a porcentagem. Moliterno (2010, p.3) indica que a medição em ponto se faz pela relação entre a altura de cumeeira ( $H$ ) e o vão a ser vencido ( $L$ ), o que varia entre os limites de 1:2 a 1:8. Esse sistema, de acordo com Montenegro (1984, p.103), foi o adotado na arquitetura colonial e atualmente está em desuso. O grau e a porcentagem são sistemas que guardam uma relação de triângulo retângulo com os elementos do telhado. O primeiro, segundo (Montenegro 1984, p.103), também está em desuso devido a dificuldades de leitura de transferidor em obra, já o segundo, conforme indica Pádua (2017, p.3), superou todos os outros devido a facilidade de aplicação para todo tipo de telha. Com a inclinação em porcentagem ( $i\%$ ) indicada, a altura de cumeeira fica determinada pela relação  $H = L/2 \times i\%$ .

Figura 4 – Medição da inclinação do telhado.



Fonte: Cardoso,2000 (adaptado).

## 2.1 PARÂMETROS DE DESEMPENHO E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM TELHADOS

Para elaborar o projeto de uma cobertura é necessário estabelecer critérios que possibilitem uma avaliação adequada dos materiais que serão utilizados uma vez que estes desempenham diversas funções no corpo da edificação. Calil Júnior (2010, p.21) salienta o ponto de vista estético no qual cobertura é a coroa da construção e onde as diversas formas, texturas, volumes e cores se combinam com a planta do

imóvel. Já a parte 5 da NBR 15575:2013, que aborda o tema sistemas de coberturas, traz várias exigências e requisitos técnicos para que as coberturas apresentem bom desempenho. A Tabela 2 apresenta estes critérios os quais se aplicam ou podem se aplicar aos telhados.

Tabela 2 - Critérios de desempenho da NBR 15575-5 (2013)

Critério	Informações
Desempenho estrutural	Resistir às cargas concentradas de pessoas ou objetos na fase de construção. Suportar ações de vento ou granizo.
Segurança contra incêndio	Evitar a propagação de chamas e não criar impedimento visual que dificulte a fuga de ocupantes.
Segurança no uso e na operação	Inexistência de partes soltas ou que possam se soltar com o peso próprio ou sobrecarga. Apresentar condições para manutenção segura.
Estanqueidade	Ser impermeável à água da chuva. Evitar a formação de umidade e a proliferação de insetos e micro-organismos.
Desempenho térmico	Apresentar valores adequados de transmitância térmica ( $U$ ) e absorvância à radiação solar ( $\alpha$ ) na zona bioclimática da NBR 155220-3:2005 a qual será construída a edificação.
Desempenho acústico	Avalia-se o isolamento de sons aéreos do conjunto fachada/cobertura pelo parâmetro $D_{2m,nT,w}$ .
Desempenho lumínico	Durante o dia as dependências da edificação devem receber iluminação adequada. O telhado pode ter componentes que facilitem a passagem de luz.
Durabilidade e manutenibilidade	Atender às funções que se destina durante a vida útil especificada em projeto desde que sejam realizadas as intervenções e manutenções periódicas indicadas.
Funcionalidade e acessibilidade	Deve ser acessível às vistorias, manutenções e instalações previstas em projeto.
Saúde, higiene e qualidade do ar	Evitar a proliferação micro-organismos (fungos e bactérias) e não liberar produtos que poluam o ar dos ambientes confinados.
Conforto tátil e antropodinâmico	O telhado deve ser projetado de forma a não provocar ferimentos nos usuários.

Fonte: Adaptação de ABNT,2013.

É verdade que algumas destas exigências são responsabilidades dos fabricantes, mas, muitas delas são incumbências do projetista da cobertura, do agente responsável pela execução e, até mesmo, do usuário. Em se tratando de telhados é natural pensar que é obrigação do fabricante a resistência mecânica das telhas bem como é dever do projetista que a estrutura apresente resistência às ações

concentradas. Durante a execução é necessário que o agente responsável fiscalize o atendimento às inclinações mínimas indicadas pelos fabricantes e, durante manutenções futuras, é o usuário quem deve seguir as informações presentes nos manuais de uso, operação e manutenção. Apesar disso, deve-se salientar que cabe ao projetista da cobertura observar sempre todas as etapas da construção para que se atinja os resultados esperados de desempenho. Isso acontece desde a aquisição dos materiais onde são analisadas as características técnicas dos produtos.

Corsini (2013) relata que entre os requisitos mais importantes da parte 5 da NBR 15575:2013 estão a segurança contra incêndio e o desempenho acústico. Segundo o referido autor a resistência ao fogo da estrutura deve atender à NBR 14432:2001 considerando um tempo mínimo de exposição de 30 minutos. O desempenho térmico representa também um dos principais requisitos técnicos dos telhados. O critério é atendido quando a cobertura apresentar valores adequados de transmitância térmica ( $U$ ) e absorbância à radiação solar ( $\alpha$ ) referente à zona bioclimática da NBR 15220-3:2005 a qual se encontra a edificação. Para o projetista, esses valores são de grande importância no projeto uma vez que cabe a ele a determinação do desempenho térmico a partir dos métodos indicados pelas referidas normas.

O fator econômico também é de notória relevância para as coberturas. Nesse sentido, convém não analisar apenas os custos iniciais de aquisição dos materiais, mas levar em conta também os benefícios destes e as necessidades da edificação. Em construções de padrão médio a baixo o preço de aquisição pode ser um dos fatores determinantes, mas a estética e o conforto termo-acústico podem se sobrepor ao preço em obras de alto padrão. Para melhor avaliar o custo de uma cobertura é conveniente que se considere o custo global da mesma levando em conta o valor da mão-de-obra, a dificuldade e o tempo de serviço, a durabilidade do material e as necessidades de manutenções ao longo da vida útil que podem onerar ainda mais o sistema. A NBR 15575-1 indica que se considere uma vida útil de projeto não inferior a 20 anos para coberturas.

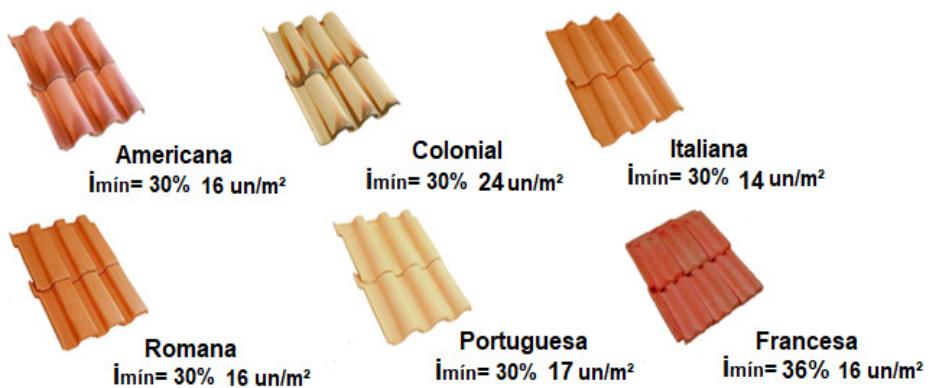
### 3 TELHAMENTOS

As telhas constituem o elemento construtivo fundamental dos telhados sendo a sua escolha o primeiro passo para um projeto adequado. A seleção do tipo de telha define automaticamente qual será a inclinação do telhado além de ser fator determinante para garantir que haja resistência às intempéries, influir no comportamento termo-acústico, estética, durabilidade, resistência mecânica e economia da cobertura. Dada a diversidade de materiais existentes no mercado fica evidente que, além de ter critérios estabelecidos para uma escolha adequada, é necessário que se conheça as características dos mesmos as quais são apresentadas neste capítulo.

#### 3.1 TELHAS CERÂMICAS

“As telhas cerâmicas são muito utilizadas em residências, dada a facilidade de ser encontrada e utilizada, bem como a diversidade oferecida no comércio. Além disso possibilitam um conforto térmico muito melhor que as demais”. (LONGSDON, 2002, p.2). Elas “são oferecidas em uma variedade de formas, que variam quanto ao tipo de encaixe, rendimento por m<sup>2</sup>, inclinação, entre outros fatores, possibilitando assim uma grande variedade de possibilidades arquitetônicas”. (TELHADOS, 2012). (Figura 5).

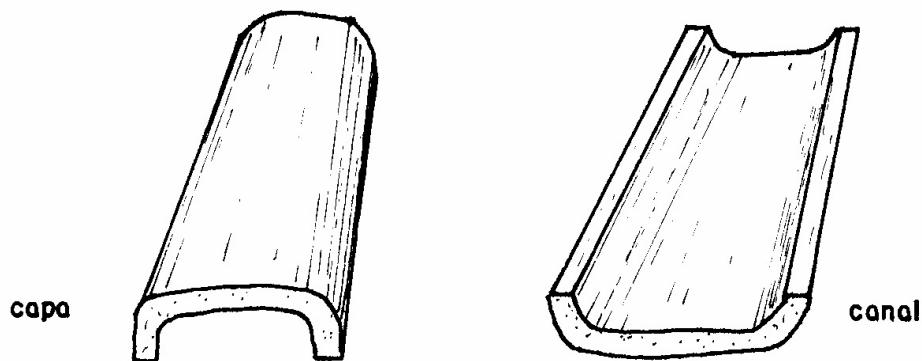
Figura 5 – Tipos de telhas cerâmicas



Fonte: Rossi,2016 (modificado).

"Uma cobertura com telhas cerâmicas pode utilizar um único tipo de peça ou dois tipos diferentes. O sistema de cobertura de duas peças é mais conhecido como capa e canal". (SOUZA,2010, p.189). Segundo Thomaz (1988, p.10) as telhas capa e canal (Figura 6) têm formato de meia-cana e são caracterizadas por peças côncavas (canais) apoiadas sobre a estrutura, e por peças convexas (capas) que, por sua vez, se apoiam sobre os canais. Essas telhas vêm em peças separadas e suas capas podem ser utilizadas para a fabricação de cumeeiras e espiões. Entretanto, Azeredo (1997, p.159) cita a telha colonial, uma das primeiras a serem utilizadas no Brasil, onde não há diferenças entre as peças de capa e canal podendo-se usar um canal como capa ou vice-versa. Mas existem outras versões, uma com as capas e canais em peças distintas e outra em que as capas e canais vêm em peça única.

Figura 6 – Telhas de capa e canal



Fonte: Milito,2004.

"A fabricação das telhas cerâmicas é feita quase que pelo mesmo processo empregado para os tijolos comuns", resultando, deste modo, conforme destaca Ripper (2016), em produtos com um bom comportamento térmico tanto para o frio quanto para o calor. (YAZIGI, 2009, p.495). Thomaz (1988, p.6) salienta que os produtos resultantes desse processo podem ter sua qualidade avaliada da mesma forma que nos tijolos cerâmicos os quais devem apresentar um som metálico, semelhante a um sino, quando suspensos por uma extremidade e adequadamente percutidos.

Embora varie muito conforme o modelo de telha (colonial, americana, romana, etc.) e também de acordo com o fabricante, a Tabela 3 traz algumas características das telhas cerâmicas.

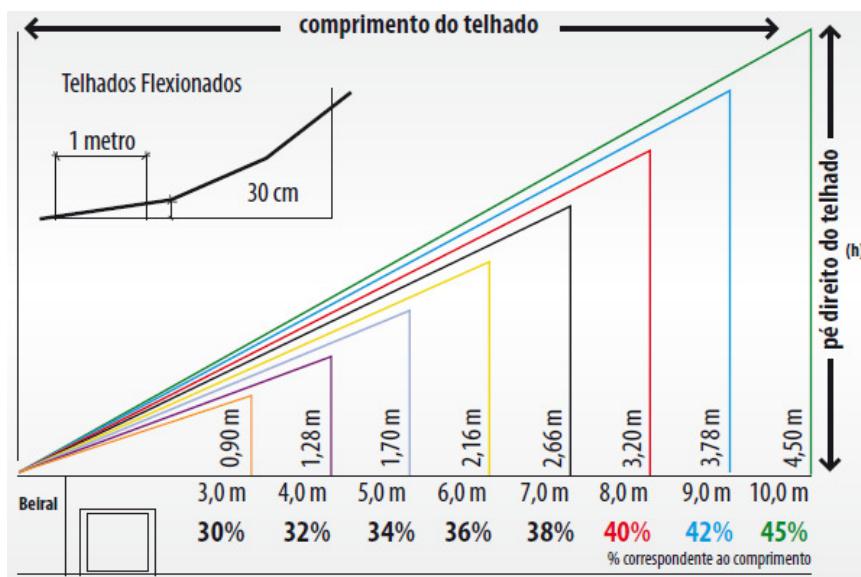
Tabela 3 - Características técnicas de telhas cerâmicas

Características técnicas	Mediterrânea	Italiana 14	Romana 14	Francesa	Romana	Plan
Comprimento médio	410 mm	444 mm	442 mm	400mm	415mm	460 mm
Largura média	247 mm	259 mm	258 mm	240 mm	240 mm	160/180 mm
Altura média	90 mm	65 mm	49 mm	30 mm	55 mm	45/60 mm
Número de telhas/m <sup>2</sup>	14,5	14	14	15	16	26
Peso por telha	2,8 kg	3,3 kg	3,4 kg	2,6 kg	3,0 kg	2,3 kg
Distância entre ripas	34 cm	37 cm	37 cm	34 cm	36 cm	40 cm
Absorção de água	< 11%	< 11%	< 11%	< 20%	< 18%	< 20%
Carga de ruptura média	> 468 kgf	> 305 kgf	> 280 kgf	> 70 kgf	> 130 kgf	> 100 kgf
Inclinação mínima	30%	30%	30%	32%	30%	20%

Fonte: Melo e Lanna, 2002 (adaptado).

Uma análise destes parâmetros comparado com as características dos telhados constituídos por outros materiais iria revelar que as telhas cerâmicas são de pequenas dimensões, mais pesadas, mais porosas e relativamente resistentes às ações de serviço. As telhas cerâmicas formam telhados com planos inclinados rugosos devido ao elevado número de juntas necessário e à aspereza deste material necessitando de inclinações elevadas para o bom escoamento pluvial sem haver formação de goteiras, acúmulos ou retorno de água entre as juntas por ação do vento. Conforme observa-se da Figura 7, a grande inclinação eleva-se na medida em que é aumentado o comprimento do telhado não sendo indicado ser maior que 10,0m.

Figura 7 - Inclinação em telhas cerâmicas tipo mediterrânea



Fonte: Top Telha,2015.

Além do exposto, Ripper (2016) destaca outras vantagens da utilização das telhas cerâmicas:

- o material dificulta a propagação externa de sons aéreos melhorando o isolamento acústico;
- a partir do mecanismo de difusão de vapor a telha absorve umidade do interior das coberturas nos dias úmidos e chuvosos e a elimina em condições mais adequadas sob ação do calor ou vento;
- as variações dimensionais ocasionadas pela umidade ou temperatura são reduzidas ao mínimo quando se utiliza argilas processadas e submetidas à queima em condições controladas;
- os produtos fabricados com argila não são inflamáveis.

Apesar disso, o material cerâmico pode apresentar problemas em regiões com alta salinade no ar ou em áreas que atingem temperaturas negativas. A Agiforte (2018, p.1) destaca que a água da chuva e a umidade do ar podem trazer sais dissolvidos que atacam quimicamente a telha, principalmente em zonas próximas ao mar, e o congelamento da água saturada nos poros gera esforços internos que podem causar

rupturas sob forma de lascas. Como são porosas as telhas cerâmicas facilitam o aparecimento de micro-organismos. Os musgos, de acordo com Cardoso (2000, p.5), obstruem o ressalto das telhas e as calhas, provocam o refluxo de água, escurecem os telhados e pioram as condições de conforto térmico, mas podem ser eliminados por escovação e lavagem com água sanitária e cloro.

Souza (2010, p.189) relata que há também modelos de telhas cerâmicas que recebem uma camada de esmalte logo após a primeira queima conferindo uma aparência vitrificada e maior durabilidade. Segundo Construindo Decor (2018) as telhas cerâmicas esmaltadas possuem baixa permeabilidade e superfície lisa que dificulta a aderência de limo partículas de fuligem e podem vir em modelos dupla face para ambientes sem forro, mas são bem mais caras que as cerâmicas tradicionais.

### 3.2 TELHAS DE CONCRETO

Segundo Cardoso (2000, p.9) as telhas de concreto compostas de aglomerantes, agregados e óxidos responsáveis pela sua coloração têm seu uso ainda limitado no Brasil, sendo mais empregadas em edifícios de padrão médio e alto. Esse tipo de telha é constantemente comparado às telhas cerâmicas em função da sua semelhança em relação aos modelos, formatos, cores e por serem telhas de pequenas dimensões, apesar de seu tamanho ser levemente superior em relação às cerâmicas. Syerra Construtora (2013) destaca que elas são menos utilizadas do que as telhas cerâmicas por questões culturais e pelo custo mais elevado que, segundo Teghovix (2014), é cerca de 20% a 30% maior. “O custo inicial mais alto, por sua vez, pode ser compensado, pois são utilizadas 10,4 telhas de concreto por m<sup>2</sup> de telhado, contra cerca de 17 telhas por m<sup>2</sup> da cerâmica [...]” destaca o arquiteto Cláudio Porsé à revista Prisma (2013). De acordo com as ideias de Pezente (2016) a escolha da telha de concreto se justifica a partir das seguintes vantagens a serem consideradas: a excelente resistência mecânica; a grande disponibilidade de cores, modelos e peças de acabamento; a durabilidade e a resistência às intempéries; o fácil manuseio e o baixo índice de absorção de água que evita a sobrecarga do telhado em dias de chuva. A partir da Figura 8 é possível observar as principais características para a telha de concreto modelo americano.

Figura 8 – Telha de concreto modelo Americana

			Comprimento Médio 420 mm
Outono	Gaudi	Litoral	Largura Média 330 mm
			Telhas por m <sup>2</sup> 10,4
Marine	Ouro	Neve	Peso Médio por Telha 4,5 Kg
			Peso Médio por m <sup>2</sup> 46,8 kg
			Distância máx. entre ripas 32 cm
			Absorção de água <10%
			Resistência >240kgf/cm <sup>2</sup>
			Embalagem 240 telhas

Fonte: Nival Coberturas,2016 (adaptado).

Com intuito de estabelecer um comparativo, as tabelas 4 e 5 apresentam os prós e os contras para telhas de concreto e cerâmicas, respectivamente, na visão de vários especialistas.

Tabela 4 - Telhas de concreto: prós e contras

(continua)

Cláudio Kurth diretor da Área de Telhas Cerâmicas da Anicer	
Prós	Contras
Benefício acústico presente nos dois tipos de telha devido à sua espessura.	São mais pesadas, exigem estrutura de telhado mais reforçada para sustentá-las. A telha de concreto armazena e transfere o calor para dentro do ambiente.
Cláudio Oliveira Silva gerente de inovação e sustentabilidade da ABCP	
Prós	Contras
Apresentam tolerâncias dimensionais mais precisas, encaixes perfeitos e utilizam menor quantidade de telhas por metro quadrado. Podem ser encontradas em grande diversidade de formatos e cores. Estão chegando ao mercado telhas com <i>design</i> inovador que agregam beleza aos projetos. Possui aplicação mais fácil devido à estabilidade dimensional proporcionada pelo método de fabricação. É mais resistente, dependendo do modelo da telha.	Telhas de concreto devem ser utilizadas em coberturas com inclinação mínima de 30%.
Luiz Tadeu Papaterra L. Mariutti engenheiro da Construtora Sequência	
Prós	Contras
Dependendo da cor também é um elemento de baixa condutibilidade térmica. Por serem produzidas industrialmente, têm dimensões constantes. Têm baixa perda por serem menos	Utilizam bastante madeira e, se comparadas às de cerâmicas, podem ter custo mais elevado

(continuação)

frágeis, se comparadas às de cerâmica. Também, dependendo do projeto, podem ser bastante valorizadas arquitetonicamente. Por fim são mais leves que as telhas cerâmicas, pois absorvem menos água.	dependendo do local onde se encontra a obra. São mais difíceis de serem adquiridas fora dos grandes centros.
<b>Anildo Hoffman engenheiro da Hoffman Telhados</b>	
Prós	Contras
Possui maior resistência; baixa absorção de água. Portanto, propicia menor proliferação de fungos na face superior. Os encaixes são perfeitos, o que proporciona maior segurança quanto à entrada de água por chuvas de vento. Possui sobreposição maior, evitando retorno de águas. Grande parte dos fabricantes produz em sete cores diferentes. A limpeza é mais fácil, há rapidez no entelhamento, com baixo consumo: apenas 10,5 peças/m².	Sua utilização pode ser prejudicada, como ocorre no caso da telha cerâmica, pela pouca inclinação do telhado.

Fonte: Construção Mercado, 2012 (adaptado).

Tabela 5 - Telhas cerâmicas: prós e contras

<b>Cláudio Kurth diretor da Área de Telhas Cerâmicas da Anicer</b>	
Prós	Contras
Conforto térmico, acústico, resistência e durabilidade. Devemos ressaltar também o embelezamento do telhado pelos tons avermelhados da cerâmica. Com o uso de telha cerâmica o imóvel esquenta menos devido a características como porosidade.	A Anicer não expôs nenhum fator contrário ao produto.
<b>Cláudio Oliveira Silva gerente de inovação e sustentabilidade da ABCP</b>	
Prós	Contras
A ABCP informou que não se pronuncia sobre esse tipo de telha.	A ABCP informou que não se pronuncia sobre esse tipo de telha.
<b>Luiz Tadeu Papaterra L. Mariutti engenheiro da Construtora Sequência</b>	
Prós	Contras
Oferecem menor condutibilidade térmica, tornando os ambientes menos sujeitos à influência da temperatura externa. Além disso são mais charmosas, mesmo quando mais antigas. Por fim têm custo menor que de coberturas similares e são fáceis de serem adquiridas	Requerem maior inclinação do telhado, utilizam quantidade maior de madeira se comparada às de fibrocimento e, por fim, a cobertura torna-se mais pesada. Há o inconveniente de se apresentarem com dimensões não muito constantes. Também são frágeis.
<b>Anildo Hoffman engenheiro da Hoffman Telhados</b>	
Prós	Contras
O único benefício das telhas cerâmicas é o baixo custo que apresentam em algumas regiões. Isto pode não acontecer se a obra for muito distante da fábrica.	É menos resistente e a aplicação é mais difícil. Vale ressaltar que um fator que pode limitar o uso da telha cerâmica, seria a pouca inclinação do telhado, pois todas exigem acima de 30% ou 35% de inclinação.

Fonte: Construção Mercado, 2012 (adaptado).

### 3.3 TELHAS DE FIBROCIMENTO

“Depois das telhas de barro, as telhas de fibrocimento são as mais conhecidas dos brasileiros. Constituídas por fibras de amianto e cimento, estas telhas são fabricadas em diversos modelos, tamanhos e espessuras”. (PEZENTE,2016). (Figura 9)

Figura 9 - Telhas de fibrocimento



Fonte: Brasilit,2014 (adaptado).

As telhas onduladas de fibrocimento são, segundo Cardoso (2000, p.7), bastante utilizadas em edificações habitacionais de padrão popular o que se deve ao baixo custo dos telhados construídos, embora, não se consiga obter conforto adequado, sobretudo, térmico. O modelo ondulado das telhas de fibrocimento possui dimensões padronizadas, verificadas na Tabela 6, e as características técnicas descritas na Tabela 7.

Tabela 6 - Dimensões padronizadas das telhas onduladas de fibrocimento

Espessura (mm)	Comprimento (m)	Largura (m)
5, 6 e 8 mm	0,91 / 1,22 / 1,53 / 1,83 / 2,13 / 2,44 / 3,05 / 3,66	1,10 (útil 0,885 m ou 1,05 m conforme recobrimento)

Fonte: Yazigi, 1998 *apud* Cardoso,2000.

Tabela 7 - Características técnicas das telhas onduladas de fibrocimento

Resistência a flexão (atende a NBR 15210)	5mm - Classe C6 (2500 N/m)	Peso para cálculo (incluindo absorção de água, recobrimento e fixações)	5 mm - 16 kg/m <sup>2</sup>	
	6mm - Classe C7 (3300 N/m)		6 mm - 18 kg/m <sup>2</sup>	
	8mm - Classe C8 (4200 N/m)		8 mm - 24 kg/m <sup>2</sup>	
Tolerâncias dimensionais	Espessura = +/- 10%, mas não superior a +/- 0,6mm			
	Comprimento = +/- 10mm			
	Espessura = +10 ou -5mm			
Peso específico	1600 kg/m <sup>3</sup>	Absorção de água	25% a 30%	
Módulo de Elasticidade	5 Gpa	Dilatação térmica	0,01 mm/m °C	
Dilatação por absorção de água (saturado/seco estufa)	Aproximadamente 3mm/m			
Condutibilidade térmica	0,35 W/mK (média entre 20°C e 70°C)			

Fonte: Brasilit,2010a (adaptado).

De acordo com Calil Júnior (2010, p.24) as grandes vantagens da utilização desse material em coberturas é a execução de telhados com rapidez, custo reduzido e com boa resistência mecânica. Construindo Decor (2016c) ressalta que as telhas de fibrocimento possuem alta durabilidade e são altamente resistentes às atmosferas agressivas suportando os efeitos da corrosão. Porém, Calil Júnior (2010, p.24) observa que elas começam a apresentar problemas de manutenção devido ao envelhecimento antes mesmo do que as telhas cerâmicas de mesma idade.

O custo reduzido dessas soluções deve-se ao menor preço de mercado das telhas de fibrocimento e ao menor valor do sistema estrutural requerido. Isso acontece, pois, esse material, além de ser mais leve, exige inclinações menores em sua execução. Longsdon (2002, p.4) indica que as dimensões são muito maiores do que as cerâmicas permitindo-se reduzir em muito o madeiramento e até eliminá-lo como no caso dos modelos autoportantes apoiados diretamente sobre as paredes sem apoios intermediários.

Para compensar o baixo desempenho térmico, Calil Júnior (2010, p.4) recomenda projetar telhados com beirais maiores, pés-direitos mais elevados ou pintar as duas faces com tinta acrílica branca. Já Montenegro (1984, p.73) indica que o efeito negativo pode ser atenuado fazendo-se um bom projeto de ventilação. No

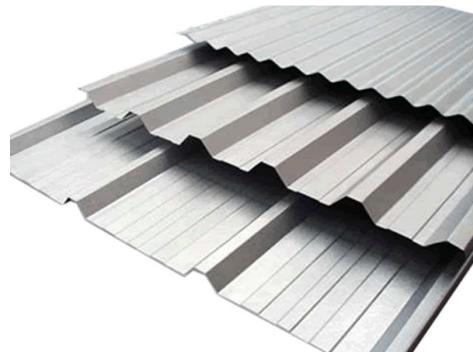
mesmo sentido, pode-se ainda utilizar forros e subcoberturas sempre levando em consideração o custo-benefício dessas soluções.

Uma grande preocupação dos usuários na utilização desse tipo de telha é com relação ao amianto, componente do fibrocimento. De acordo com Montenegro (1984, p.73) o composto é considerado cancerígeno e tem sua utilização proibida em vários países como Suécia e Noruega, sendo o risco particularmente grande quando o operário corta ou fura a telha e há desprendimento das fibras de amianto em maior quantidade. No Brasil, Souza (2010, p.4) relata que ainda está em discussão o banimento desse composto e que já há mobilização de indústria nacional nesse sentido, procurando soluções para substituir o amianto nas telhas como é o caso do CRFS (Cimento Reforçado com Fio Sintético) que reforça a telha com fio sintético a base de polipropileno ao invés de amianto. Rossi (2017) informa que em novembro de 2017 o Supremo Tribunal Federal declarou a inconstitucionalidade de um artigo da Lei Federal 9055/95 que permitia o uso controlado do amianto tipo crisotila, utilizado na fabricação de telhas e caixas d'água. A informação é que, com a decisão, ficam proibidas a extração, comercialização e distribuição de todos os tipos de amianto no Brasil.

### 3.4 TELHAS METÁLICAS

As telhas metálicas são outro tipo de uso corrente na construção civil. De acordo com Calil júnior (2010, p.24) elas são encontradas em perfis ondulados e trapezoidais (Figura 10) com diferentes espessuras, várias ligas e acabamentos. No Brasil, Nakamura (2011) indica que os materiais mais utilizados são o alumínio, as telhas de aço (galvanizado e inoxidável), as confeccionadas por uma mistura de aço e alumínio (galvalume) e, em menor proporção, as telhas de cobre e titânio que possuem custo mais elevado.

Figura 10 - Perfis das telhas metálicas



Fonte: Riofer,2017.

Em função de sua predominância no cenário da construção dos telhados destaca-se aqui os produtos fabricados com aço e/ou alumínio que, fundamentalmente, possuem as seguintes características:

[...] tornam a cobertura leve e com caimentos pequenos, devido à perfeita superposição das peças e por não ter porosidade e rugosidade, dando um perfeito escoamento; entretanto, os inconvenientes são: o fato de ser bom condutor de calor, aquecendo o ambiente interno; o fato de condensar o ar provocando goteiras; o barulho das chuvas; o preço elevado, etc. (AZEREDO, 1997, p.173).

Ao utilizar este tipo de telha deve-se tomar cuidado com as ações ocasionadas pelo vento pois, uma vez que o material é leve, há grandes riscos de arrancamento caso não seja adequadamente fixado à estrutura. A leveza, porém, aliada a baixa inclinação exigida possibilita um alívio nos carregamentos e torna vantajoso o cálculo estrutural.

As tabelas 8 a 11 apresentam informações técnicas e com relação às cargas admissíveis para perfis ondulados e trapezoidais que são os mais requisitados pelo mercado.

Tabela 8 – Informações técnicas da Telha Trapezoidal RT40/980

Espessura da chapa (mm)	0,43	0,5	0,65	0,8
Peso galvalume (kg/m)	3,87	4,5	5,85	7,2
Peso galvalume (kg/m <sup>2</sup> )	3,94	4,59	5,96	7,34
Momento de inércia (cm <sup>4</sup> /m)	10,53	12,25	15,93	19,62
Módulo de resistência (cm <sup>3</sup> /m)	4,77	5,54	7,18	8,82
Inclinação mínima sugerida	10%			
Espaçamento médio entre terças	1,8 m			

Fonte: Regional Telhas, 2018 (adaptado).

Tabela 9 – Cargas admissíveis em kgf/m<sup>2</sup> na Telha Trapezoidal RT40/980

Vão	2 apoios				3 apoios				4 apoios			
	0,43 mm	0,50 mm	0,65 mm	0,80 mm	0,43 mm	0,50 mm	0,65 mm	0,80 mm	0,43 mm	0,50 mm	0,65 mm	0,80 mm
1,6 m	230	268	348	429	277	323	420	517	335	389	506	623
1,7 m	192	223	290	358	231	269	350	431	279	324	422	520
1,8 m	162	188	245	301	195	227	295	363	235	273	355	438
1,9 m	138	160	208	256	166	193	251	309	200	232	302	372
2,0 m	118	137	178	220	142	165	215	265	171	199	259	319
2,2 m	89	103	134	165	107	124	161	199	129	150	195	240
2,4 m	68	79	103	127	82	96	124	153	99	115	150	185
2,6 m	54	62	81	100	65	75	98	120	78	91	118	145
2,8 m	43	50	65	80	52	60	78	96	62	73	94	116
3,0 m	35	41	53	65	42	49	64	78	51	59	77	95

Fonte: Regional Telhas, 2018 (adaptado).

Tabela 10 – Informações técnicas da Telha Ondulada RT17/980

Espessura da chapa (mm)	0,43	0,50	0,65	0,80
Peso galvalume (kg/m)	3,87	4,50	5,85	7,20
Peso galvalume (kg/m <sup>2</sup> )	3,94	4,59	5,96	7,34
Momento de inércia (cm <sup>4</sup> /m)	1,66	1,93	2,51	3,09
Módulo de resistência (cm <sup>3</sup> /m)	1,94	2,25	2,91	3,55
Inclinação mínima sugerida	20%			
Espaçamento médio entre terças	1,4 m			

Fonte: Regional Telhas, 2018 (adaptado).

Tabela 11 – Informações técnicas em kgf/m<sup>2</sup> na Telha Ondulada RT17/980

Vão	2 apoios				3 apoios				4 apoios			
	0,43 mm	0,50 mm	0,65 mm	0,80 mm	0,43 mm	0,50 mm	0,65 mm	0,80 mm	0,43 mm	0,50 mm	0,65 mm	0,80 mm
1,1 m	168	195	254	312	202	235	305	376	244	283	368	454
1,2 m	129	150	195	241	156	181	235	290	188	218	284	349
1,3 m	102	118	154	189	122	142	185	228	148	172	223	275
1,4 m	81	95	123	152	98	114	148	182	118	137	179	220
1,5 m	66	77	100	123	80	93	120	148	96	112	145	179
1,6 m	54	63	82	102	66	76	99	122	79	92	120	147
1,7 m	45	53	69	85	55	64	83	102	66	77	100	123
1,8 m	38	45	58	71	46	54	70	86	56	65	84	104
1,9 m	33	38	49	61	39	46	59	73	47	55	71	88
2,0 m	28	32	42	52	34	39	51	63	41	47	61	75

Fonte: Regional Telhas, 2018 (adaptado).

A partir da análise destas informações é possível constatar que a seção trapezoidal apresenta maior resistência mecânica em relação à ondulada pois possui os maiores módulos de resistência e as maiores cargas admissíveis. Os vãos livres permitidos também são maiores para telhas trapezoidais. Além disso, elas exigem valores menores de inclinação o que, possivelmente, deve-se a maior facilidade para o escoamento da água na seção.

### 3.4.1 Telhas de aço

“As telhas de aço têm uso predominante em edifícios comerciais e industriais e o material básico para a fabricação de seus perfis é a chapa de aço apropriada para moldagem a frio, zincada ou pintada com material sintético”. (CARDOSO,2000, p.11). Para contrapor os efeitos da corrosão atmosférica e atender aos requisitos de durabilidade para diferentes classes de agressividade dos ambientes aos quais as telhas de aço estão inseridas ABCEM (2009, p.9) indica usar como matéria-prima de fabricação os seguintes aços tratados com revestimento adequado:

- zincados por imersão a quente (galvanizado) – as telhas apresentam grande resistência à corrosão atmosférica mesmo em condições severas como a atmosfera marinha permitindo que se trabalhe com perfis de espessuras reduzidas. O processo, denominado zincagem, é um dos mais eficientes e econômicos e consiste em revestir a telha com zinco puro ou com liga de zinco-ferro.
- *aluzinc* ou *galvalume* – o revestimento composto de alumínio, zinco e silício confere excelente proteção à corrosão atmosférica e alta refletividade à telha aumentando, com isso, o conforto térmico e melhorando a aparência. A resistência a corrosão proporcionada por esse processo é pelo menos duas vezes superior a zincagem.
- aços inoxidáveis – o aço inoxidável oferece grande durabilidade, facilidade de manutenção e resistência, e é utilizado em ambientes altamente agressivos. Além disso, tem sido gradativamente utilizado em projetos de alto padrão arquitetônico devido a sua grande qualidade estética.
- pré-pintados – as telhas podem ser fornecidas com sua coloração natural ou em diversas cores, pós-pintadas ou pré-pintadas. No processo de pré-pintura as bobinas de aço zinkado são pintadas antes de serem conformadas em telhas recebendo um *primer* de epóxi seguida de uma pintura de acabamento. Denominado *Coil Coating* o sistema proporciona grande durabilidade, maior em relação a pós-pintura, facilidade de manutenção e vantagens estéticas pois podem ser feitas em uma ampla gama de cores.

### 3.4.2 Telhas de alumínio

“Além das telhas de aço, são também encontradas no mercado telhas de alumínio, que, via de regra, apresentam maior durabilidade, maior preço, menor peso e menor resistência, para uma mesma seção”. (CARDOSO,2000, p.12). De acordo com Pezente (2016), elas são fornecidas em diversas espessuras e comprimentos e são fabricadas a partir de bobinas de alumínio que passam por perfiladeiras as quais conferem o formato desejado a telha, normalmente em perfil ondulado ou trapezoidal.

Pini (2010) alerta que não há norma técnica no Brasil que regulamente as telhas de alumínio. Sendo assim, deve-se prestar atenção nas informações prestadas pelos fabricantes e exigir garantias.

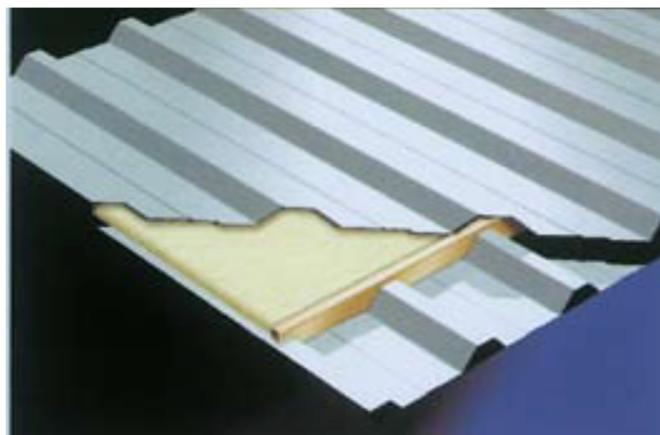
O uso dessa telha se torna vantajoso pois, “devido ao alto brilho do alumínio, os raios solares são refletidos em maior intensidade, o que dissipar rapidamente o calor acumulado, tornando o ambiente interno termicamente mais confortável”. (SÓ METAIS, 2016). Pezente (2016) menciona que elas são “resistentes a ambientes agressivos, como os da orla marítima e zonas industriais”.

### 3.5 TELHAS METÁLICAS TERMO-ACÚSTICAS

Para fazer frente ao seu fraco desempenho termo-acústico Calil Júnior (2010, p.25) indica que as telhas metálicas podem, ainda, vir em lâmina dupla com preenchimento entre as camadas, tipo sanduíche. Souza (2010, p.196) relata que esse novo tipo de telha é formado basicamente por materiais isolantes como poliuretano, poliestireno, lã de vidro ou lã de rocha que são colocadas entre duas telhas metálicas, geralmente de aço ou alumínio, conseguindo-se, assim, conforme ABCEM (2009, p.26), uma redução dos ruídos externos e um alto isolamento térmico que é variável de acordo com os materiais utilizados.

“As telhas metálicas termo-acústicas também conhecidas como telhas duplas ou painel sanduíche [...]” são materiais que “têm como característica o peso reduzido e a fácil instalação, além de não precisar de forros ou lajes adicionais”. (SOUZA, 2010; FERREIRA, 2011). (Figura 11). A única desvantagem fica por conta do custo de aquisição que é mais elevado em relação aos modelos tradicionais de telhas.

Figura 11 - Telha metálica termo-acústica



Fonte: ABCEM,2009.

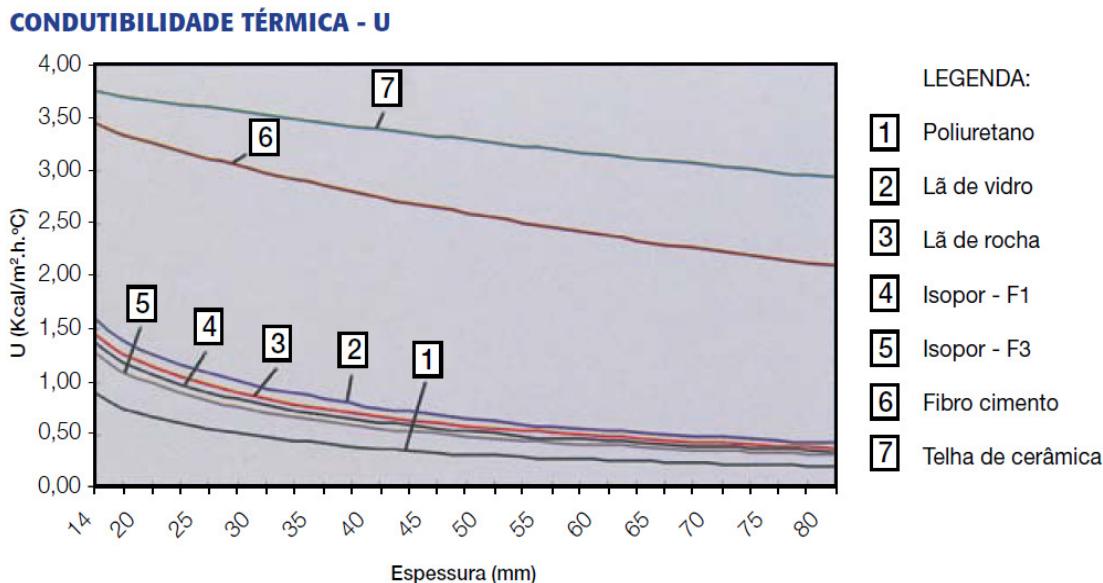
“As telhas com isolamento em poliuretano e poliestireno, normalmente, já saem da fábrica como um painel composto, pronto e acabado para uso do cliente. Já os sistemas com lâs de rocha ou de vidro são vendidos desmontados”. (SOUZA, 2010, p.197). Para atender projetos específicos que necessitem de maior isolamento ABCEM (2009, p.28) indica que podem ainda, sob consulta, serem aumentadas as espessuras dos materiais isolantes, como é o caso do poliuretano, ou serem fornecidos materiais com outras densidades, como é o caso das lâs minerais.

Em relação ao material isolante presente nas telhas termo-acústicas deve ser dada, também, atenção às situações que envolvem risco de incêndio ou deterioração. Souza (2010, p.197) não recomenda que as telhas fiquem estocadas por muito tempo no canteiro de obras pois elas são muito frágeis ao impacto e às intempéries, além de conter produtos altamente inflamáveis como é o caso do poliuretano. Já ABCEM (2009, p.29-30) relata que o poliuretano de alta densidade possui capacidade de praticamente não absorver água e retardar a chama e, se for utilizada lâ de vidro, ela é incombustível e biologicamente inerte.

De acordo com Souza (2010, p.197) as diferentes classes de isolamento termo-acústico das telhas duplas se diferenciam de acordo com o material isolante, as suas espessuras e até mesmo com a própria chapa metálica de aço ou alumínio. Para comparar o desempenho no isolamento térmico dos diferentes materiais ABCEM (2009, p.26) utiliza o coeficiente global de transmissão de calor ( $U$ ) que é função,

dentre outros fatores, da condutividade térmica do material ( $k$ ) e da espessura das camadas. A Figura 12 apresenta um gráfico comparativo  $U$  versus espessura.

Figura 12 - Desempenho térmico de materiais utilizados em telhados



Fonte: ABCEM,2009.

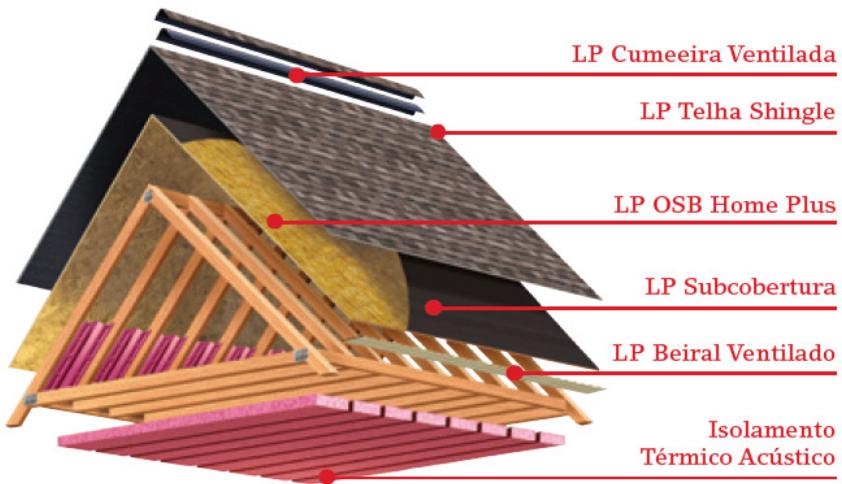
Sabendo-se que “[..] quanto menor o valor do coeficiente global de transmissão, melhor o seu isolamento térmico” é notável um melhor desempenho para as maiores espessuras dos elementos avaliados. (ABCEM, 2009. p.26.). Além disso, quando se considera os materiais com finalidades isolantes, como é o caso do poliuretano, o ganho de conforto térmico supera até as tradicionais telhas cerâmicas.

### 3.6 TELHAS SHINGLE (ASFÁLTICAS)

Segundo Ecogreen (2017) as telhas *shingle*, muito populares nos Estados Unidos e na Europa, já ganham adeptos no Brasil em função da sua capacidade de se adaptar a vários desenhos do telhado, praticidade, flexibilidade e garantia de um sistema 100% estanque. Cardoso (2000, p.13) indica que, diferentemente dos

telhados executados com telhas de fibrocimento ou aço, os telhados *shingle* constituem um sistema de cobertura formado por componentes específicos. A LP Brasil (2010) apresenta um sistema que pode ser composto por uma estrutura de madeira ou metálica contraventada por placas de madeira compensada OSB a qual serve de apoio para a subcobertura e o conjunto de telhas *shingle* no topo. (Figura 13).

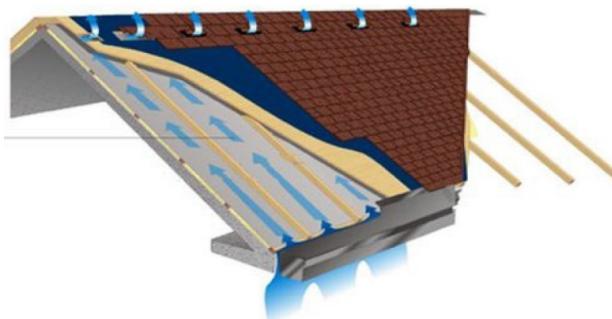
Figura 13 – Elementos do sistema de cobertura com telhas *shingle*



Fonte: LP Brasil,2010.

Para o bom funcionamento do telhado *shingle* deve-se atentar para a circulação de ar. TKM Distribuidora (2018) orienta no sentido de utilizar uma saída de ar quente próxima às cumeeiras e entradas de ar frio nas proximidades dos beirais a fim de dissipar o calor e eliminar a possibilidade de condensação da umidade que prejudica o madeiramento e as subcoberturas. (Figura 14).

Figura 14 – Sistema de ventilação



Fonte: TKM Distribuidora, 2018.

De acordo com Pezente (2016), as telhas *shingle* são constituídas basicamente por betume, um aglomerante repelente a água, e outros componentes que dependem do tipo de telha escolhido tais como fibras de vidro, fibras orgânicas, grânulos minerais, pigmentos, etc. O produto apresentado por Brasilit (2010b), disponível em várias cores, é altamente durável, resistente a ventos fortes e quebras, além de ser muito flexível e adaptável às diversas partes de união das águas do telhado o que dispensa peças de acabamento. O fabricante ainda menciona a sua tecnologia AR contra algas e fungos, uma camada de cobre que reveste os grãos minerais da telha que reage com a água da chuva e produz óxido de cobre evitando, assim, a proliferação de micro-organismos mesmo sob umidade. Já Ecogreen (2016), cita a excepcional leveza do material *shingle* que vêm em placas de 1,0m de largura por 30cm a 40cm de comprimento para telhados com ângulo de 15º a 90º proporcionando, com isso, notável economia nas estruturas e facilitando a aplicação.

Uma vez que os países que mais utilizam as telhas *shingle* possuem clima temperado é comum suspeitar do desempenho térmico do material em regiões tropicais, caso do Brasil. Os estudos de Corbin (2005) mostram que a temperatura das telhas *shingle* na cor preta chegam a um pico de 70ºC durante o verão e raramente atingem 32,2ºC durante o inverno, mas utilizando-se a cor branca o pico para o verão fica em 60ºC. O referido autor relata que o calor absorvido pelo telhado pode ser transferido para os cômodos abaixo da cobertura e as altas temperaturas podem causar o envelhecimento precoce da telha. Entretanto, o relatório técnico de Vittorino (2012) apresenta um índice de transmitância térmica  $U = 0,34\text{W/m}^2\cdot\text{K}$  para um telhado

*shingle* composto com os seguintes elementos: telhas *shingle* com espessura média de 3mm; placa OSB com espessura total de 11,1 mm, superfície inferior de baixa emissividade (da ordem de 0,1) apoiada em vigas metálicas; câmara de ar e camada de lã de vidro com 89 mm de espessura sobre forro horizontal de gesso acartonado com espessura de 12,5mm. As tabelas 12 e 13 apresentam informações relativas ao cálculo de U e aos componentes do telhado.

Tabela 12 – Resistências térmicas superficiais interna e externa da cobertura

Componente	Resistência térmica superficial m <sup>2</sup> .K/W	
	Interna - $R_{si}$	Externa - $R_{se}$
Cobertura (fluxo de calor descendente)	0,17	0,04

Fonte: Vittorino, 2012.

Tabela 13 – Características das camadas de materiais e resultados obtidos

Camada de material	Espessura e (m)	Condutovidade térmica $\lambda$ (W/[m. K])	Resistência térmica $R_{ti}$ (m <sup>2</sup> .K/W)
Telha Shingle	0,003	0,15	0,02
OSB	0,011	0,12	0,091667
Lã de vidro	0,089	0,046	1,934783
Gesso acartonado	0,0125	0,35	0,035714
Câmara de ar no ático	0,4	-	0,61
$R_{tss} = \sum R_{ti} =$		2,69 m <sup>2</sup> .K/W	
$R_{TT} = R_{se} + R_{tss} + R_{se} =$		2,90 m <sup>2</sup> .K/W	
$U = 1/R_{TT} =$		0,34 W/m <sup>2</sup> .K	

Fonte: Vittorino, 2012 (adaptado).

O valor obtido da transmitância térmica  $U = 0,34\text{W/m}^2.\text{K}$  possivelmente irá gerar um excelente conforto térmico pois é muito baixo se comparado com outras coberturas como, por exemplo, os modelos exemplificados pela NBR 15220:2005 (Tabela 14). Dessa forma, um telhado bem executado com todos os componentes do sistema

*shingle*, como o apresentado por Vittorino (2012), dificilmente irá acarretar problemas relacionados ao conforto térmico.

Tabela 14 – Transmitância térmica para algumas coberturas

Descrição	U [W/m <sup>2</sup> .K])
Cobertura de telha de fibrocimento, lâmina de alumínio polido e forro de madeira; espessura da telha: 0,7 cm; espessura da madeira: 1,0 cm.	1,16
Cobertura com telha de barro, lâmina de alumínio polido e laje de concreto de 20cm; espessura da telha 1,0 cm.	1,06
Cobertura de telha de barro com 5,0cm de lã de vidro sobre forro de madeira; espessura da telha: 1,0 cm; espessura da madeira: 1,0cm.	0,62

Fonte: ABNT, 2005 (adaptado).

Deve-se observar, entretanto, que o custo inicial das telhas *shingle* é um dos fatores que podem prejudicar a sua competitividade no cenário nacional. Muito comparadas às telhas cerâmicas em função de suas características, Bubniak (2013) indica que o custo da telha *shingle* instalada parte de R\$ 80,00 enquanto que as telhas cerâmicas custam em torno de R\$ 20,00 a R\$ 27,00 mais a mão-de-obra que gira entre R\$ 35,00 e R\$ 60,00. O desenvolvimento do mercado de telhas *shingle* no Brasil pode ajudar a reduzir os preços de aquisição.

### 3.7 TELHAS PLÁSTICAS (PVC)

Cichinelle (2015) relata que as telhas de PVC, disponíveis no mercado brasileiro desde 2011, representam um novo conceito tecnológico de soluções em um segmento tradicionalmente dominado por materiais cerâmicos, metálicos e à base de concreto. Segundo Sant' Anna (2013) o produto recém-chegado ao mercado nacional e de sucesso em outros países anima o setor e deve receber investimentos pesados a curto prazo.

A utilização desse tipo de material é possível uma vez que se superam os obstáculos no território nacional. Segundo Cichinelli (2015) os produtos poliméricos não eram utilizados para compor o telhado pois não se conseguia desenvolver um

produto que resistisse à rigorosa agressividade ambiental de países com clima tropical. Um dos grandes problemas a serem resolvidos citado por muitos autores, como Calil Júnior (2010) e Montenegro (1984), é que a telha de PVC perde sua cor com facilidade devido à incidência dos raios ultravioletas. Porém, Sant' Anna (2013) expõem que os fabricantes já conseguem contornar essas dificuldades desenvolvendo produtos adequados às normas brasileiras de telhas, resistentes à radiação ultravioleta e também à propagação chamas.

"Essas telhas podem apresentar diversas variações nos modelos e também nos tamanhos, dependendo da procedência da mesma" podendo ser fabricadas em "[..] perfil ondulado ou trapezoidal como as de cimento-amianto e alumínio". (CONSTRUINDO DECOR,2016b; MONTENEGRO,1984). Ademais, há modelos que simulam o perfil de telhas cerâmicas. (Figura 15).

Figura 15 – Telhas de PVC



Fonte: Precon,2017 (adaptado).

A Figura 16 apresenta algumas informações para a telha de PVC tipo Plan da marca Precon onde é possível observar algumas grandezas. Para telhados duas águas feitos com esse tipo de telha a Precon (2017) indica usar uma inclinação mínima de 10%, mas há modelos que a exigência chega a 20%. A recomendação no caso de telhados de uma água é um mínimo de 5% de caimento.

Figura 16 – Telha de PVC tipo Plan

PLAN		
Comprimento	2,42 m	3,30 m
Largura	0,88 m	0,88 m
Área útil por telha	1,75 m <sup>2</sup>	2,46 m <sup>2</sup>
Largura útil	0,80 m	0,80 m
Apoios qtd., por telha	6	8
Peso por telha	6,8 kg	9,27 kg
Peças de fixação, por telha	16	22
	2 1/2"	2 1/2"
Cores	Cerâmica, Concreto Marfim	



Fonte: Precon,2017 (adaptado).

Cichinelli (2015) relata que devido às suas dimensões e características técnicas, as telhas de PVC são mais leves que as cerâmicas, suportam melhor o impacto e as cargas estáticas e acidentais permitindo, assim, economizar nas estruturas de sustentação além de reduzir o custo e o tempo de instalação. Segundo Sant' Anna (2013) o preço das telhas poliméricas pode ser alto em relação às concorrentes tradicionais, mas os profissionais do setor de telhas de PVC garantem uma relação custo/benefício compensatória após a instalação.

Embora o mercado de fabricação de telhas de PVC ainda esteja iniciando no Brasil, já existem alguns fabricantes. No manual da Precon (2017) a empresa apresenta, dentre outras informações, algumas características que são de grande relevância sobre o seu produto e que demostra a qualidade desse tipo de telha. Os itens “a” até “d” subsequentes fazem menção à tais características consideradas de fundamental importância para análise do material:

- a) As telhas fabricadas com chapas de PVC em camadas duplas possuem a camada externa em acrilato que protege contra a degradação dos raios UV e contra a perda da coloração. Além disso, não propagam chama. O produto atende todas as exigências das normas brasileira de combate ao fogo conforme a NBR 15575:2013 e diretriz SINAT 07.

- b) A camada interna é formada por PVC modificado que confere ao produto final resistência e, ao mesmo tempo, flexibilidade. Com isso, amortecem bem as vibrações o que resulta em redução sonora superior e, também, condução térmica reduzida em relação à maioria das telhas significando, assim, um melhor conforto termo-acústico.
- c) As telhas são leves, resistentes à quebras e suportam uma carga vertical de até 1,2 kN. Resistem também à agentes químicos, emissões industriais, névoa salina, ácidos e outros ambientes agressivos. Além disso, podem ser facilmente laváveis.
- d) O material é totalmente impermeável e não absorve água. Em ambientes muito úmidos pode haver condensação da umidade do ar devido a diferença de temperatura com a telha.

### 3.8 TELHAS TRANSLÚCIDAS E TRANSPARENTES

Para o aproveitamento da iluminação natural pode-se, ainda, promover a utilização de telhas que permitam total ou parcialmente a passagem da luz solar. Esses materiais são denominados translúcidos, quando ofusciam a imagem para o exterior, ou transparentes quando há total nitidez na passagem da luz visível. As telhas transparentes ou translúcidas são utilizadas para cobertura total ou, mais comumente, em conjunto com telhas de outros materiais sendo necessário, portanto, haver compatibilidade com aquelas que a acompanham.

#### 3.8.1 Vidro

Segundo Pezente (2016) esse tipo de telha não sofre os efeitos de corrosão, requer baixa manutenção, é resistente, durável, leve, de fácil manuseio e é utilizado de forma isolada ou em conjunto com as telhas cerâmicas. Porém, Construindo Decor (2016a) relata que o material retém muito calor em locais de climas muito quentes podendo, como alternativa, serem utilizados os chamados “vidros seletivos” que oferecem um melhor controle solar e térmico.

### **3.8.2 Fiberglass**

“É uma resina que, reforçada com fibras de vidro, resulta em material quase indestrutível. Comumente o material recebe o nome fibra de vidro ou *fiberglass* e pode ser fabricado sob a forma opaca em cores diversas ou translúcidos”. (MONTENEGRO, 1984, p.75). Segundo Yazigi (2009, p.497) as telhas com *fiberglass* que podem, ainda, vir em perfis incolores são flexíveis, resistentes a gases industriais, óleos, gasolinhas e agentes químicos, e são fabricadas em perfis adaptáveis às telhas de grandes dimensões como as de fibrocimento. Porém, Montenegro (1984, p.75) relata que há alguns inconvenientes como o alto custo e a perda de cor resultante da exposição ao sol.

### **3.8.3 Policarbonato**

De acordo com Souza (2010, p.179) o policarbonato é um polímero derivado do petróleo de elevada transparência que é mais leve que o vidro, resistente ao amarelecimento e possui proteção contra a radiação ultravioleta. Dumax (2016, p.20) salienta que essa proteção é feita através de uma camada co-extrusada contra os raios UV resultando em um material de alta durabilidade e resistência às intempéries sem alterar as suas propriedades físicas e mecânicas. Nakamura (2009) indica que o produto é comercializado em diversas cores e nos padrões transparente, opaco, canelado e liso, chegando o seu nível de transparência até 90%.

### **3.8.4 Plástico (PVC)**

Conforme relata Montenegro (1984, p.75) as telhas de PVC citadas no item 3.7 deste trabalho podem vir também em perfis translúcidos que são usados com o objetivo de aumentar a iluminação do ambiente.

### 3.8.5 Polipropileno

Brasilit (2014, p.41) informa que as telhas de polipropileno, feitas em perfis perfeitamente adaptáveis às telhas de fibrocimento, proporcionam a passagem de até 70% da luz natural além de serem duráveis, resistentes aos raios ultravioletas e manobras de instalação.

## 3.9 INSTALAÇÃO DAS TELHAS

O processo de instalação das telhas varia muito conforme o modelo utilizado e, também, de fabricante para fabricante de modo que se torna inviável a exposição de cada processo em particular para proceder uma análise dos diferentes modelos de telhas. Esta análise, fica a cargo das informações apresentadas até aqui onde é possível construir ideias da facilidade de instalação de cada tipo de telha em especial.

De maneira geral, quanto mais consolidado estiver o material no mercado e, portanto, mais familiarizada estiver a mão-de-obra existente melhor serão os resultados. As telhas de dimensões relativamente menores, a exemplo das cerâmicas e as de concreto, que exigem detalhes mais complexos, costumam ter execução mais demorada e complicada enquanto que os modelos grandes como os de fibrocimento, metal e, até mesmo, os plásticos usualmente são de mais fácil execução. O modelo *shingle*, por sua vez, apesar da presença ainda modesta no mercado brasileiro costuma ser de fácil instalação.

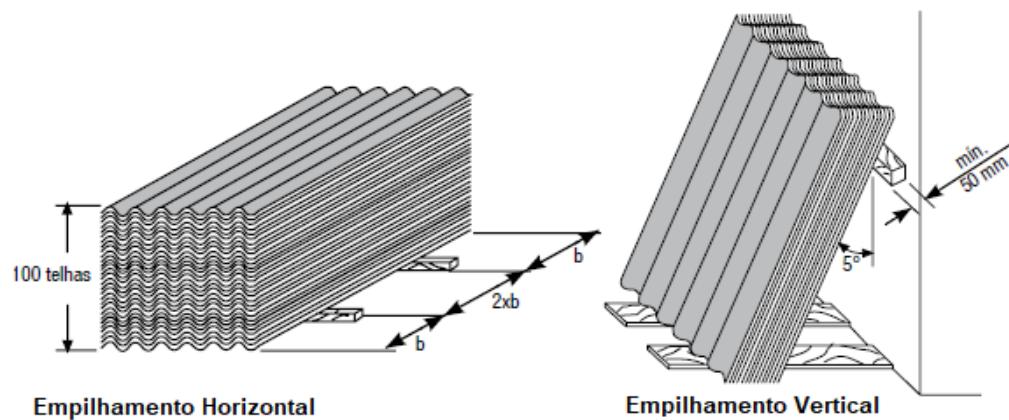
As informações referentes ao processo de instalação de fato de qualquer tipo de telha estão, majoritariamente, contidas em manuais disponibilizados pelos fabricantes os quais devem sempre ser consultados. Estas informações servem não apenas para nortear o processo executivo, mas também para embasar a escolha do modelo adequado de telha a partir da consulta de tópicos fundamentais às etapas de projeto e especificação dos materiais como: inclinação recomendada, peso e rendimento por metro quadrado, índice de absorção de umidade, garantias, condições de uso e manutenção, certificados de qualidade e seguimento às normas técnicas, grau de conforto termo-acústico, entre outros.

### 3.9.1 Aquisição e recebimento

Na hora da compra, Calil Júnior (2010, p.27) sugere adquirir cerca de 10% a mais do número de telhas calculado em função da área do telhado para considerar o efeito do corte e de manutenções futuras. Cardoso (2000, p.5) indica que, no recebimento de telhas cerâmicas, não devem ser aceitos defeitos sistemáticos como quebras, rebarbas, esfoliações, trincas, empenamentos, desvios geométricos e não uniformidade de cor. Além disso, deve-se tomar certos cuidados para coibir problemas relacionados ao transporte e à armazenagem inadequada. Thomaz (1988, p.18) recomenda manusear as telhas individualmente e com cuidado para evitar quebras além de estocá-las em terreno plano e firme, o mais próximo possível do local da obra, e cobri-las com lonas.

É importante também que se verifique as condições para o empilhamento máximo. "As telhas cerâmicas têm de ser estocadas na posição vertical, em até três fiadas sobrepostas. No caso de armazenamento em laje, verificar sua capacidade de resistência para evitar sobrecarga". (CARDOSO, 2000, p.5). Para telhas onduladas de fibrocimento, Brasilit (2010, p.38) sugere um empilhamento horizontal máximo de 100 telhas assentadas adequadamente, e um empilhamento vertical de até 300 unidades cuidando-se, em ambos os casos, para não misturar telhas com espessuras diferentes. (Figura 17).

Figura 17 – Empilhamento das telhas de fibrocimento

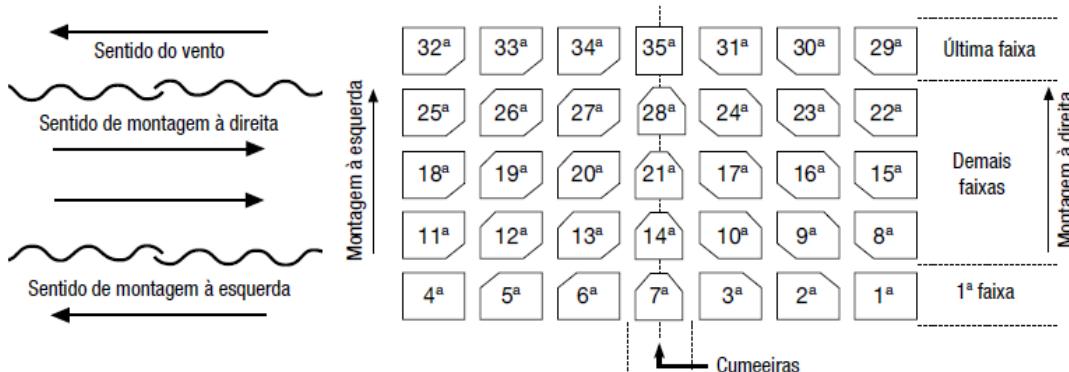


Fonte: Brasilit, 2014 (adaptado).

### 3.9.2 Processo de instalação

Em relação ao método de instalação propriamente dito vários fatores devem ser observados como a ordem de colocação das telhas, onde pisar na hora da execução, as ferramentas necessárias e os materiais e as peças utilizados para fixação das telhas. “A colocação das telhas deve ser feita por fiadas, iniciando-se pelo beiral e prosseguindo-se em direção à cumeeira” com “[..] sentido contrário aos ventos dominantes na região a fim de garantir maior estanqueidade da cobertura”. (THOMAZ, 1988, p.39; BRASILIT, 2014, p.26). A ordem de montagem difere de acordo com o modelo de telha e com o fabricante. A Figura 18 apresenta a sequência de montagem para telhas onduladas de fibrocimento da marca Brasilit.

Figura 18 - Sequência de montagem de telhas onduladas de fibrocimento.



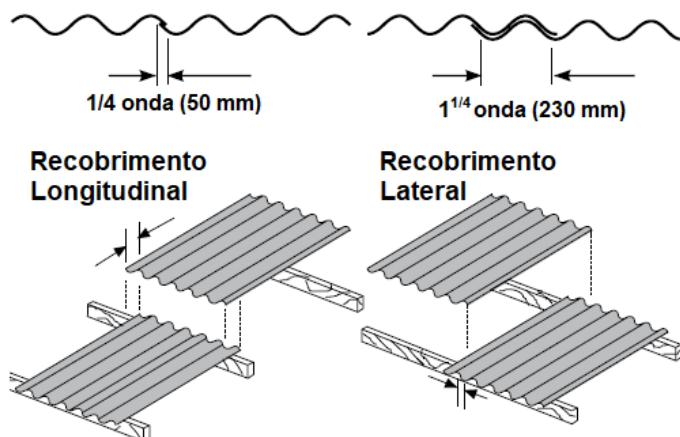
Fonte: Brasilit,2014 (adaptado).

“Não se deve pisar diretamente sobre as telhas, e sim fazer um ‘caminho’ de tábuas sobre o telhado. Evitar trabalhar sobre as telhas molhadas, pois perdem muito de suas resistências.” (CALIL JÚNIOR, 2010, p.27). Brasilit (2014, p.27) recomenda a colocação de tábuas de modo a distribuir os esforços a pontos de apoio das telhas e nos dois sentidos de montagem tal que permita a livre movimentação dos montadores. Thomaz (1988, p.41) indica, ainda, que a execução não pode ser feita em dias de chuva ou vento forte, por problemas de segurança, e que as pilhas de telhas cerâmicas devem ser dispostas sobre todas as águas do telhado possibilitando

uma distribuição uniforme da carga e evitando que o montador caminhe com telhas sobre a estrutura já montada. Porém, as pilhas não devem ser demasiadamente grandes a ponto de causar sobrecarga na estrutura. Melo e Lanna (2002, p.61) recomendam grupos de seis a dez unidades cerâmicas.

A fim de garantir estanqueidade à água e a indeslocabilidade das telhas Thomaz (1988, p.14) sugere que o telhado deve ser executado levando-se em consideração as declividades indicadas em tabelas oferecidas pelos fabricantes. Segundo Calil Junior (2010, p.26) existe um valor mínimo de inclinação para cada tipo de telha que garante um escoamento adequado e ausente de infiltrações que é tanto maior quanto mais extenso for o plano do telhado, dado que é maior o volume de água a ser coletado. Azeredo (1997, p.158) explica que a lámina d'água não pode ser muito espessa pois, caso contrário, pode haver transbordamento em canais de pequena profundidade e o aparecimento de goteiras. Além de seguir a inclinação recomendada, Melo e Lanna (2002, p.61) indicam que os recobrimentos das telhas devem ser suficientes a ponto de não haver infiltração em decorrência de movimentos ascendentes da água empurrada pelo vento. De acordo com Brasilit (2014, p.26) o recobrimento longitudinal é a sobreposição das telhas no sentido do seu comprimento e o recobrimento lateral é a sobreposição no sentido da sua largura (Figura 19).

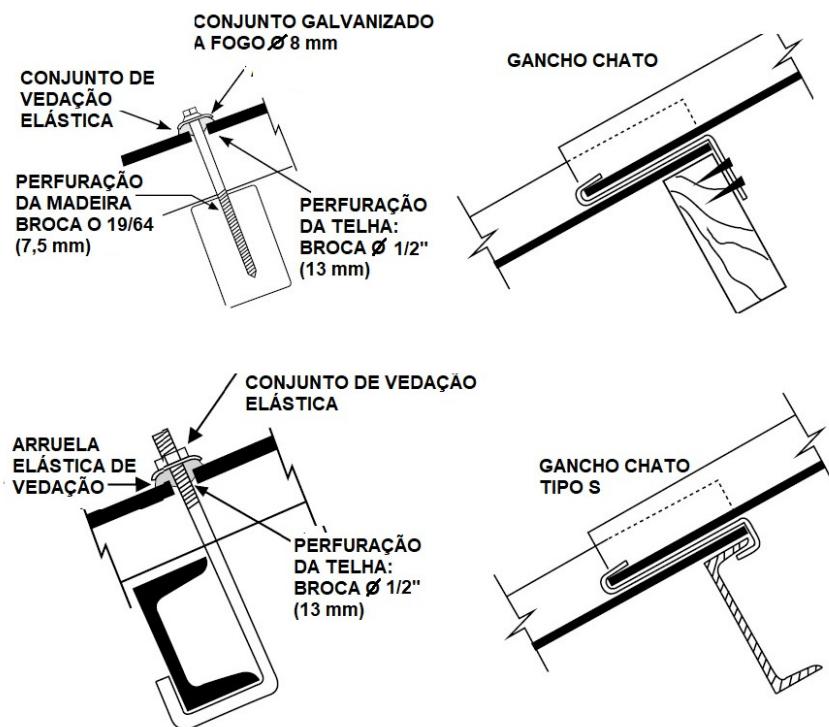
Figura 19 – Recobrimento em telhas de fibrocimento



Fonte: Brasilit,2014 (modificado).

O deslocamento das telhas pode ocorrer devido ao peso próprio ou por motivos de manutenção. Para telhas cerâmicas e de concreto, que são mais pesadas, Calil Júnior (2010, p.26) cita a existência de uma inclinação máxima a partir da qual é necessário amarrar as telhas à estrutura com arames resistentes à corrosão para que não haja perda de estabilidade. Já Thomaz (1988, p.15) salienta que nas telhas cerâmicas de capa e canal deve-se prever, além da amarração dos canais, o emboçamento com argamassa de algumas capas. Esses modelos geralmente são menos suscetíveis às ações ascensionais do vento em função do seu peso, mas no caso de telhas leves o vento pode ocasionar destelhamento. Nesse sentido, Montenegro (1984, p.106) orienta fixar as telhas de fibrocimento à estrutura de madeira por meio de pregos ou parafusos colocados sempre na parte superior de uma onda. A Brasilit (2014) apresenta uma série de elementos de fixação para cada modelo de telha de fibrocimento alguns dos quais são ilustrados na Figura 20.

Figura 20 – Alguns tipos de fixações à estrutura para telhas de fibrocimento.

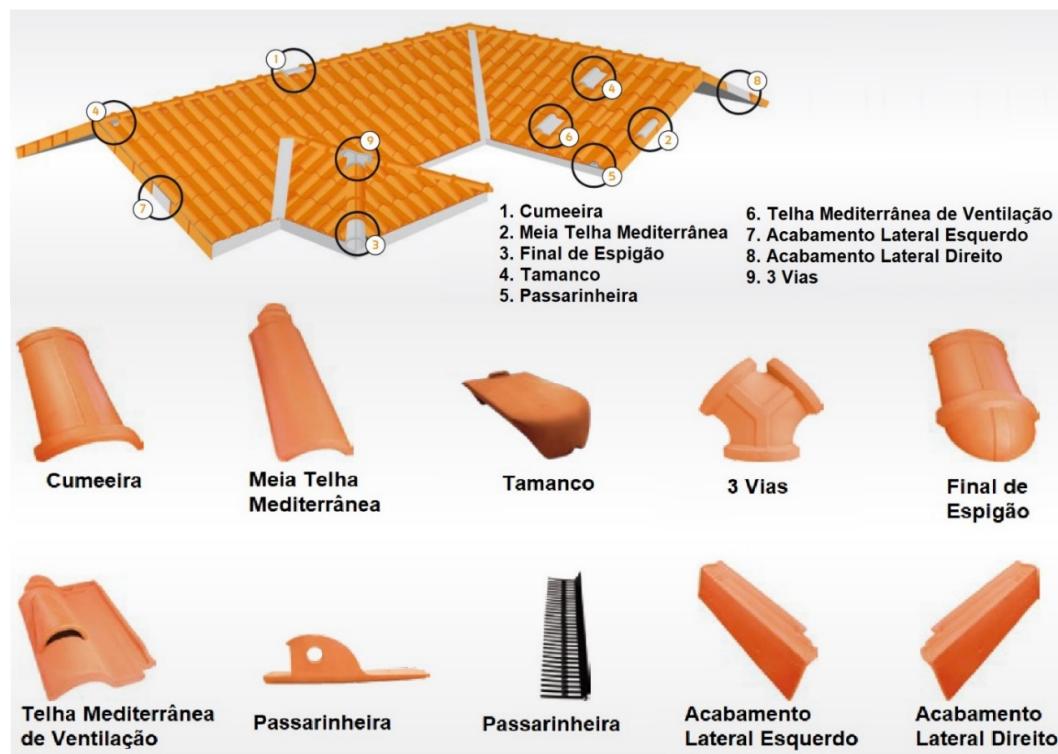


Fonte: Brasilit,2014 (adaptado).

### 3.10 ACABAMENTOS DOS TELHADOS E ELEMENTOS COMPLEMENTARES

Para a execução dos acabamentos dos telhados é dever a observância das peças complementares disponibilizadas pelos fabricantes que possibilitam a montagem de cumeeiras, espigões, rincões, beirais e demais complementos. É importante notar que, assim como as telhas, estas peças variam conforme o fabricante existindo, de maneira geral, um conjunto de complementos especiais para cada modelo em particular. A Figura 21 apresenta as peças especiais para a telha cerâmica tipo mediterrânea da marca *Top Telha*.

Figura 21 – Peças especiais para telhas cerâmicas tipo mediterrânea.



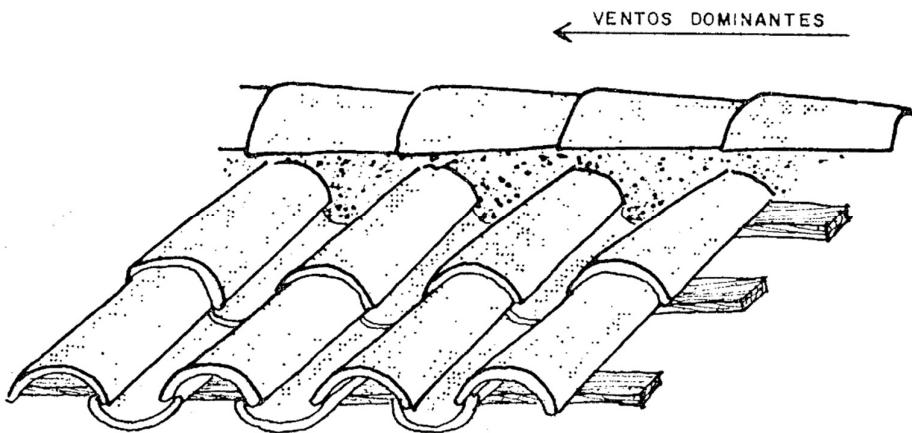
Fonte: Top Telha, 2015 (adaptado).

Como as telhas cerâmicas são as que exigem detalhes relativamente mais complexos as indicações gerais apresentadas a seguir levam em consideração os telhados executados com este tipo de material.

### 3.10.1 Cumeeira

Segundo Azeredo (1997, p.154) a cumeeira é o encontro de duas águas na parte mais elevada do telhado e no sentido horizontal. Thomaz (1988, p.44) recomenda executar as cumeeiras com peças específicas ou com capas das telhas capa e canal emboçadas com argamassa e cuidadosamente encaixadas no sentido contrário aos ventos dominantes devendo-se observar, ainda, um recobrimento longitudinal mínimo de 60mm entre as peças de cumeeira e de 30mm com as telhas contiguas à cumeeira.

Figura 22 – Cumeeira



Fonte: Thomaz, 1988.

### 3.10.2 Espigão

“Espigão é um divisor de duas águas em plano inclinado”. (AZEREDO, 1997, p. 154). De acordo com Thomaz (1988, p.44), este elemento pode ser executado com peças de cumeeira ou com capas das telhas capa e canal emboçadas com argamassa e colocadas do beiral em direção às cumeeiras observando-se, também, um recobrimento longitudinal mínimo de 60mm entre as peças do espigão e de 30mm com as telhas adjacentes.

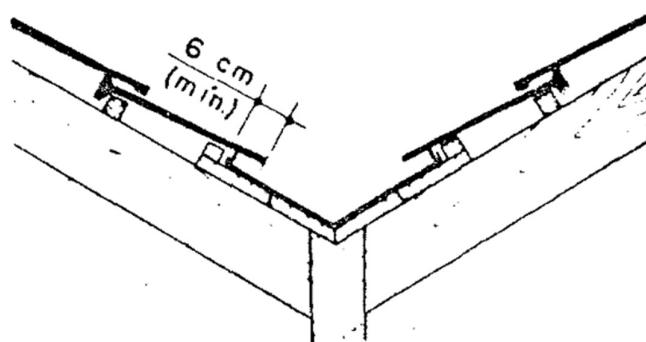
### 3.10.3 Argamassa de emboçamento

Segundo Yazigi (2009, p.488) considera-se adequadas argamassas de traço 1:2:9 ou 1:3:12 (cimento: cal: areia, em volume) com boa capacidade de retenção de água, impermeáveis, insolúveis em água e aderentes ao material cerâmico, ou qualquer outra com propriedades equivalentes desde que não sejam extremamente rígidas, isto é, sem cal.

### 3.10.4 Rincão ou água furtada

De acordo com Melo e Lanna (2002, p.63) o rincão é um coletor de águas formado por uma calha metálica fixada à estrutura de madeira com largura livre de aproximadamente 150mm e bordas viradas para cima de modo a não permitir vazamento por acúmulo de água sendo recomendável, também, que as telhas contíguas o recubram por pelo menos 60mm de cada lado. (Figura 23).

Figura 23 – Execução do rincão

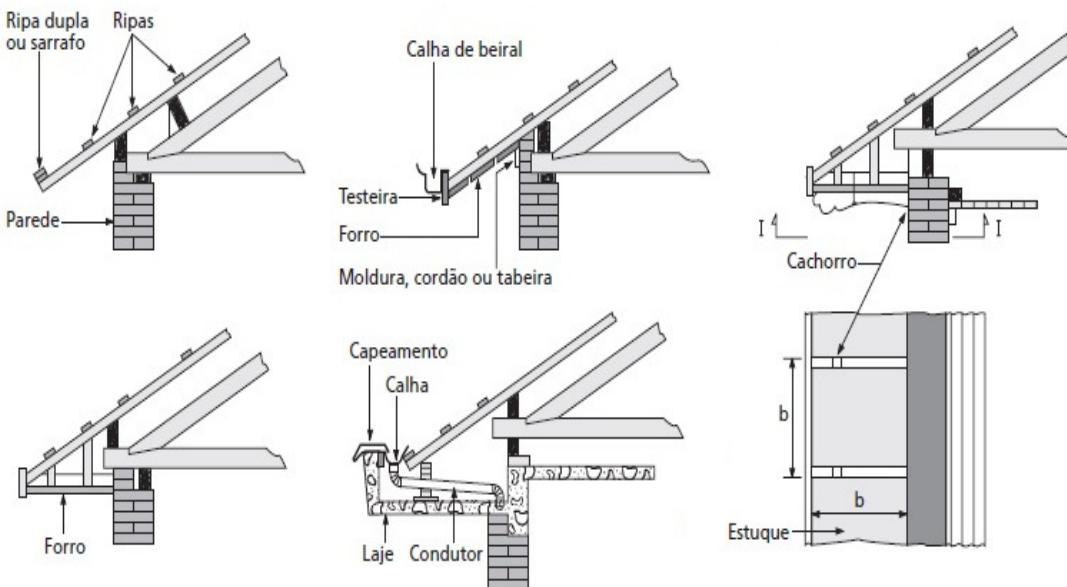


Fonte: Thomaz, 1988.

### 3.10.5 Beiral

"Beiral é a parte do telhado que avança além dos alinhamentos das paredes externas, geralmente tem uma largura variando entre 0,40 a 1,00 m, e o mais comum é 0,60; 0,80 m". (MILITO,2004, p.129). Os valores de beirais geralmente são dados pelos fabricantes para cada tipo de telha. Porém, Calil Júnior (2010, p.31) propõem a utilização de beirais grandes para o clima tropical brasileiro pois proporciona, além de um conforto térmico adequado, a proteção das paredes em regiões com alta frequência de chuvas. No caso de beirais desprotegidos, Cardoso (2000, p.23) recomenda fixar as telhas à estrutura o que não é necessário caso haja platibanda ou forro de beiral. Segundo Calil Júnior (2010, p.31) estes forros trazem, além de vantagem estética, uma proteção contra as ações do vento defletido pelas paredes que exercem esforços ascensionais. Da mesma maneira, Azeredo (1997, p.162) indica que o vento pode também lançar a água de chuva contra a parede ou no próprio forro do beiral o que motiva a instalação de calhas na extremidade. A Figura 24 apresenta os vários arranjos construtivos que podem ser utilizados em beirais.

Figura 24 – Beirais

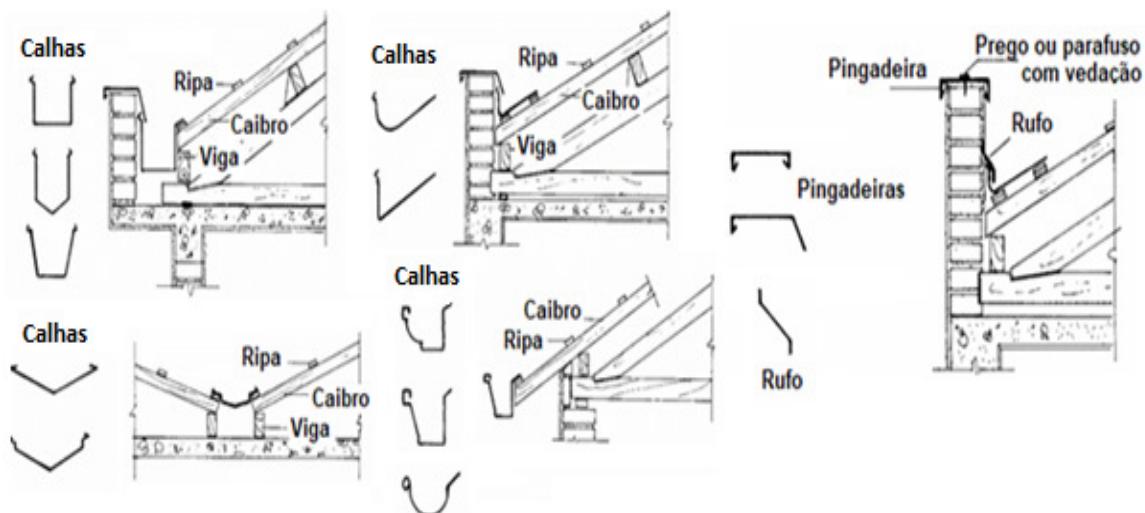


Fonte: Moliterno,2010 (adaptado).

### 3.10.6 Elementos de captação pluvial

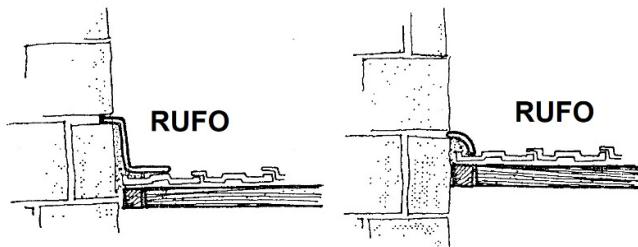
Após a instalação das telhas o telhado não está pronto devendo-se, ainda, proceder a instalação de calhas e condutores que promovem o adequado destino das águas pluviais, e dos rufos e pingadeiras que protegem as paredes da infiltração das águas. (Figura 25). As calhas são colocadas em beirais, rincões e no encontro do telhado com a platibanda e devem estar de acordo com NBR 10844/89 – Instalações Prediais de Águas Pluviais – assim como os demais condutores associados. Em platibandas, Milito (2002, p.130) recomenda sempre colocar, além das calhas, rufos e pingadeiras. Já Thomaz (1988, p.46) indica que todo encontro do telhado com paredes paralelas ou transversais ao comprimento das telhas deve ser executado com rufos metálicos ou componentes cerâmicos que garantam a estanqueidade da cobertura. (Figura 26).

Figura 25 – Calhas, rufos e pingadeiras

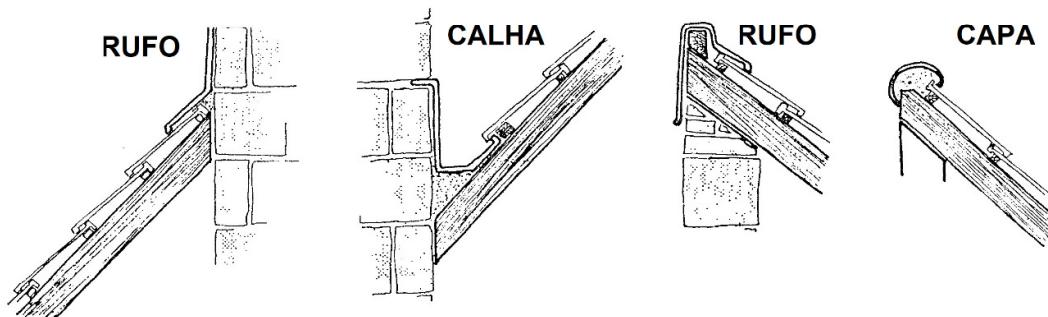


Fonte: Milito,2004 (adaptado).

Figura 26 – Encontro do telhado com paredes



ENCONTRO DO TELHADO COM PAREDES PARALELAS AO COMPRIMENTO DAS TELHAS



ENCONTRO DO TELHADO COM PAREDES TRANSVERSAIS AO COMPRIMENTO DAS TELHAS

Fonte: Thomaz, 1988 (adaptado).

### 3.10.7 Elementos para melhoramento termo-acústico

Quando o sistema de cobertura não for capaz de proporcionar o conforto termo-acústico necessário Calil Júnior (2010, p.22) recomenda que se procure adotar, além de outras telhas com propriedades isolantes melhores, a utilização de subcoberturas ou forros especiais que contenham material isolante em sua composição. Em telhados, os forros são necessários em praticamente todos os casos não só para melhorar o conforto termo-acústico da edificação, mas também por questões estéticas. Os forros, geralmente, são em PVC, madeira ou gesso e podem ser substituídos por uma laje de concreto. Em todos os casos podem haver adições de materiais isolantes da maneira semelhante às telhas duplas mencionadas no item 3.5 deste trabalho. Segundo Souza (2010, p.185) as subcoberturas são, usualmente, compostas por mantas asfálticas com *foil* de alumínio ou, ainda, com materiais feitos

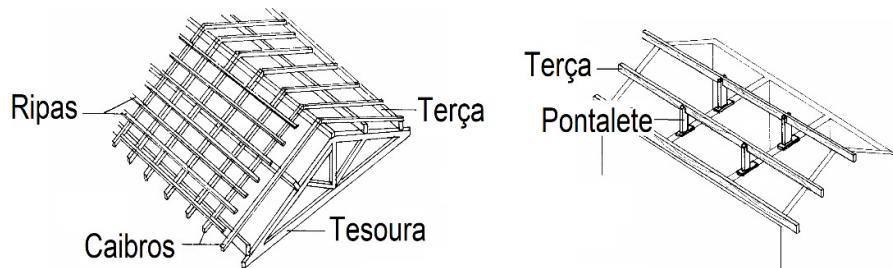
de fibras de polietileno de alta densidade ou espuma à base de polietileno. Calil Júnior (2010,p.22) indica que esses produtos são capazes de interceptar 95% da radiação diminuído consideravelmente a passagem de carga térmica além de evitar infiltrações provenientes de goteiras no telhado e impedir a passagem de umidade, poeira, fuligem e poluição para o interior da edificação.

Seguindo a mesma tendência Melo e Lanna (2002, p.61) recomendam que a colocação de uma telha de ventilação simetricamente em cada caimento de água e a cada 10m<sup>2</sup> de telhado proporciona uma corrente de ar que impede a formação de condensação de água e umidade, neutraliza as variações térmicas diárias e melhora, com isso, o conforto térmico da cobertura. Porém, deve-se tomar cuidado com o modo pelo qual forem feitas quaisquer aberturas nos telhados para que seja impossibilitada a entrada de pequenos animais ou insetos. Essa cautela deve ser seguida em toda a execução do telhado.

#### 4 ESTRUTURA DOS TELHADOS

“A estrutura dos telhados tem como funções principais a sustentação e fixação das telhas e a transmissão dos esforços solicitantes para os elementos estruturais, garantindo assim a estabilidade do telhado”. (CARDOSO, 2000, p.14). Segundo Calil Júnior (2010, p.28) os vários sistemas que podem ser adotados são escolhidos de acordo com as características das telhas e se dividem usualmente em trama, estrutura principal e contraventamento. “A estrutura principal poderá ser constituída por tesouras ou por pontaletes e vigas principais, sendo a trama constituída pelas ripas, pelos caibros e pelas terças”. (YAZIGI,2009, p.487). (Figura 27).

Figura 27 – Elementos estruturais dos telhados



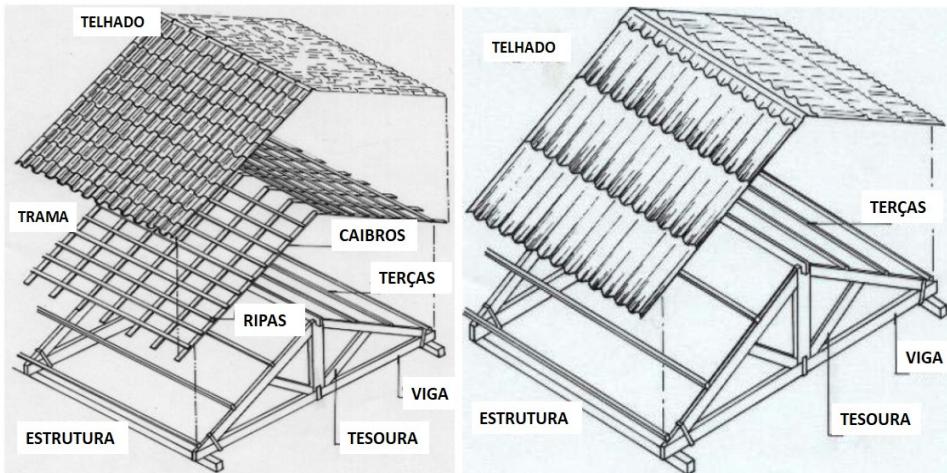
Fonte: Milito,2004 (Modificado).

Moliterno (2010, p.1) indica que as estruturas podem ser executadas total ou parcialmente em madeira, a qual chama de madeiramento, como também em aço, alumínio ou concreto armado e, no caso de perfis especiais de telhas autoportantes, dispensar estruturas de apoio. Entretanto, como madeira tem sido o material que impera em estruturas de telhados de edificações habitacionais, destaca-se as estruturas fabricadas com esse material. Apesar disso, estas mesmas estruturas podem ser executadas com outro material, como o aço, que aparece como alternativa mais imediata.

#### 4.1 ESTRUTURA SECUNDÁRIA DE APOIO: TRAMA

A trama é a parte estrutural que serve para apoio e fixação das telhas. Segundo Calil Júnior (2010, p.28) ela é composta basicamente por ripas, caibros e terças e pode ser dispensável em alguns casos. É importante salientar que a composição da trama varia conforme o tipo de telha. Para telhas de pequenas dimensões, como as cerâmicas e as de concreto, Cardoso (2000, p.14) orienta o uso de ripas, caibros e terças, mas para os modelos maiores, como as de fibrocimento, metálicas ou plásticas, é possível eliminar caibros e ripas. (Figura 28).

Figura 28 - Trama



Fonte: Rodrigues, 2006 (modificado).

##### 4.1.1 Ripas

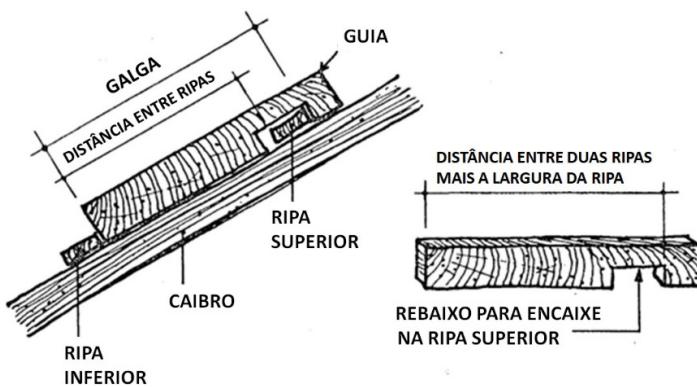
São peças solicitadas à flexão obliqua destinadas a fixação e apoio de telhas de pequenas dimensões. Em madeira, Longsdon (2002, p.9) sugere que seções de 1,5 x 5,0cm ou 1,0 x 5,0cm geralmente suportam bem o carregamento do telhado, porém, não suportam o peso dos operários o que só é conseguido utilizando-se ripões de 2,5 x 5,0cm no lugar das ripas. “As ripas são posicionadas, usualmente, com a

maior dimensão apoiada no caibro, isto é, ‘deitada’. Assim oferecerá melhor apoio à telha e maior superfície de atrito, ajudando a evitar deslocamentos pelo vento”. (GONZAGA, 2006, p.92).

Segundo Thomaz (1988, p.30) o espaçamento das ripas, denominado galga, depende das dimensões da telha utilizada e do recobrimento longitudinal, fatores que devem ser utilizados como parâmetros para construção de um guia de instalação do ripamento. (Figura 29). O valor de galga geralmente é indicado pelos fabricantes de telhas, mas na ausência desta informação ou para conferência da mesma pode-se aderir a seguinte recomendação:

A distância entre duas ripas, somada da largura de uma ripa, é igual à galga do ripamento. Para a determinação deste valor, pode-se encaixar 12 telhas entre si, sobre uma superfície plana. Em seguida, deve-se afastar as telhas o máximo possível e medir o comprimento da superfície coberta. Por último deve-se juntar estas telhas, o máximo possível, e novamente medir o comprimento da superfície coberta. A galga será dada pela média destas duas medidas, divididas pelo número de telhas usadas no procedimento. (CALIL JÚNIOR, 2010, p.28).

Figura 29 – Galga

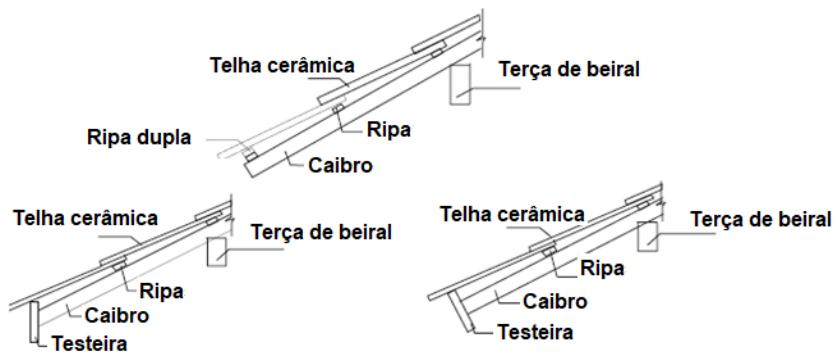


Fonte: Thomaz, 1988.

Próximos aos beirais, Yazigi (2009, p.491) recomenda a utilização de ripas sobrepostas ou testeiras (Figura 30) de modo a compensar a telha de apoio inexistente e garantir a superfície plana do telhado, além da utilização de ripas duplas

junto às cumeeiras pelo mesmo motivo. As testeiras ou tabeiras, segundo Calil Júnior (2010, p.30-31), são tábuas ou meia tábuas pregadas nas extremidades dos beirais que evitam a sua ondulação devido a flechas diferentes dos caibros e atuam como proteção à penetração das águas pluviais nesta região.

Figura 30 - Ripas duplas e testeiras



Fonte: Melo,2013 (adaptado).

#### 4.1.2 Caibros

Calil Júnior (2010, p.30) descreve os caibros como sendo peças de seção aproximadamente quadrada que sustentam as ripas e se apoiam sobre as terças os quais são usualmente solicitados a flexocompressão e, em alguns intervalos como, por exemplo, em beirais, à flexotração. Milito (2004, p.110) sugere seções de madeira de 5,0 x 6,0cm quando o espaçamento das terças for até 2,0m, e seções de 5,0 x 7,0cm se este espaçamento exceder 2,0 m, porém, não ultrapassar 2,5 m. Já Calil Júnior (2010, p.30) observa que, caso se pretenda construir grandes beirais, deve-se aumentar as seções para vigas de 6,0 x 12,0cm ou 6,0 x 16,0cm. O espaçamento dos caibros, segundo Longsdon (2002, p.10) está relacionado com o tipo de telha utilizado e a resistência das ripas e varia entre 40 e 60cm sendo mais comum utilizar 50cm sem qualquer cálculo.

Para evitar o corte de telhas na região da cumeeira, Thomaz (1988, p.44) recomenda deixar os caibros com pequeno excesso de comprimento de modo que

permita ajustar um número inteiro de fiadas entre o beiral e a cumeeira cortando-se, ao invés disso, a extremidade dos caibros na linha do beiral.

#### 4.1.3 Terças

De acordo com Calil Junior (2010, p.31) as terças são peças de madeira solicitadas à flexão oblíqua que servem de apoio aos caibros, quando existirem, ou de apoio direto para as telhas. Cardoso (2000, p.15) indica que elas são colocadas na direção perpendicular à estrutura de apoio (Figura 31) na qual é usualmente:

- pontaletes;
- tesouras de madeira;
- oitões ou paredes intermediárias.

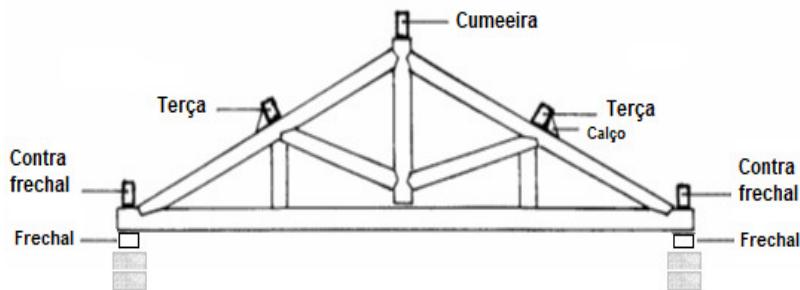
Figura 31 - Apoio das terças



Fonte: Cardoso, 2000 (adaptado).

Deve-se salientar que algumas terças recebem denominações especiais conforme a posição em que ocupam no telhado. Milito (2004, p.109) denomina as terças colocadas na parte mais alta do telhado de cumeeiras e as fixadas na parte mais baixa de contra frechal. (Figura 32).

Figura 32 - Cumeeira e contra frechal



Fonte: Milito, 2004 (modificado).

Em madeira Meirelles e Pala (2010, p.39) sugerem seções de 6,0 x 12cm quando o vão entre apoios, geralmente tesouras, não ultrapassar 2,5m e seções de 6,0 x 16cm quando o espaçamento estiver entre 2,5 e 4,0m. Os autores não aconselham vãos maiores que 4,0m pois necessitaria de terças com seções especiais tornando esta solução cara e antieconômica. No mesmo sentido, Calil Júnior (2010, p.32) recomenda utilizar terças de pequenos vãos que, apesar de aumentarem o número de tesouras, diminuem o carregamento individual sobre elas sendo esta a solução mais segura e confiável a ser adotada sempre que possível.

“O espaçamento das terças é igual ao vão dos caibros ou igual ao tamanho das telhas, quando estas dispensam ripas e caibros”. (CALIL JÚNIOR,2010, p.31). Em telhas de pequenas dimensões, como as cerâmicas e as de concreto, que estão sujeitas a maiores carregamentos, terças muito espaçadas podem significar grandes esforços nos caibros e a necessidade de utilização de seções não usuais. Sendo assim, é mais conveniente que os espaçamentos sejam adotados de forma que gerem esforços compatíveis com a resistência dos caibros. Para telhas cerâmicas, a Tabela 15 fornece a modulação do vão das terças que varia em torno de 1,00 a 2,00m conforme a seção utilizada, o vão entre tesouras e o modelo de telha. Já em telhas maiores, como as metálicas e as de fibrocimento, cuja trama é composta somente pelas terças o espaçamento geralmente é fornecido pelos fabricantes e é dado de acordo com a espessura das telhas e sua resistência. Para telhas de fibrocimento Brasilit (2010, p.4) sugere, por exemplo, um distanciamento máximo de 1,69m entre

terças quando a espessura da telha for 5 ou 6mm e um espaçamento máximo de 1,99m para telhas com 8mm de espessura.

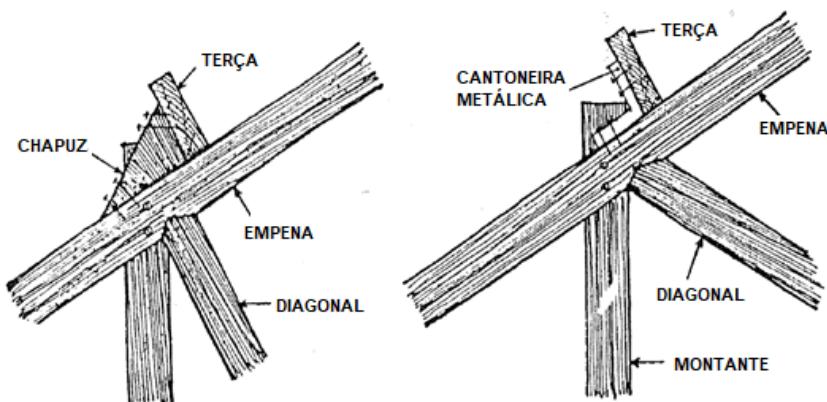
Tabela 15 - Modulação das terças em função do tipo de telha e distância entre tesouras

Distância entre terças (m)	Francesa, romana, portuguesa ou plan	Colonial ou paulista
1,00 a 1,20	2,85	3,5
1,21 a 1,40	2,7	3,3
1,41 a 1,60	2,6	3,15
1,61 a 1,80	2,45	3,05
1,81 a 2,00	2,4	2,9
2,01 a 2,20	2,3	2,8
Seção transversal da terça (cm)	6 x 12	6 x 16
	6 x 12	6 x 16

Fonte: Meirelles e Pala, 2010.

Moliterno (2010, p.100) destaca que um fator de grande importância está no modo de colocação das terças nos nós das tesouras para que todas as barras trabalhem somente a esforços normais. De acordo com Thomaz (1988, p.26) as terças devem ser fixadas por meio de chapuzes de madeira, cantoneiras metálicas, tarugos de madeira, parafusos passantes ou quaisquer outros dispositivos similares. (Figura 33).

Figura 33 - Fixação das terças com chapuzes e cantoneiras metálicas



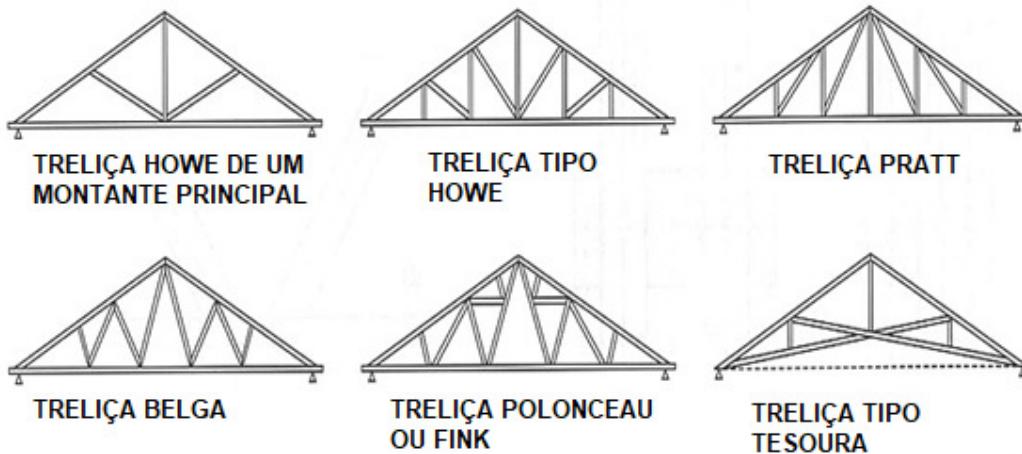
Fonte: Thomaz, 1988 (adaptado).

#### 4.2 ESTRUTURA PRINCIPAL: TESOURAS DE MADEIRA

As tesouras são estruturas treliçadas responsáveis por receber a carga da trama e transmiti-la para apoios no topo das paredes. De acordo com Calil Júnior (2010, p.32) a escolha desse sistema estrutural é mais comum em madeira do que em outro material o que se deve, possivelmente, a longa tradição do uso da madeira nas tesouras, a facilidade de montagem e de fabricação das peças e ao melhor aproveitamento da madeira no sistema treliçado.

“De maneira geral qualquer tipo de geometria do sistema treliçado é possível desde que uma configuração estável seja adotada”. (SILVA,2010, p.22). Porém, são as treliças em formato triangular (Figura 34) as mais utilizadas em telhados de edificações habitacionais.

Figura 34 – Treliças com contorno triangular



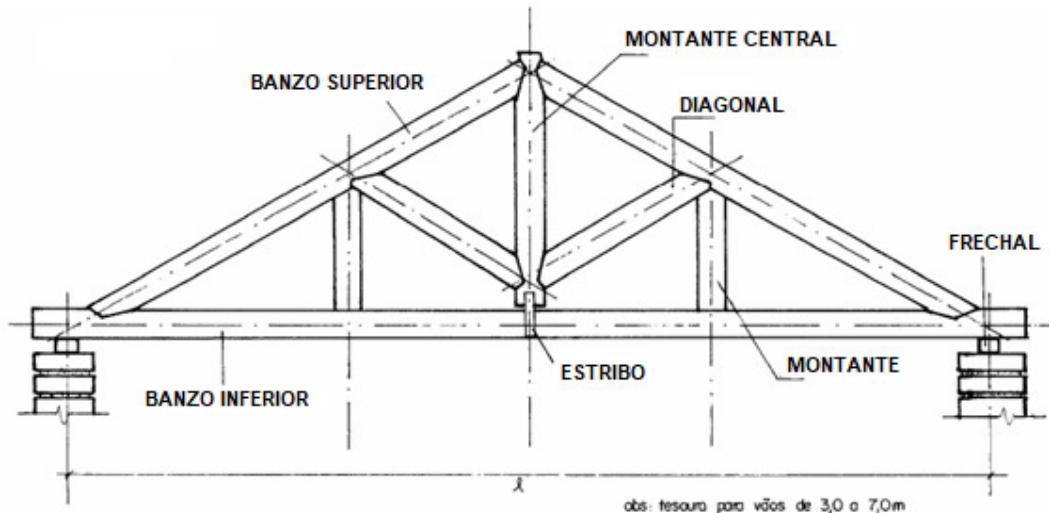
Fonte: Pfeil,2003 (adaptado).

Entre as treliças de contorno triangular a treliça tipo *Howe* “[...] é a mais tradicional para o uso em estruturas de madeira [...]” e também “[...] a mais empregada no Brasil para estruturas de madeira de telhado residenciais”. (PFEIL, 2003, p.16; SILVA,2010, p.7). Para esta treliça identifica-se, a partir das ideias de Thomaz (1988,

p.2), uma série de denominações para seus componentes (Figura 35) as quais estão explicitadas a seguir com os nomes menos usuais encontrados na bibliografia técnica entre parênteses:

- banzo superior (asna, perna ou empena);
- banzo inferior (linha, tirante ou tensor);
- montante (susponsório);
- montante central (pendural);
- diagonal (escora).

Figura 35 - Seção típica da estrutura de um telhado



Fonte: Milito,2004 (adaptado).

Moliterno (2010, p.101) salienta que, embora a treliça *Howe* não seja a mais econômica, é a que permite realizar ligações de maneira mais natural, que é a ligação por entalhe ou sambladura. Neste tipo de ligação as peças são cortadas em carpintaria e posteriormente encaixadas, podendo ou não ser adicionado algum elemento de fixação. Para cargas de gravidade a treliça *Howe* tem os banzos inferiores e montantes tracionados, e os banzos superiores e diagonais comprimidos. Porém, “nas treliças Pratt e Belga, os esforços nos montantes e diagonais se invertem em relação

aos da treliça Howe". (PFEIL,2003, p.16). Isso pode significar uma vantagem em termos de economia uma vez que se diminui o efeito da flambagem das diagonais comprimidas mais longas da treliça Howe passando a compressão para os montantes mais curtos.

De acordo com Montenegro (1984, p.67) as tesouras são estruturas capazes de transmitir apenas cargas verticais aos apoios nas paredes o que justifica seu uso em coberturas já que a alvenaria não resiste muito bem às ações horizontais e suporta melhor carregamentos verticais. Porém, deve-se salientar que estas ações verticais devem estar distribuídas nos apoios pois, da mesma forma, a alvenaria não apresenta boa resistência às cargas concentradas. Sendo assim, as tesouras “[..] não devem ser apoiadas diretamente sobre a alvenaria, mas sim sobre coxins, cintas de amarração ou frechais". (THOMAZ,1988, p.22). Os frechais, segundo Moliterno (2010, p.4), são vigas de madeira colocadas no perímetro superior das paredes de alvenaria para a amarração e distribuição das cargas concentradas das tesouras. Não devem ser confundidos com os contrafrechais que são as terças da parte mais baixa do telhado.

Pádua (2017, p.4) apresenta as seções mais usuais para as barras da treliça levando-se em consideração as peças de madeira disponíveis no mercado que possam dar estabilidade e segurança ao telhado. Os valores da Tabela 16 variam conforme o vão a ser vencido pela tesoura. Em treliças de uma águia, Calil Júnior (2010, p.34) indica um vão até 9,0m a fim de evitar altura vertical muito grande e, em treliças de duas águas e industriais, os vãos limites são 12,0 e 15,0m, respectivamente, pois, acima disso, haverá dificuldade no transporte.

Tabela 16 - Seções transversais das barras da tesoura

Vão (m)	Linha (cm)	Pendural (cm)	Perna (cm)	Escora (cm)
5 a 6	6 x 12	6 x 10	6 x 15	6 x 8
7	6 x 15	6 x 15	6 x 18	6 x 8
8	6 x 15	6 x 15	6 x 18	6 x 12
9 a 10	6 x 18	6 x 18	6 x 20	6 x 12
12	6 x 20	6 x 20	6 x 20	6 x 12

Fonte: Pádua,2017.

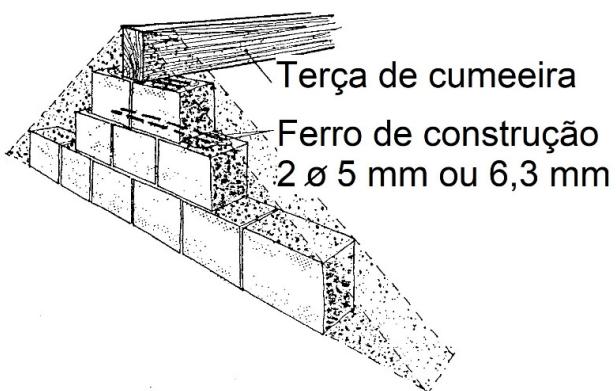
#### 4.3 ALTERNATIVAS ÀS TESOURAS DE MADEIRA

Milito (2004, p.115) indica que o uso das tesouras de madeira nem sempre será necessário pois, em determinadas situações, as paredes internas podem ser usadas como apoio intermediário para as terças ou mesmo as lajes de cobertura podem oferecer condições de apoio.

##### 4.3.1 Paredes de oitão

Os oitões são paredes de alvenaria em formato triangular, de modo a fornecer o cimento das águas, que podem ser utilizados em telhados de edificações habitacionais. A sua aplicação se dá em paredes externas ou internas como substituição a uma tesoura. Para os vãos e carregamentos comuns encontrados em residências tem-se aplicado satisfatoriamente bem esta solução sem recorrer a verificações técnicas. No entanto, deve-se atentar para o fato de que as terças fixadas nos oitões geram componentes horizontais de esforços e ações concentradas as quais a alvenaria não resiste muito bem. Para evitar esse efeito, pode-se utilizar coxins de concreto ou cintas de amarração que promovam a distribuição da carga ou, conforme recomenda Thomaz (1988, p.21), adotar reforços nas regiões de apoio (Figura 36).

Figura 36 - Parede de oitão



Fonte: Thomaz, 1988.

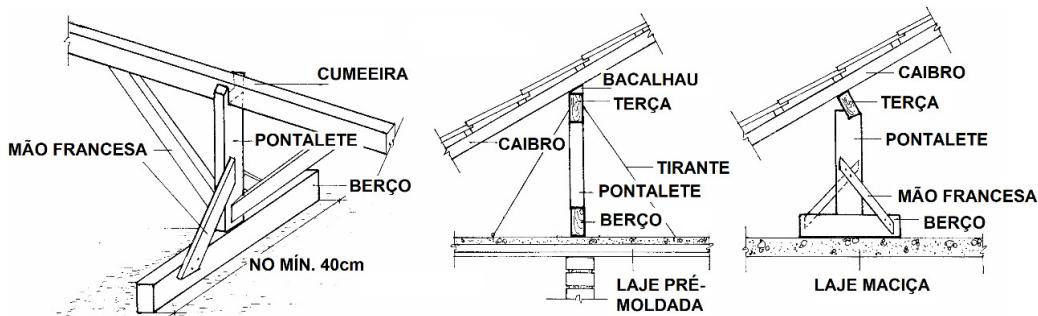
#### 4.3.2 Estruturas Pontaleteadas

"Nos edifícios e residências econômicas, para coberturas com chapas onduladas de cimento amianto, ou quando a cobertura for geometricamente irregular, têm-se utilizado as chamadas estruturas pontaleteadas". (MOLITERNO,2010, p.105). Segundo Gonzaga (2006, p.93) o pontalete substitui a clássica tesoura de madeira em coberturas com lajes de forro gerando grande economia no volume de madeira. Para a boa execução das estruturas pontaleteadas, Milito (2004, p.115) sugere que devem ser seguidas as seguintes condições:

- a distância entre pontaletes e entre as terças deve ser a mesma usada para o caso da estrutura principal ser uma tesoura;
- o pontalete trabalha a compressão e deve ser apoiado em placas de apoio, denominadas berços, de no mínimo 40cm de comprimento, para distribuir melhor os esforços;
- a peça deve ser contraventada com mãos francesas ou tirantes metálicos chumbados nas lajes nas duas direções do pontalete.

Moliterno (2010, p.105) alerta que as lajes de forro que recebem ações descarregadas das terças em pontaletes de altura variável devem ser dimensionadas adequadamente. Segundo Milito (2004, p.15) nas lajes maciças, onde tudo é calculado, pode-se apoiar os pontaletes em qualquer ponto, porém, em lajes pré-moldadas convém acomodá-los na direção das paredes ou, no caso de apoio fora, dispor de vigas de concreto ou de madeira. (Figura 37).

Figura 37 - Pontaletes

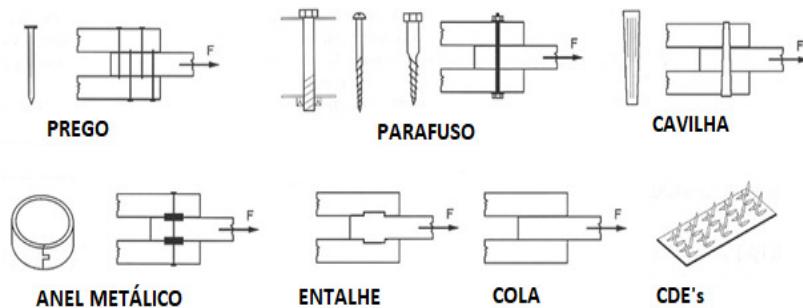


Fonte: Milito,2004 (modificada).

#### 4.4 LIGAÇÕES NAS PEÇAS DE MADEIRA

Segundo Pfeil (2003, p.52) as peças de madeira serrada por terem seus comprimentos limitados necessitam, muitas vezes, serem conectadas entre si para possibilitar a confecção das estruturas o que geralmente é feito com: pregos, parafusos, grampos, conectores metálicos, colagem, cavilhas ou entalhes. (Figura 38). Em tesouras comuns utilizadas em telhados de edificações habitacionais o tipo de ligação utilizada, muitas vezes, é dado de acordo com o esforço presente no elemento estrutural. Silva (2010, p.23) indica o uso de pregos, parafusos e placas metálicas em ligações tracionadas e ligação por entalhes ou sambladuras para peças sujeitas a compressão.

Figura 38 - Tipos de ligações e conectores em peças de madeira serrada



Fonte: Pfeil,2003 (adaptado).

A NBR 7190:1997 apresenta a metodologia para o dimensionamento das ligações pregadas e parafusadas as quais obdecem a dois critérios de segurança, a falha por embutimento da madeira e a falha por flexão do pino, além disso, estabelece valores mínimos para espessuras das peças, penetração e espaçamento dos pinos, e os diâmetros de pré-furação. A referida norma ainda requisita valores limites para o diâmetro e a resistência dos pregos e parafusos (Tabela 17). De acordo com Thomaz (1988, p.6) os acessórios metálicos tais como pregos, parafusos e chapas de aço devem ser protegidos à corrosão não se permitindo o emprego daqueles que apresentem qualquer sinal de ferrugem.

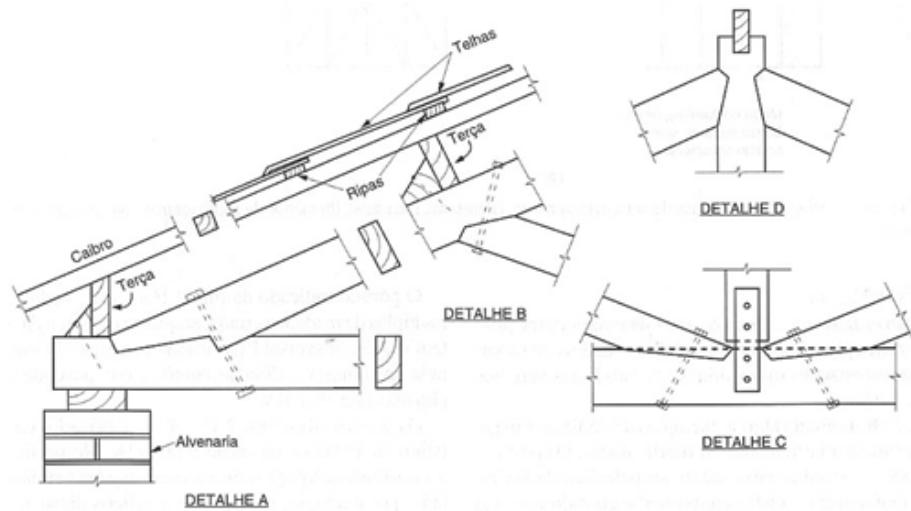
Tabela 17 – Diâmetros e resistências mínimos de ligações pregadas e parafusadas

	Pregos	Parafusos
Diâmetro mínimo do pino	3 mm	10 mm
Resistência ao escoamento mínima	600 MPa	240 MPa

Fonte: ABNT,1997 (adaptado).

Os entalhes utilizados em ligações sujeitas apenas ao esforço de compressão são, de maneira geral, confeccionados por profissionais de carpintaria. No entanto, Szücz (2015) e Pfeil (2003) apresentam critérios de cálculo para este tipo de ligação. As sambladuras, segundo Szücz (2015, p.154), devem ter os deslocamentos laterais e os esforços de montagem restringidos por pinos, estribos ou talas metálicas que são desconsiderados na ligação. A Figura 39 ilustra como são feitos alguns detalhes nas sambladuras utilizadas em tesouras.

Figura 39 - Ligações por entalhe ou sambladura



Fonte: Pfeil,2003.

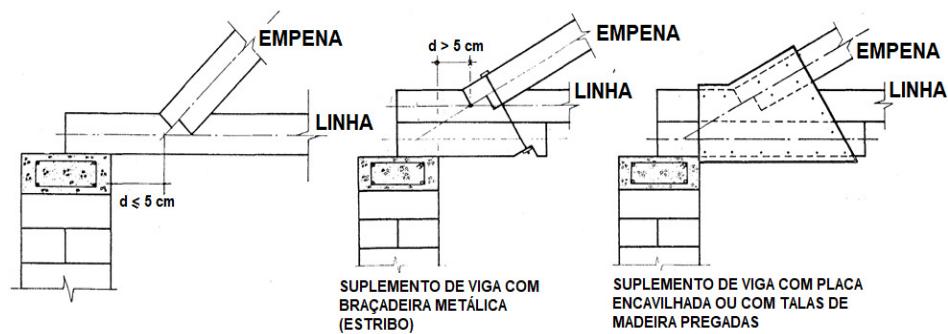
Para as outras ligações que podem ser utilizadas nas estruturas dos telhados a NBR 7190:1997 estabelece que: as ligações com cola podem ser usadas apenas em juntas longitudinais de madeira laminada colada (MLC) desde que a resistência

da junta seja no mínimo igual a resistência ao cisalhamento longitudinal da madeira; as ligações com chapas com dentes estampados (CDE's) podem ser utilizadas se a eficiência da cravação e a resistência ao corte for garantida pelo fabricante; podem ser utilizados elementos de ligação intermediários feitos com aço desde que a segurança seja atestada pela NBR 8800:2008.

#### 4.4.1 Disposições construtivas

Ao fazer a montagem das tesouras alguns cuidados devem ser tomados. Thomaz (1988, p.22) cita o fato de que “os eixos geométricos das barras devem pertencer ao mesmo plano e as intersecções entre os eixos de três barras devem ocorrer num único ponto [..]”. Já Azeredo (1997, p.145) indica que a ligação entre os banzos superior e inferior deve ser feita de modo a prevenir os efeitos de eventuais esforços de flexão na linha da tesoura e de resultantes horizontais no sentido jogar a parede para fora. Segundo Thomaz (1988, p.22) isso pode ser evitado desde que o ponto de intersecção dos eixos dos banzos esteja a menos de 5cm da parede ou, caso esse limite seja superado, com a suplementação da região de apoio (Figura 40). Para impedir que a linha trabalhe a flexão, Azeredo (1997, p.147) recomenda, ainda, evitar a transmissão de esforços tanto pelo pendural quanto pelas escoras deixando um espaço de 2,0cm entre pendural e linha bem como nas braçadeiras metálicas ou talas de madeira que mantém as peças no mesmo plano.

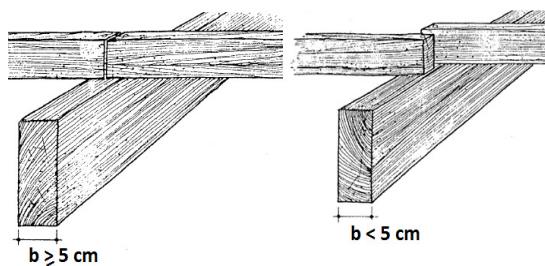
Figura 40 – Detalhe da ligação entre linha e empêna



Fonte: Thomaz, 1988 (adaptado).

As emendas nos elementos estruturais de madeira também devem ser feitas de maneiras específicas. Thomaz (1988, p.29-32) sugere emendas de topo para as ripas e emendas de topo ou transpasse para os caibros (Figura 41) sendo que, em todos os casos, o prego deve penetrar a peça pelo menos metade do seu comprimento.

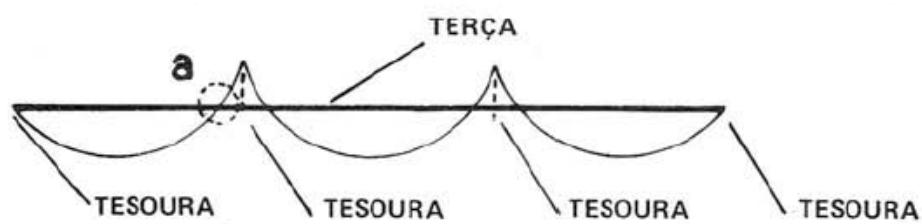
Figura 41 – Emendas de topo e transpasse nos caibros



Fonte: Thomaz, 1988 (adaptado)

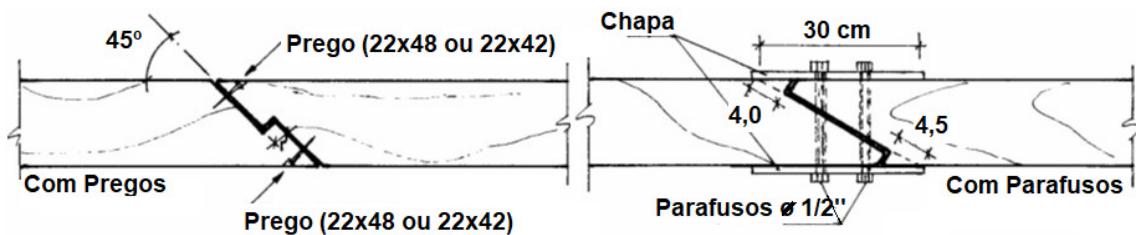
Azeredo (1997, p.150) não recomenda emendar as terças em cima da perna da tesoura o que deve ser feito na região de momento fletor nulo que ocorre a aproximadamente 1/4 do vão (Figura 42) com objetivo de tirar a ondulação do plano de água. Essas emendas devem ser feitas “[..] com chanfros a 45º para o uso de pregos ou parafusos” ou “[..] com talas (ou cobrejuntas) de madeira, posicionadas nas duas faces laterais da terça”. (MILITO,2004, p.115; YAZIGI,2009, p.491). A Figura 43 ilustra os detalhes da ligação das terças de madeira.

Figura 42 - Posição da emenda na terça



Fonte: Azeredo,1997.

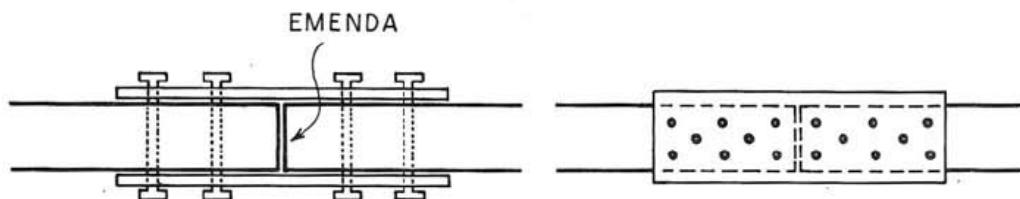
Figura 43 - Detalhe da emenda das terças com pregos e chapas parafusadas



Fonte: Milito,2004 (modificado).

“Quanto à linha, por ser a maior peça que compõe a treliça [..], necessita muitas vezes ser emendada e a maneira mais simples e econômica de fazê-la é a de topo reforçado com lâmina de ferro ou com talas de madeira pregadas lateralmente.” (AZEREDO,1997, p.147). (Figura 44).

Figura 44 - Emendas nos banzos das tesouras



Fonte: Azeredo,1997.

#### 4.5 AÇÃO DO VENTO E CONTRAVENTAMENTOS

As ações devidas ao vento são determinadas de acordo com a NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações - e produzem efeitos de sobrepressão e sucção em telhados. A sobrepressão somada às ações permanentes é responsável pelo aumento dos esforços nas tesouras, mas, a ação ascensional (sucção) pode aliviá-los ou, dependendo da sua magnitude, até invertê-los. O efeito da inversão,

entretanto, é mais comum em coberturas com telhas leves fixadas à estrutura quando a ação ascensional superar o peso próprio do telhado. De acordo com Calil Júnior (2010, p.35) as consequências dessas inversões requerem: ligações capazes de absorver esforços de tração e compressão não sendo possível utilizar sambladuras ou ligações semelhantes; apoios laterais nos banzos inferiores comprimidos sob ação de ventos fortes para diminuir os comprimentos de flambagem; preparação dos apoios da tesoura para a inversão do sentido das reações.

Longsdon (2002, p.17) indica que a ação devida ao vento é transmitida às estruturas principais através de direções não contidas no seu plano tornando-se necessário o uso de elementos auxiliares os quais denomina contraventamentos. Segundo o autor as treliças planas, rígidas no seu plano, são muito flexíveis em planos transversais podendo, uma ação oblíqua, ocasionar grandes forças de flexão lateral não previstas no dimensionamento.

Apesar de não haver regra para definir os contraventamentos do telhado tornar-se conveniente a sua utilização em peças longas com objetivo de diminuir os comprimentos de flambagem. Para isso, a NBR 7190:1997 indica que o comprimento das peças não deve exceder 40 vezes a dimensão transversal correspondente se estiver submetida a compressão ou exceder 50 vezes essa grandeza se for tracionada. Na maioria das vezes as barras dos banzos superiores são estabilizadas pelas terças necessitando apenas contraventantar as longas barras do banzo inferior. “Nas estruturas de porte pequeno isto é feito pela adição de mãos-francesas entre a cumeeira e os pendurais centrais. Para vãos maiores essa providência apenas não é suficiente, exigindo que mais pontos sejam contraventados.” (CALIL JÚNIOR,2010, p.35). Nesse sentido, Longsdon (2002) faz sugestões para o contraventamento de telhados convencionais de duas águas (Tabelas 18 e 19) e salienta a autossuficiência dos extremos do telhado 4 águas. A Figura 45 apresenta os contraventamentos indicados.

Tabela 18 – Contraventamentos em um telhado convencional de madeira em duas águas com paredes de oitão.

(continua)

Vâo do telhado para:		Contraventamento indicado
Telhas cerâmicas	Telhas de fibrocimento	

(continuação)

Até 8,0m	Até 10,0m	Apenas uma boa ligação entre as tesouras e as terças.
De 8,0 a 12,0m	De 12,0 a 15,0m	Um contraventamento vertical no centro.
De 12,0 a 20,0m	De 15,0 a 30,0m	Um contraventamento vertical, no centro, e dois laterais
Acima de 20,0m	Acima de 30,0m	Um contraventamento vertical a cada 6,0 m (ou 8,0 m) e contraventamentos no plano da trama.

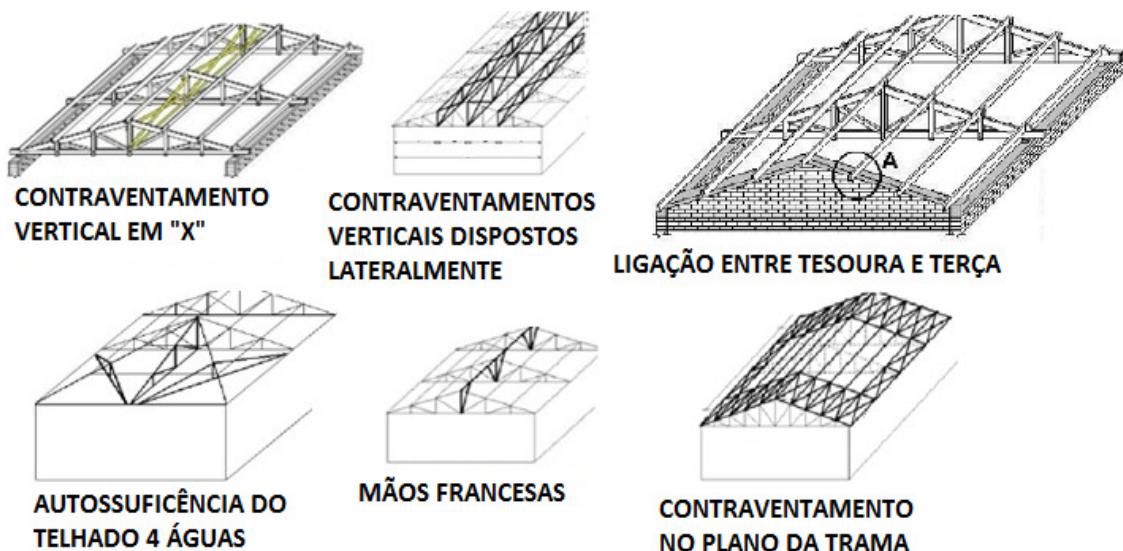
Fonte: Longsdon,2002.

Tabela 19 – Contraventamentos em um telhado convencional de madeira em duas águas sem paredes de oitão.

Vão do telhado para:		Contraventamento indicado
Telhas cerâmicas	Telhas de fibrocimento	
Até 8,0m	Até 10,0m	Um contraventamento vertical no centro
De 8,00 a 12,0m	De 12,00 a 15,0m	Um contraventamento vertical, no centro e contraventamentos no plano da trama.
Acima de 12,0m	Acima de 15,0m	Um contraventamento vertical a cada 6,0m (ou 8,0m, se telhas de fibrocimento), no máximo, e contraventamentos no plano da trama.

Fonte: Longsdon,2002.

Figura 45 – Contraventamentos

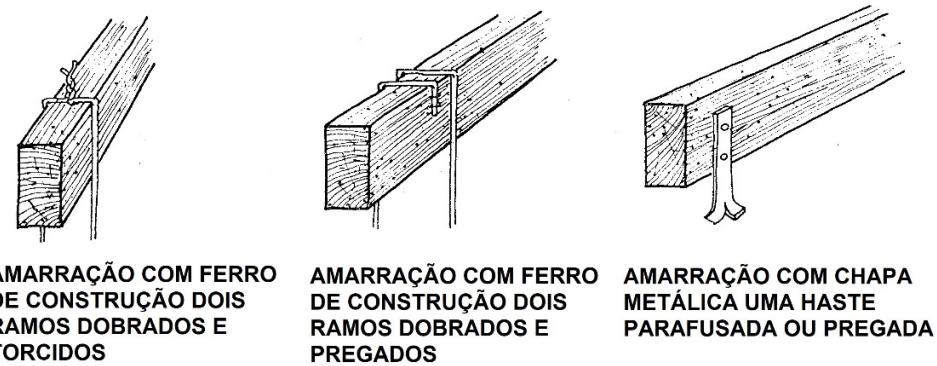


Fonte: Longsdon,2002 (adaptado).

#### 4.6 ANCORAÇÃO DA ESTRUTURA

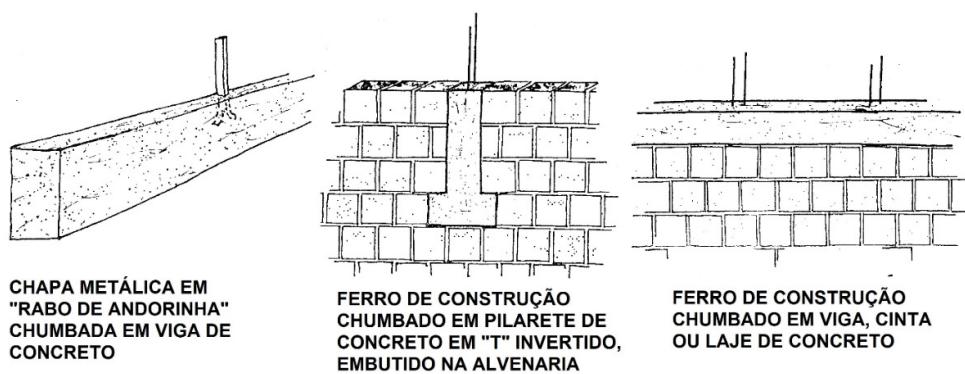
Thomaz (1988, p.37) orienta, ainda, que as tesouras, pontaletes e as vigas principais devem ser ancoradas ao corpo da edificação onde podem ser usados vários tipos de ancoragens sendo as mais comuns as apresentadas nas figuras 46 e 47.

Figura 46 – Amarração do componente de ancoragem à viga principal ou à linha da tesoura



Fonte: Thomaz, 1988 (adaptado).

Figura 47 – Fixação do componente de ancoragem ao corpo da edificação



Fonte: Thomaz, 1988 (adaptado).

## 5 MADEIRA UTILIZADA NAS ESTRUTURAS

A madeira é o material que tradicionalmente vem sendo utilizado para a fabricação das estruturas dos telhados de edificações habitacionais. Segundo Pfeil 2003, p.1) o uso desse material que, provavelmente é o mais antigo na construção, justifica-se pela sua notável disponibilidade na natureza, relativa facilidade de manuseio e excelente relação resistência/peso (Tabela 20), embora esteja sujeito a degradação biológica, a ação do fogo e apresente defeitos que interferem nas suas propriedades. O dimensionamento das peças de madeira é feito de acordo com NBR 7190:1997 – Projeto de estruturas de madeira.

Tabela 20 – Propriedades de alguns materiais de construção

Material	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )	f (MPa)	f/p
Madeira a tração	0,5 – 1,2	30-110	60-90
Madeira a compressão	0,5 – 1,2	30-60	50-60
Aço a tração	7,85	250	32
Concreto a compressão	2,5	40	16

Nota:  $\rho$  = massa específica ; f = resistência característica

Fonte: Pfeil,2003.

### 5.1 PROPRIEDADES DA MADEIRA

“Conhecer as propriedades físicas da madeira é de grande importância porque estas propriedades podem influenciar significativamente no desempenho e resistência da madeira utilizada estruturalmente”. (CALIL JÚNIOR, 1998, p.14). Desta forma, a Tabela 21 destaca os fatores que influenciam no comportamento das madeiras.

Tabela 21 – Propriedades da madeira

(continua)

Anisotropia	A madeira apresenta comportamentos diferentes em três direções: radial, tangencial e longitudinal às fibras. A diferença de propriedades entre as duas primeiras tem pouca importância prática, sendo satisfatório apenas a determinação das propriedades nas direções longitudinal e paralela às fibras.
-------------	---

(continuação)

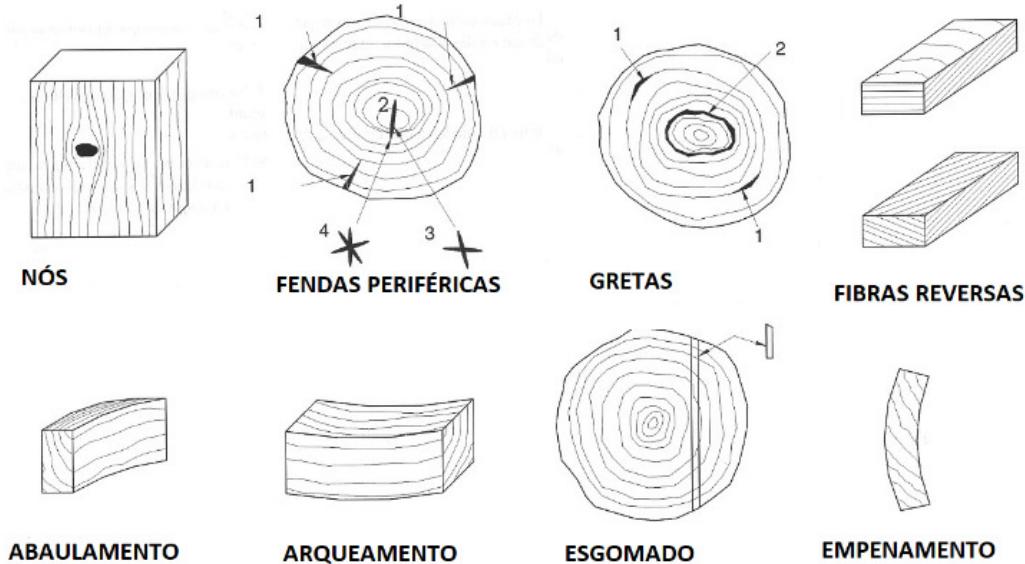
Umidade	A quantidade de água presente no interior das células ocas (fibras) e adsorvida nas paredes das fibras tem grande importância sobre as outras propriedades. Devido à natureza higroscópica da madeira o grau de umidade pode variar continuamente durante o dia ou de estação para estação.
Retração	As madeiras sofrem retração ou inchamento com a variação de umidade entre 0% e o ponto de saturação das fibras de 30%. O grau de variação dimensional é diferente para cada direção em relação às fibras e varia conforme a espécie.
Deterioração	A madeira está sujeita a ataques biológicos de fungos, cupins, moluscos e crustáceos marinhos como também, por ser combustível, à ação do fogo.
Defeitos	Podem apresentar uma série de defeitos que prejudicam a resistência, o aspecto ou a durabilidade.

Fonte: Informações de Pfeil,2003.

“Sendo um material higroscópico, a madeira entra em equilíbrio com o ambiente, perdendo ou absorvendo água, em função da umidade relativa e temperatura do ar”. (MELO,2013, p.13). Abaixo do ponto de saturação das fibras Szucz (2015, p.27) indica que “a perda de umidade é acompanhada pela retração [...] e aumento da resistência, por isso a secagem deve ser executada com cuidado para se evitarem problemas na madeira”. Sendo assim, Melo (2013, p.14) orienta utilizar madeiras que estejam com teores de umidade próximas ao equilíbrio com o ambiente evitando eventuais problemas decorrentes da alteração de formas ou dimensões originais.

“Os defeitos podem provir da constituição do tronco ou do processo de preparação das peças.” (PFEIL,2003, p.6). “Os nós, inclinação das fibras, rachaduras, defeitos de secagem, etc. são os defeitos mais comuns que têm influência diferenciada na resistência da madeira em função do tipo de solicitação”. (MELO,2013, p.22). A Figura 48 ilustra alguns dos defeitos que podem surgir nas peças de madeira.

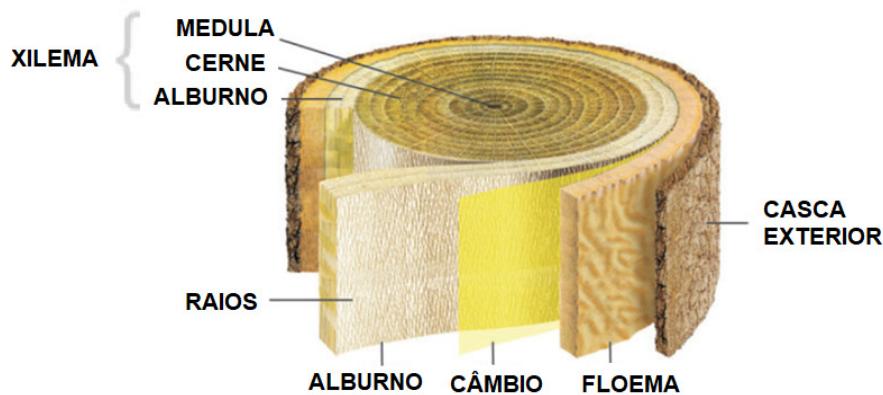
Figura 48 - Defeitos em peças de madeira



Fonte: Pfeil,2003 (modificado).

A Figura 49 apresenta um corte transversal no tronco de uma árvore onde é possível observar as suas principais camadas. De acordo com Pfeil (2003, p.6) a vulnerabilidade ao ataque biológico depende da camada em que foi extraída a madeira já que alburno é mais sensível que o cerne, mas também varia de acordo com a espécie, pois algumas são mais resistentes que outras, e com as condições ambientais. O cerne “representa a madeira com suas cores, características e desempenho conhecidos” e é desta parte do tronco que Pfeil (2003, p.2) recomenda que, preferencialmente, devem ser tiradas as madeiras de construção. (GONZAGA,2006, p.22). Melo (2013, p.9) destaca que o cerne está impregnado com extrativos que, além de serem tóxicos aos organismos degradadores, aumentam a densidade e resistência da madeira.

Figura 49 – Corte transversal no tronco de uma árvore



Fonte: Gonzaga,2006 (adaptado).

“As espécies de madeira a serem empregadas devem ser naturalmente resistentes ao apodrecimento e ao ataque de insetos, ou serem previamente tratadas”. (THOMAZ, 1988, p.5). “São passíveis de tratamento preservativo as peças de madeira portadoras de alburno ou as que, sendo de puro cerne, apresentem alguma permeabilidade à penetração dos produtos preservativos em seus tecidos lenhosos”. (GONZAGA, 2006, p.36). “Este tratamento, em geral, consiste em impregnar a madeira com preservativos químicos [...] e retardadores de fogo”. (PFEIL,2003, p.3). A presença dos agentes biológicos pode ser determinada pela NBR 7190:1997 (Tabela 22) para que se tome as devidas precauções as quais considera:

- os quatro preservativos de ação prolongada responsáveis por cerca de 80% das madeiras tratadas no mundo são: creosoto, pentaclorofenol, CCA (cromo-cobre-arsênio) e CCB (cromo-cobre-boro);
- os preservativos de ação temporária são fungicidas e inseticidas;
- na falta de norma específica os procedimentos mínimos de preservação são o pincelamento, para madeiras dicotiledôneas, e a impregnação em usina de autoclave para coníferas.

Tabela 22 – Presença de agentes biológicos de deterioração em madeiras.

Sit. de risco	Classificação		Agente biológico					
	Classe de umidade	Periodo de umidific.	Fungos apodrecedores		Fungos manchadores e emboloradores	Inseto		Furador marinho
			<i>Basidio miceto</i>	Podridão mole	Azulão	Besouro	Cupim	
1	1 a 3	Duração perman.	-	-	-	L	L	-
2	1 a 3	Curta duração	U	-	U	L	L	-
3	4	Longa duração	U	-	U	L	L	-
4	Contato permanente da madeira com solo ou água doce		U	U	U	L	L	-
5	Contato permanente da madeira com água salgada		U	U	U	L	L	U
NOTA - U= presente; L = pontos localizados								

Fonte: ABNT,1997 (adaptado).

“Sempre foi encarado como inconveniente a alta inflamabilidade da madeira seca”, entretanto, “ao contrário do que se imagina, a madeira não queima facilmente e resiste bem ao calor”. (GONZAGA,2006, p.58). De acordo com Silva (2010, p.4) ela não perde suas propriedades estruturais quando expostas a altas temperaturas e a baixa taxa de consumo faz a madeira funcionar até que a redução na seção transversal não suporte as tensões presentes. Segundo Calil Júnior (1998, p.19) a madeira apresenta, ainda, uma boa resistência à ataques químicos em linhas gerais, exceto no caso de bases fortes ou ácidos fortes que provocam, respectivamente, o aparecimento de manchas esbranquiçadas ou a redução do peso e resistência da madeira.

## 5.2 ESPÉCIES DE MADEIRA UTILIZADAS EM TELHADOS

Meirelles e Pala (2010, p.34) indicam que a peroba-rosa foi a espécie mais utilizada para a fabricação das estruturas dos telhados. Entretanto, Zenid (2009, p.21) relata que esta espécie, juntamente com o pinho-do-paraná, sofreu uma exploração desordenada dos principais centros consumidores de madeira que culminou na exaustão desses recursos. Moliterno (2010, p.11) cita, nesse sentido, a substituição destas espécies tradicionais, de custo cada vez mais elevado, por madeiras de reflorestamento. Segundo Zenid (2009, p.21) essa mudança provocou a introdução do Pinus e do Eucalipto.

Gonzaga (2006, p.73) apresenta o eucalipto como uma espécie de crescimento rápido e altamente resistente ao ataque biológico, apesar de possuir uma enorme tendência ao empenamento (torcimento) durante a secagem. O *Eucalyptus Citriodora* sugerido por Moliterno (2010, p.11) para substituir a peroba-rosa representa uma espécie de boa resistência mecânica conforme pode-se observar das suas propriedades descritas na Tabela 23.

Tabela 23 – Algumas propriedades mecânicas da peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*) e do *Eucalyptus citriodora*

Propriedade	<i>Peroba-rosa</i>	<i>E. citriodora</i>	Nota
$\rho_{ap,15\%}$	790 Kg/m <sup>3</sup>	1040 Kg/m <sup>3</sup>	Densidade aparente a 15% de umidade
$\rho_{bas}$	660 Kg/m <sup>3</sup>	867Kg/m <sup>3</sup>	Densidade básica
$f_{c0,15\%}$	54,4 Mpa	62,8 Mpa	Resist. a compressão paral. às fibras a 15% de umidade
$f_{M,15\%}$	103,8 Mpa	111,8 Mpa	Resistência a flexão a 15% de umidade

Fonte: Informações de IPT,1989.

Por outro lado, o Pinus descrito por Gonzaga (2006, p.74), é uma espécie estável, de extraordinário crescimento, fácil de pregar, cortar e trabalhar, mas, vulnerável ao ataque de fungos e xilófagos, além de possuir baixa resistência e baixíssima dureza. Porém, a depender da espécie de Pinus pode-se chegar a uma madeira com resistência mecânica competitiva a depender do uso que se destina

como as espécies *Pinus Elliotti* e *Pinus Taeda* cujas propriedades estão descritas na Tabela 24.

Tabela 24 – Algumas propriedades mecânicas do *Pinus Elliotti* e *Pinus Taeda*

Propriedade	<i>Pinus ellioti</i>	<i>Pinus taeda</i>	Nota
$\rho_{ap,15\%}$	560 KG/m <sup>3</sup>	645 kg/m <sup>3</sup>	Densidade aparente com 15% de umidade
$f_{c0}$	40,4 Mpa	44,4 Mpa	Resistência a compressão paralela às fibras
$f_{t0}$	66,0 Mpa	82,8 Mpa	Resistência à tração paralela às fibras
$f_{t90}$	2,5 Mpa	2,8 Mpa	Resistência a tração normal às fibras
$f_v$	7,4 Mpa	7,7 Mpa	Resistencia ao cisalhamento
$E_{c0}$	11899 MPa	13304 Mpa	Módulo de elasticidade longitudinal

Fonte: Informações de ABNT, 1997.

Deve-se ressaltar, entretanto, que uso dessas espécies só conseguiu ganhar força no mercado madeireiro na medida em que os problemas inerentes a cada material foram superados. De acordo com Gonzaga (2006, p.74) as usinas de preservação de madeira foram definitivas para a introdução das espécies de Eucalipto e Pinus na construção civil uma vez que, com isso, conseguiu-se estabilizar o Eucalipto ao empenamento e proteger o Pinus contra a degradação biológica.

### 5.3 PRODUTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA

Há diversos produtos estruturais de madeira que podem ser utilizados para compor as estruturas dos telhados. Dentre eles estão as madeiras roliças, serradas e laminadas coladas. Entretanto, é mais comum observar-se o emprego de madeira serrada.

#### 5.3.1 Madeira roliça

Segundo Zenid (2009, p.23) a madeira roliça (Figura 50) é um produto rudimentar de madeira que consiste em um segmento do tronco da árvore obtido por

cortes transversais, ou mesmo sem esses cortes no caso de varas longas de pequeno diâmetro, sendo que, na maioria dos casos, nem a casca é retirada. No Brasil, Pfeil (2009, p.9) cita que a madeira roliça é obtida, mais frequentemente, dos eucaliptos e do pinho-do-paraná com as árvores abatidas, preferencialmente, na estação seca onde o tronco tem menos umidade e tornando-se certas precauções para reduzir os defeitos de secagem. Deve-se ter cuidado, também, pois o fuste retirado contém o alburno que é mais suscetível ao ataque biológico. “Tais produtos são empregados, de forma temporária, em escoramentos de lajes (pontaletes) e construção de andaimes. Em construções rurais, é frequente o seu uso em estruturas de telhado”. (ZENID,2009, p.23).

Figura 50 - Madeira roliça



Fonte: Ecotrat,2018.

### 5.3.2 Madeira serrada

“A madeira serrada é o produto estrutural mais comum entre nós. O tronco é cortado nas serrarias em dimensões padronizadas para o comércio, passando depois por um período de secagem”. (PFEIL, 2003, p.9). Segundo Zenid (2009) as principais operações incluem o desdobra, esquadrejamento, destopo e o pré-tratamento contra fungos e insetos. De acordo com Pfeil (2003, p.9) a madeira serrada (Figura 51) apresenta, além dos defeitos oriundos de sua fabricação, limitações geométricas tanto

em relação a sua seção transversal quanto ao seu comprimento o qual é limitado por problemas de transporte e manejo ficando, normalmente, em torno de 4,0m a 6,0m.

Figura 51 – Lote de madeira Serrada



Fonte: Eucatratus,2018.

Para estruturas de telhados de edificações habitacionais é mais comum observar-se a utilização deste tipo de madeira. Isso se deve, possivelmente, devido a facilidade de se trabalhar com a madeira serrada somada à boa aceitação e disponibilidade no mercado além do que, as seções de transversais (Tabela 25) são bem conhecidas entre os profissionais que executam telhados. A madeira serrada, usualmente, também é retirada do cerne e costuma ser tratada resultando em produto de maior resistência ao ataque de fungos e cupins.

Tabela 25 - Seções comerciais comuns da madeira serrada em milímetros

(continua)

Pranchão	150 x 230 100 x 200 75 x 230	Prancha	50 x 200 50 x 300 40 X 200 40 x 300	Viga	150 x 150 75 x 150 75 x 115 60 x 160 50 x 200
Barrote	80 x 160				25x 300 25 x 150 25 x 200 25 x 250 25 x 100 10 x 150
Vigota	50 x 150 60 x 120		60 x 80 50 x 75 50 x 70 50 x 60 50 x 100	Tábua	
Cordão	15 x 15				

(continuação)

Ripa	12 x 50 20 x 50 15 x 50 20 x 40	Sarrafo	38 x 75 22 x 75 25 x 50 25 x 40	Pontalete	75 x 75 100 x 100 50 x 50
------	--	---------	--	-----------	---------------------------------

Fonte: Gonzaga,2006 (adaptado).

### 5.3.3 Madeira laminada e colada (MLC)

Segundo Pfeil (2003, p.9) a madeira laminada e colada (Figura 52), o produto estrutural de madeira mais importante nos países da Europa e América do Norte, é constituído, basicamente, por madeiras selecionadas e cortadas em lâminas de 15mm a 50mm de espessura que são coladas sob pressão. Moliterno (2010, p.18) indica que essa técnica representa uma tendência para o futuro das estruturas de madeira uma vez que é possível substituir as tradicionais espécies nativas por produtos de reflorestamento resultando em um material industrializado de melhor qualidade.

A partir das ideias de Szücs (2015, p.187-188) pode-se apontar como vantagens da utilização da MLC a possibilidade de se trabalhar com grandes seções, pois as peças não são limitadas pelas dimensões do tronco, a capacidade de vencer vãos cada vez maiores com a utilização de emendas de alta eficiência e a elevação da relação resistência/peso do material. Pfeil (2003, p.14), porém, cita que o produto apresenta como grande desvantagem o seu preço, que é mais elevado em relação à madeira serrada. Além disso, a MLC ainda não é muito comum de ser encontrada no mercado brasileiro.

Figura 52 – Lote de madeira laminada e colocada



Fonte: Portlame,2018.

#### 5.4 AQUISIÇÃO DA MADEIRA SERRADA E O MERCADO MADEIREIRO

No momento do recebimento das peças deve-se ter cuidado pois, conforme Yazigi (2009, p.487-488), não podem ser utilizadas madeiras serradas que apresentem defeitos sistemáticos como:

- esmagamentos ou outros danos que possam comprometer a sua resistência;
- nós soltos, nós que abranjam grande parte da seção, fendas ou falhas exageradas, arqueamento ou encurvamento acentuado, etc.;
- sinais de deterioração por ataque de fungos, cupins ou outros insetos;
- alto teor de umidade;
- desvios dimensionais na seção transversal e peças que não se adaptem perfeitamente às ligações.

Se as peças estiverem com alto teor de umidade ou impregnadas de preservantes, Thomaz (1988, p.17) recomenda armazenagem em galpões abertos e com espaços vazios entre as peças para possibilitar uma ventilação eficiente, o que não seria necessário no caso da madeira seca.

A NBR 15575:2013 sugere a utilização de madeiras cuja origem possa ser comprovada por certificação legal ou provenientes de plano de manejo aprovado por órgão ambiental devendo-se recorrer a espécies alternativas e que não estejam ameaçadas de extinção.

O engenheiro florestal da WWF Floresta, Estêvão Braga, diz que o ideal é comprar madeira certificada, em média 8,5% mais cara. Quando não for possível, aconselha seguir os critérios da WWF. Veja se o fornecedor tem alvará de funcionamento e se emite nota fiscal e o Documento de Origem Florestal (DOF), obrigatório mesmo na venda ao consumidor final. (ESTADÃO,2010, p.4).

O mercado madeireiro, porém, apresenta muitos problemas com relação à madeira serrada de maneira que não seja incomum o fato de não se encontrar a madeira nas condições ideais. O estudo de Oliveira (2008) em madeireiras do Distrito

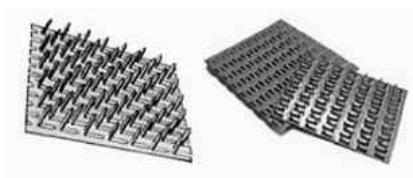
Federal pode dar uma ideia da real situação em que o setor se encontra ao chegar às seguintes conclusões:

- a falta de precisão das medidas e seções transversais inadequadas correspondeu a 58% do total de reclamações dos clientes;
- 26,7% das empresas não identificavam a espécie botânica corretamente sendo que, na maioria dos casos, a espécie anunciada possuía valores de resistência e densidade inferiores ao verdadeiro;
- 20% das peças avaliadas estavam com teor de umidade elevado;
- 33,3% das empresas não armazenavam adequadamente os estoques com casos de cobertura parcial ou ineficiente, ou peças empilhadas em pátios sem nenhuma proteção contra sol e chuva;
- as normas NBR 7203, NBR 7190 e NBR 14807 que abordam o tema “madeira serrada” divergem entre si em relação às nomenclaturas e dimensões das peças gerando confusão no setor madeireiro.

## 5.5 TELHADO COM ESTRUTURA DE MADEIRA PRÉ-FABRICADA

“É o telhado pronto, feito na fábrica e entregue para ser montado na obra”, explica o pesquisador Carlito Calil Júnior, professor do Laboratório de Estruturas de Madeira da USP São Carlos, para o jornal Estadão (2010, p.5). O pesquisador salienta que a estrutura pronta substitui o método tradicional de fabricação da estrutura pelo carpinteiro que gera perdas de material por um processo industrial que utiliza chapas com dentes estampados (CDE’s) para unir as peças. Segundo Martins (2007, p.31) o CDE (Figura 53) permite obter ligações de alta resistência quando prensado aos pares contra duas ou mais peças da treliça eliminando detalhes complicados como entalhes e também cavilhas, pregos e parafusos. Porém, “para o dimensionamento de estrutura fabricada com CDE é necessário que as propriedades mecânicas da conexão sejam conhecidas e especificadas pelo fabricante ou obtidas em laboratório de ensaios”. (CALIL JÚNIOR,2010, p.102).

Figura 53 - Conector CDE



Fonte: Calil Júnior, 2010.

A empresa Sudoeste Paulista (2016), fabricante de estruturas pré-fabricadas para telhados (Figura 54), destaca algumas vantagens do seu sistema:

- o projeto é feito por engenheiros especializados com base nas normas brasileiras de madeira a partir da planta do imóvel;
- as peças passam por rigorosa seleção onde são descartados cerca de 70% dos nós, medulas, bolsas de resinas e demais defeitos que diminuem sua resistência;
- o tratamento da madeira em usinas de autoclave garante alta durabilidade e elevada proteção contra ataques biológicos;
- as estruturas, após prontas, são levadas para a obra e instaladas por profissionais especializados da empresa.

Figura 54 - Estrutura pré-fabricada de madeira



Fonte: Sudoeste Paulista, 2016.

"Atualmente o sistema de treliças (ou tesouras) industrializadas que utilizam CDE's vem sendo bastante utilizado, principalmente em estruturas de cobertura, por proporcionarem estruturas leves e eficientes". (CALIL JÚNIOR, 2010, p.132). De acordo com Moliterno (2010, p.152-53) algumas empresas norte-americanas estimuladas pelo aproveitamento de madeiras de reflorestamento, como pinus e eucalipto, passaram a utilizar o sistema de fabricação de estruturas em série objetivando maior rapidez de execução e menor custo. "Um telhado para uma casa de 160 metros quadrados, por exemplo, vai demorar no mínimo um mês para ser montado pelo carpinteiro, ante alguns dias, se for industrializado" diz o pesquisador Carlito Calil Júnior ao Estadão (2010, p.5).

## 5.6 O AÇO COMO ALTERNATIVA À MADEIRA

Cardoso (2000, p.8) sugere que as estruturas metálicas ou de concreto aparecem como alternativa à madeira o que se deve, principalmente, devido à escassez e elevação do preço deste material, às pressões sociais pela preservação do meio ambiente e pelo fato de que as peças industrializadas otimizam a produtividade e qualidade da construção. Porém, Nucada (2014) relata que enquanto o aço se tornou uma opção viável à madeira por questões econômicas, de resistência e durabilidade, o concreto é o material menos usual para a estrutura do telhado não sendo recomendado devido ao alto custo de execução. Segundo Galvaminas (2017) a estrutura de aço (Figura 55), embora seja associada a construções industriais, pode ser utilizada em qualquer tipo de edificação sendo ainda preterida à madeira em função da dificuldade de achar mão de obra especializada e à maior facilidade de encontrar madeira.

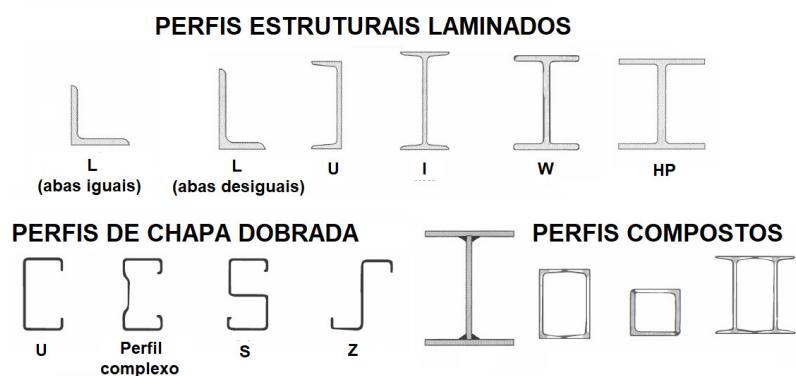
Figura 55 - Estrutura metálica para telhado



Fonte: Reis,2009.

“As barras das treliças são, em geral, constituídas por perfis laminados únicos ou agrupados, e também por perfis de chapa dobrada”. (PFEIL, 2009, p.229). A Figura 56 apresenta os formatos mais usuais destes perfis que são dimensionados de acordo com as normas brasileiras referidas na Tabela 26. Não é incomum também a utilização de barras de aço como componente estrutural e cabos de aço cruzados como elementos de contraventamento trabalhando à tração. Pfeil (2009, p.18) sugere que as dimensões limitadas pela produção e pela capacidade do transporte tornam necessária a associação das peças que é feita por conectores, geralmente ligações parafusadas em campo, ou pela solda, que se tornou a tendência em oficinas devido a evolução do processo.

Figura 56 – Perfis utilizados em estruturas de aço



Fonte: Pfeil,2009 (adaptado).

Tabela 26 – Perfis estruturais de aço e normas brasileiras

Perfis laminados	NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas de aço e concreto de edifícios.
Perfis de chapa dobrada	NBR 14762:2001 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento
Perfis soldados e compostos	NBR 5884:2000 – Perfil I estrutural soldado por arco elétrico - especificação

Em relação à madeira o aço é bem mais resistente. Enquanto a NBR 7190:1997 indica uma resistência a compressão paralela às fibras de  $f_{c0} = 62 \text{ MPa}$  para o *Eucalyptus Citriodora*, espécie comum nas estruturas atualmente, o aço estrutural MR250 sugerido pela NBR 8800:2008 tem resistência ao escoamento  $f_y = 250 \text{ MPa}$ . Para melhor avaliação das características dos aços, a Tabela 27 apresenta algumas das suas propriedades comuns.

Tabela 27 – Propriedades dos aços

Propriedade	Conceito
Ductibilidade	Capacidade do material se deformar sob ação de cargas elevadas que conduz a mecanismos de rupturas com avisos de grandes deformações
Fragilidade	É o oposto da ductibilidade onde o material rompe bruscamente sem aviso prévio. Há diversas causas para a fragilidade como as baixas temperaturas ou efeitos locais causados por solda elétrica.
Resiliência	Capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico e restituir a energia absorvida
Tenacidade	Energia total que o material pode absorver por unidade de volume até sua ruptura.
Dureza	Resistência ao risco ou abrasão.
Efeito da temperatura elevada	Temperaturas elevadas reduzem as resistências do aço ao escoamento e à ruptura e o módulo de elasticidade. Em situações de incêndio, a estrutura tende a instabilizar-se pois há grande redução de resistência.
Fadiga	A tensão de ruptura pode ser inferior à obtida em ensaios elásticos quando a peça metálica se submeter a esforços repetitivos em grande número.
Corrosão	Processo de reação do aço com alguns elementos presentes no meio ambiente que promove a perda de seção das peças e pode causar colapso.

Fonte: Informações de Pfeil,2009.

Segundo Galvaminas (2017) as estruturas de madeira, muito utilizadas por ser o costume entre os especialistas, tem como vantagem o peso reduzido em relação ao aço que pode ser até 1/3 mais leve, porém, os sistemas metálicos são instalados com maior rapidez, até 3 vezes mais rápida, e geram menos resíduos. Alves (2017) atenta

para o fato que existe, ainda, a possibilidade de degradação ao meio ambiente com a utilização de madeiras não certificadas e com origem duvidosa o que não acontece com o aço que é de origem conhecida e com baixo índice de degradação.

Devido a variação do preço da madeira com a qualidade, Vedramini (2016) relata que o custo dos telhados executados com madeira pode equivaler-se aos feitos com aço e, às vezes, custar até mais.

Na observação do engenheiro Valsuir Rodrigues Galvão, no Brasil é difícil dizer o que é mais caro e mais barato em termos definitivo, pois o aço tem muita variação de preço em função do cambio e por ser um produto de exportação. “No Brasil existe muita madeira de reflorestamento, mas a tendência é que o aço fique mais em conta”, espera Galvão. (ALVES,2017).

Galvaminas (2017), no mesmo sentido, observa a relação custo/benefício na qual as estruturas metálicas se tornam mais econômicas a longo prazo pois, não estando sujeita a ataques de cupins, ao clima, à umidade e outros fatores naturais, basta protegê-la da ferrugem que terá uma vida útil muito superior às estruturas de madeira. “A galvanização, responsável pela proteção do aço à corrosão, deve ser especificada considerando a agressividade do ambiente onde a estrutura será instalada”. (REIS,2009).

“Fazendo uma comparação entre a estrutura metálica com a estrutura em madeira para a realização de coberturas residenciais, a estrutura metálica para telhado carece de mão de obra mais especializada [...].” (VENDRAMINI,2016). “Geralmente o carpinteiro que faz a estrutura [de madeira] também faz o telhado, diminuindo os custos com mão de obra” além disso, “o serviço também é mais fácil de ser encontrado no mercado [...]” (GALVAMINAS,2017).

## 6 COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES ESTRUTURAIS EM MADEIRA E EM AÇO PARA TELHADOS

Com vistas a estabelecer comparativos apresenta-se, neste capítulo, os resultados dos dimensionamentos de seções transversais para estruturas de telhados fabricadas em madeira e em aço. As seções transversais obtidas via cálculo estrutural em madeira são comparadas com aquelas indicadas pela prática visto que, utilizar-se de tal recomendação, é hábito comum entre os profissionais que executam telhados. O aço, por sua vez, é comparado à madeira a partir da determinação dos custos oriundos de duas estruturas semelhantes dimensionadas para o mesmo telhado. A modulação dos vãos, carregamentos e seções transversais adotadas seguem as premissas definidas no corpo deste trabalho. Já a verificação de segurança e estabilidade têm como base as seguintes normas brasileiras:

- NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo das estruturas em edificações;
- NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- NBR 7190:1997 – Projeto de estruturas de madeira;
- NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas de aço e concreto de edifícios.

É considerado um telhado de duas águas a ser construído em edificação habitacional no município de Santa Maria/RS cujas dimensões em planta são: 10,0m de frente, 14,0m de fundo, beiral de 0,25m e pé-direito de 3,0m. Inicialmente a estrutura é projetada para suportar telhas cerâmicas, de pequenas dimensões, que necessitam de ripas, caibros e terças para formar a trama. Em seguida, são dimensionadas duas estruturas geometricamente idênticas de aço e madeira para o suporte de telhas metálicas termo-acústicas de grandes dimensões que dispensam ripas e caibros na trama. A estrutura principal, em todos os casos, é uma tesoura tipo *Howe* instalada em posições intermediárias admitindo-se que as paredes de extremidade são oitões de alvenaria com capacidade de suporte. O sistema possui, ainda, um forro de Eucatex com carga permanente  $q = 0,15 \text{ kN/m}^2$ , conforme Moliterno (2010, p.22), fixado nos nós dos banzos inferiores da treliça.

## 6.1 DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE MADEIRA PARA UM TELHADO COM TELHAS CERÂMICAS

Para um telhado fabricado com telhas cerâmicas do tipo romana e estrutura constituída de peças de madeira serrada são admitidas as seguintes condições:

- a tesoura *Howe* e a trama são fabricadas em peças de seção simples com madeiras *Eucalyptus Citriodora* e dicotiledônia classe C40, respectivamente, cujas propriedades estão definidas na Tabela 28;
- em todos os casos a madeira é considerada de segunda categoria, ou seja, não isenta de defeitos;
- as tesouras têm espaçamento de 2,0m entre si e o banzo superior destes elementos tem inclinação  $\theta = 26^\circ$  (49%) em função da exigência da telha;
- as telhas têm peso próprio  $q = 0,48\text{kN/m}^2$ , índice de absorção de 18% e galga de 0,36m;
- os caibros e as terças estão espaçados em 0,5m e 1,39m, respectivamente.

Tabela 28 - Propriedades das madeiras utilizadas na trama e na treliça

Trama: Dicotiledônea classe C40 (kmod = 0,448)			Treliça: <i>Eucalyptus Citriodora</i> (kmod = 0,448)		
Valor Característico $f_{c_k}$	Valor de projeto $f_d = kmod \times f_{c_k}/\gamma_w$	$\gamma_w$	Valor Característico $f_{c_k}$	Valor de projeto $f_d = kmod \times f_{c_k}/\gamma_w$	$\gamma_w$
$f_{c_{0k}} = 4,00 \text{ kN/cm}^2$	$f_{c_{0d}} = 1,28 \text{ kN/cm}^2$	1,4	$f_{c_{0k}} = 4,34 \text{ kN/cm}^2$	$f_{c_{0d}} = 1,39 \text{ kN/cm}^2$	1,4
-	$f_{t_{0d}} = 1,28 \text{ kN/cm}^2$	-	$f_{t_{0,k}} = 8,65 \text{ kN/cm}^2$	$f_{t_{0d}} = 2,15 \text{ kN/cm}^2$	1,8
$f_{v_{0k}} = 0,6 \text{ kN/cm}^2$	$f_{v_{0d}} = 0,15 \text{ kN/cm}^2$	1,8	$f_{v_{0k}} = 0,75 \text{ kN/cm}^2$	$f_{v_{0d}} = 0,2 \text{ kN/cm}^2$	1,8
Densidade e módulo de elasticidade			Densidade e módulo de elasticidade		
$\rho_{ap}$	9,5 $\text{kN/m}^3$		$\rho_{ap}$	6,99 $\text{kN/m}^3$	
$E_{com}$	1950 $\text{kN/cm}^2$		$E_{com}$	1289,5 $\text{kN/cm}^2$	
$E_{coef} = kmod \times E_{com}$	873,6 $\text{kN/cm}^2$		$E_{coef} = kmod \times E_{com}$	577,7 $\text{kN/cm}^2$	

Fonte: Informações de ABNT,1997.

### 6.1.1 Dimensionamento das ripas

A ripa submetida ao esforço de flexão oblíqua simples tem a condição de segurança em relação às tensões normais verificada pela mais rigorosa das equações 1 e 2. Já a condição de estabilidade lateral é condicionada ao atendimento da equação 3 onde “b” é a largura da ripa, “ $L_1$ ” é a distância entre travamentos laterais, ou seja, o vão da ripa, e “ $\beta_m$ ” é o coeficiente de correção determinado através da Tabela 29.

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{w,d}} + 0,5 \cdot \frac{\sigma_{My,d}}{f_{w,d}} \leq 1 \quad (1)$$

$$0,5 \cdot \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{w,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{w,d}} \leq 1 \quad (2)$$

$$\frac{L_1}{b} \leq \frac{E_{co,ef}}{\beta_m f_{co,d}} \quad (3)$$

Tabela 29 - Valores de  $\beta_m$

$h/b$	$\beta_m$	$h/b$	$\beta_m$	$h/b$	$\beta_m$	$h/b$	$\beta_m$	$h/b$	$\beta_m$
1	6,0	5	19,5	9	34,0	13	48,5	17	63,0
2	8,8	6	23,1	10	37,6	14	52,1	18	66,7
3	12,3	7	26,7	11	41,2	15	55,8	19	70,3
4	15,9	8	30,3	12	44,8	16	59,4	20	74,0

Fonte: ABNT,1997 (adaptado).

A NBR 6120:1980 indica que, além das ações permanentes, seja prevista uma carga acidental de 1,0kN aplicada na posição mais desfavorável (meio do vão) em todo elemento isolado de cobertura. No entanto, muitos autores como Moliterno (2010), utilizam uma distribuição equivalente de 0,3kN/m<sup>2</sup> admitindo que a ação pontual indicada pela norma é um valor irrealista e antieconômico. Em razão disso, testou-se duas ripas com seções 5,0 x 1,5cm e 5,0 x 2,5cm. A primeira foi considerada submetida à distribuição equivalente de 0,3kN/m<sup>2</sup> e a segunda à ação pontual de 1,0kN. As tabelas 30 e 31 apresentam os resultados do dimensionamento com as

referidas cargas aplicadas juntamente com o seguinte conjunto de ações permanentes:

- peso próprio de 0,0071 kN/m para a ripa de seção 5,0x1,5cm e peso próprio de 0,0119 kN/m para ripa de seção 5,0x2,5cm;
- telhas considerando a absorção de umidade com 0,2039 kN/m.

Tabela 30 - Esforços e tensões de cálculo na ripa

Ripa de seção 5,0 x 1,5cm		Ripa de seção 5,0 x 2,5cm	
Esforços de projeto	Tensões resultantes	Esforços de projeto	Tensões resultantes
$M_{dx} = 0,0125 \text{ kNm}$	$\sigma_{\max dx} = 0,669 \text{ kN/cm}^2$	$M_{dx} = 0,166 \text{ kNm}$	$\sigma_{\max dx} = 3,183 \text{ kN/cm}^2$
$M_{dy} = 0,006 \text{ kNm}$	$\sigma_{\max dy} = 0,098 \text{ kN/cm}^2$	$M_{dy} = 0,081 \text{ kNm}$	$\sigma_{\max dy} = 0,776 \text{ kN/cm}^2$
$V_{dx} = 0,10 \text{ kN}$	$\tau_{dx} = 0,020 \text{ kN/cm}^2$	$V_{dx} = 0,697 \text{ kN}$	$\tau_{dx} = 0,084 \text{ kN/cm}^2$
$V_{dy} = 0,05 \text{ kN}$	$\tau_{dy} = 0,0098 \text{ kN/cm}^2$	$V_{dy} = 0,339 \text{ kN}$	$\tau_{dy} = 0,041 \text{ kN/cm}^2$

Tabela 31 - Verificação do ELU e ELS

			Ripa de seção 5,0 x 1,5cm	Ripa de seção 5,0 x 2,5cm
ELU	Condição de segurança em relação às tensões normais	Eq.1	$0,561 \leq 1,00$	$2,789 \leq 1,00$
		Eq.2	$0,338 \leq 1,00$	$1,849 \leq 1,00$
	Condição de segurança em relação às tensões cisalhantes $\tau_d \leq f_{v0,d}$	Eixo x	$0,02 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$	$0,084 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$
		Eixo y	$0,0098 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$	$0,041 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$
Estabilidade lateral (Eq.3)			$10 \leq 113,75$	$10 \leq 113,75$
ELS	Flecha máxima admissível $\delta_{i,lim} \leq \delta_{i,x} \text{ ou } \delta_{i,y}$		$\delta_{i,lim} = 0,25 \text{ cm}$	$\delta_{i,lim} = 0,25 \text{ cm}$
			$\delta_{i,x} = 0,139 \text{ cm}$	$\delta_{i,x} = 0,1101 \text{ cm}$
			$\delta_{i,x} = 0,006 \text{ cm}$	$\delta_{i,x} = 0,0134 \text{ cm}$

Percebe-se, no entanto, que a seção de 5,0 x 2,5cm não apresenta resistência. Neste caso, a ação concentrada que levaria à ruptura da ripa é da ordem de 0,35kN enquanto que a ripa de 5,0 x 1,5cm suporta apenas 0,1kN nas condições estabelecidas. Porém, se a ripa de 5,0 x 2,5cm fosse feita com madeira classe C60 de segunda categoria e o espaçamento dos caibros fosse reduzido para 40 cm a capacidade de suporte subiria para 0,70kN.

### 6.1.2 Dimensionamento dos caibros

A verificação da segurança em relação às tensões normais dos caibros submetidos à flexocompressão se dá de acordo com a equação crítica 4 e a condição de estabilidade lateral deve atender à equação 5 considerando os efeitos de segunda ordem em peças esbeltas ( $\lambda > 80$ ) e medianamente esbeltas ( $40 < \lambda \leq 80$ ). Em peças curtas ( $\lambda \leq 40$ ) a verificação da estabilidade lateral pode ser dispensada.

$$\left( \frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{co,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{co,d}} \leq 1 \quad (4)$$

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{M,d}}{f_{co,d}} \leq 1 \quad (5)$$

A Tabela 32 apresenta os resultados do dimensionamento para um caibro de seção 5,0 x 7,0cm submetido à ação concentrada variável de 1,0kN aplicada no meio do vão, mais as ações permanentes, e de um caibro de seção 5,0 x 5,0cm onde a carga variável mencionada foi substituída pela ação distribuída de 0,3kN/m<sup>2</sup>. Em todos os casos obteve-se aceitação considerando o seguinte conjunto de ações permanentes:

- peso próprio de 0,03325 kN/m para o caibro de seção 5,0x7,0cm e peso próprio de 0,0238 kN/m para o caibro de seção 5,0x5,0cm;
- peso próprio das ripas de 0,0165 kN/m considerando uma seção de 2,5 x 5,0cm;
- telhas considerando a absorção de umidade com 0,2832 kN/m.

Tabela 32 – Verificação do ELU e ELS nos caibros

(continua)

		Caibro de seção 5,0 x 7,0 cm	Caibro de seção 5,0 x 5,0 cm
ELU	Condição de segurança	1,04 ≈ 1,00	0,552 ≤ 1,00
	Verificação da estabilidade	1,05 ≈ 1,00	0,558 ≤ 1,00

(continuação)

	Segurança em relação às tensões cisalhantes ( $\tau_d \leq f_{vd}$ )	$0,039 \text{ kN/m}^2 \leq 0,15 \text{ kN/m}^2$	$0,0248 \text{ kN/m}^2 \leq 0,15 \text{ kN/m}^2$
ELS	Flecha máxima admissível	$\delta_i, \text{tot} = 0,197 \text{ cm} \leq \delta_i, \text{lim} = 0,695 \text{ cm}$	$\delta_i, \text{tot} = 0,339 \text{ cm} \leq \delta_i, \text{lim} = 0,695 \text{ cm}$

### 6.1.3 Dimensionamento das terças

As terças estão submetidas ao mesmo tipo de esforço presente nas ripas, ou seja, a flexão oblíqua simples e, deste modo, são dimensionadas de maneira análoga. O cálculo, para este caso, foi feito apenas para a condição onde a ação variável é uma carga concentrada de 1,0kN aplicada no meio do vão considerando-se que é grande a possibilidade desta ocorrência e os danos que a ruína desta peça pode ocasionar. Para uma terça de seção 6,0 x 12,0cm a Tabela 33 apresenta os resultados do dimensionamento obtendo-se, em todos os casos, aceitação e considerando o seguinte conjunto de ações permanentes:

- peso próprio da terça de 0,0684 kN/m;
- peso próprio dos caibros de 0,0924 kN/m com seção 5,0 x 7,0cm;
- peso próprio das ripas de 0,0458 kN/m com seção 5,0x 2,5cm;
- telhas considerando a absorção de umidade com 0,787 kN/m.

Tabela 33 - Verificação do ELU e ELS nas terças

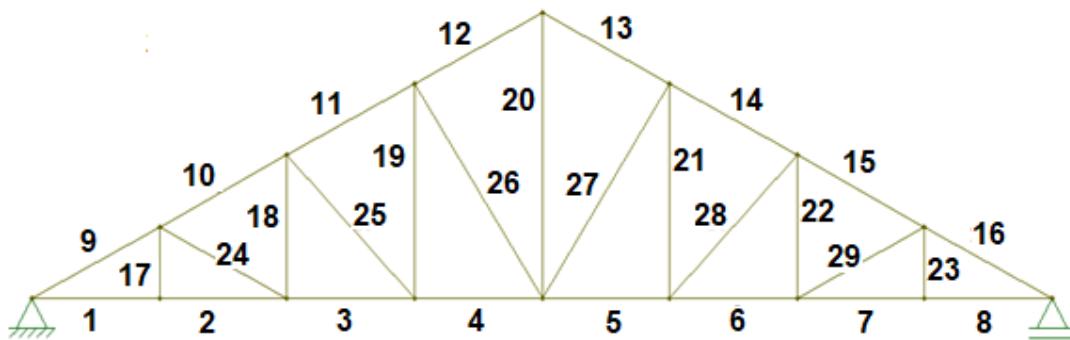
ELU	Condição de segurança em relação às tensões normais	Eq.1	$1,013 \approx 1,00$
		Eq.2	$1,004 \approx 1,00$
	Condição de segurança em relação às tensões cisalhantes ( $\tau_d \leq f_{vd}$ )	Eixo x	$0,039 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$
		Eixo y	$0,019 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$
Eq. da Estabilidade (Eq. 3)		$33,33 \leq 77,6$	
ELS	Flecha máxima admissível $\delta_i, \text{lim} \leq \delta_i, x \text{ ou } \delta_i, y$	$\delta_i, \text{lim} = 1,0 \text{ cm}$	
		$\delta_i, x = 0,286 \text{ cm}$	
		$\delta_i, x = 0,559 \text{ cm}$	

#### 6.1.4 Dimensionamento da treliça

A treliça *Howe* tem suas barras numeradas conforme a Figura 57 e é composta pelos seguintes elementos:

- banzo inferior (barras 1 a 8) com seção de 6x12cm;
- banzo superior (barras 9 a 16) com seção de 6x16cm;
- montante (barras 17 a 23) com seção de 6 x 8cm;
- diagonal (barras 24 a 29) com seção de 6 x 8cm.

Figura 57 - Numeração das barras da treliça



As tabelas 34 e 35 apresentam, respectivamente, as propriedades geométricas das barras da treliça e os carregamentos permanentes considerados no dimensionamento. Para os elementos de ligação é um adotado um valor de 0,003 kN/m<sup>2</sup> conforme estabelece Calil Júnior (2010, p.50). Já para as ações variáveis foram utilizadas cargas de 1,0kN descarregadas pelas terças nos nós do banzo superior e as ações devidas ao vento obtidas conforme a NBR 6123:1988. Considerando o caso mais crítico para sobrepressão e sucção obteve-se, respectivamente,  $F_{sb} = 0,172 \text{ kN/m}^2$  e  $F_{sc} = -0,510 \text{ kN/m}^2$ .

Tabela 34 - Propriedades geométricas das barras

Barra	L (cm)	b (cm)	h (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$I_{min}$ (cm <sup>4</sup> )	$i_{min}$ (cm)	$\lambda$
1	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
2	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
3	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
4	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
5	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
6	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
7	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
8	125	6	12	72	864	216	216	1,73	72
9	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
10	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
11	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
12	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
13	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
14	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
15	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
16	139	6	16	96	2048	288	288	1,73	80
17	60,75	6	8	48	256	144	144	1,73	35
18	121,5	6	8	48	256	144	144	1,73	70
19	182,25	6	8	48	256	144	144	1,73	105
20	243	6	8	48	256	144	144	1,73	140
21	182,3	6	8	48	256	144	144	1,73	105
22	121,5	6	8	48	256	144	144	1,73	70
23	60,8	6	8	48	256	144	144	1,73	35
24	138,9	6	8	48	256	144	144	1,73	80
25	174,3	6	8	48	256	144	144	1,73	100
26	220,99	6	8	48	256	144	144	1,73	127
27	220,99	6	8	48	256	144	144	1,73	127
28	174,3	6	8	48	256	144	144	1,73	100
29	138,8	6	8	48	256	144	144	1,73	80

Tabela 35 – Ações permanentes na treliça

(continua)

Ação	Carga distribuída	Ação nodal – nós intermed. do banzo superior	Ação nodal – nós extremos do banzo superior	Ação nodal – nós intermed. do banzo inferior	Ação nodal – nós extremos do banzo inferior
Telhas	0,5664 kN/m <sup>2</sup>	1,575 kN	1,102 kN	-	-

(continuação)

Ripas	0,0330 kN/m <sup>2</sup>	0,092 kN	0,064 kN	-	-
Caibros	0,067 kN/m <sup>2</sup>	0,185 kN	0,129 kN	-	-
Terça	0,068 kN/m	0,137 kN	0,137 kN	-	-
Tesoura	0,0967 kN/m <sup>2</sup>	0,269 kN	0,134 kN	-	-
Elementos de ligação	0,0030 kN/m <sup>2</sup>	0,008 kN	0,004 kN	-	-
Forro	0,15 kN/m <sup>2</sup>	-	-	0,375 kN	0,187 kN
	$\Sigma$ Soma	2,265 kN	1,571 kN	0,375 kN	0,187 kN

A Tabela 36 mostra os esforços nas barras da treliça devidos às ações permanentes e variáveis obtidos com auxílio do software *Ftool*. Os esforços máximos de projeto para o ELU são determinados a partir das seguintes combinações ultimas normais:

$$N_{d1} = \gamma_g x N_{g,k} + \gamma_q x N_{q,k} = 1,4xN_{g,k} + 1,4xN_{q,k}$$

$$N_{d2} = \gamma_g x N_{g,k} + 0,75x\gamma_q x N_{sb,k} = 1,4xN_{g,k} + 0,75x1,4xN_{sb,k}$$

$$N_{d3} = \gamma_g x N_{g,k} + 0,75x\gamma_q x N_{sc,k} = 0,9xN_{g,k} + 0,75x1,4xN_{sc,k}$$

Tabela 36 – Esforços nas barras da treliça

(continua)

Barra	Ações Permanentes $N_{g,k}$ (kN)	Sobrecarga de serviço $N_{qk}$ (kN)	Sobrepressão devida ao vento $N_{sb,k}$ (kN)	Sucção devida ao vento $N_{sc,k}$ (kN)	$N_{d1}$ (kN)	$N_{d2}$ (kN)	$N_{d3}$ (kN)
1	18,04	6,83	2,91	-8,62	34,82	28,31	7,19
2	18,12	6,86	2,92	-8,65	34,97	28,43	7,23
3	16,25	6,15	2,43	-7,21	31,36	25,30	7,05
4	13,44	5,09	1,88	-5,59	25,94	20,79	6,23
5	13,44	5,09	1,88	-5,59	25,94	20,79	6,23
6	16,25	6,15	2,43	-7,21	31,36	25,30	7,05
7	18,12	6,86	2,92	-8,65	34,97	28,43	7,23
8	18,04	6,83	2,91	-8,62	34,82	28,31	7,19
9	-20,19	-7,65	-3,36	9,95	-38,98	-31,79	-7,72
10	-17,99	-6,82	-3,06	9,07	-34,73	-28,40	-6,67
11	-15,02	-5,69	-2,69	7,96	-28,99	-23,85	-5,16

(continuação)

12	-12,05	-4,56	-2,31	6,88	-23,25	-19,30	-3,62
13	-12,05	-4,56	-2,31	6,88	-23,25	-19,30	-3,62
14	-15,02	-5,68	-2,69	7,96	-28,98	-23,85	-5,16
15	-17,99	-6,82	-3,06	9,07	-34,73	-28,40	-6,67
16	-20,19	-7,65	-3,36	9,95	-38,98	-31,79	-7,72
17	0,07	-0,11	-0,03	0,11	-0,06	0,06	0,18
18	1,41	0,392	0,25	-0,73	2,52	2,24	0,50
19	2,96	0,98	0,52	-1,53	5,52	4,69	1,06
20	7,65	2,76	1,56	-4,62	14,57	12,35	2,03
21	2,96	0,98	0,52	-1,53	5,52	4,69	1,06
22	1,41	0,39	0,25	-0,73	2,52	2,24	0,50
23	0,07	-0,11	-0,03	0,11	-0,06	0,06	0,18
24	-2,04	-0,77	-0,53	1,58	-3,93	-3,41	-0,18
25	-3,86	-1,46	-0,75	2,23	-7,45	-6,19	-1,13
26	-4,3	-1,83	-0,93	2,77	-8,58	-7,00	-0,96
27	-4,3	-1,83	-0,93	2,77	-8,58	-7,00	-0,96
28	-3,86	-1,46	-0,75	2,23	-7,45	-6,19	-1,13
29	-2,04	-0,77	-0,53	1,58	-3,93	-3,41	-0,18

O dimensionamento da treliça, por sua vez, é feito para a barra que gerou o máximo esforço nos elementos de: banzo inferior, banzo superior, montante e diagonal (Tabela 37).

Tabela 37 - Esforços máximos nos componentes da treliça

	Tração	Compressão	Barra
Banzo Inferior	34,97 kN	-	2
Banzo Superior	-	-38,98 kN	9
Montante	14,57 kN	-	20
Diagonal	-	-8,58 kN	26

#### 6.1.4.1 Barras tracionadas – verificação da segurança e estabilidade

As barras da treliça solicitadas a tração no eixo axial devem satisfazer às condições de segurança ( $\sigma_{td} \leq f_{td}$ ) e estabilidade ( $L_0 \leq 50.b$ ). A tensão de tração  $\sigma_{td} = N_d/A_n$  é calculada considerando-se uma redução da seção bruta  $A_g$  para seção líquida  $A_n = 0,7A_g$  em função da possível presença de pinos de ligação. Os resultados das verificações encontram-se descritos na Tabela 38.

Tabela 38 - Verificação da segurança e estabilidade à tração

	$N_d$ (kN)	$A_g$ (cm <sup>2</sup> )	$A_n$ (cm <sup>2</sup> )	Segurança $\sigma_{td} \leq f_{td}$	Estabilidade $L_0 \leq 50.b$
Banzo inferior	34,97	72	50,4	$0,69 \text{ kN/cm}^2 \leq 2,15 \text{ kN/cm}^2$	$125,0 \text{ cm} \leq 300,0 \text{ cm}$
Montante	14,57	48	33,6	$0,43 \text{ kN/cm}^2 \leq 2,15 \text{ kN/cm}^2$	$243,0 \text{ cm} \leq 300,0 \text{ cm}$

#### 6.1.4.2 Barras comprimidas – verificação da segurança e estabilidade

A condição de segurança em peças curtas ( $\lambda \leq 40$ ) é verificada por  $\sigma_{cd} \leq f_{co,d}$  sendo a peça dimensionada apenas à compressão simples. Porém, em peças esbeltas ( $\lambda > 80$ ) e medianamente esbeltas ( $40 < \lambda \leq 80$ ) deve-se considerar os efeitos de segunda ordem devido a excentricidades e arqueaduras que originam esforços de flexocompressão. No presente caso, a verificação da segurança fica restrita a equação crítica:

$$\left[ \frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{co,d}} \right]^2 + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{co,d}} \leq 1 \quad (6)$$

O estado limite último de instabilidade deve ser verificado somente em peças esbeltas e medianamente esbeltas. Em peças curtas verifica-se somente a condição de segurança. Para o caso de seções simples em que a aferição do estado limite último de instabilidade se faz necessária utiliza-se a equação 7. A Tabela 39 apresenta

os resultados das verificações em relação à segurança e estabilidade das peças comprimidas.

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{co,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{co,d}} \leq 1 \quad (7)$$

Tabela 39 - Verificação da segurança e estabilidade à compressão

	$F_e$ (kN)	$e_d$ (cm)	$M_d$ (kNm)	$\sigma_{Myd}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{N,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	Verificação da segurança (eq.6)	Verificação da estabilidade (eq.7)
Banzo Superior	84,99	1,88	73,33	0,764	0,406	$0,635 \leq 1$	$0,842 \leq 1$
Diagonal	16,81	3,70	31,74	0,661	0,178	$0,493 \leq 1$	$0,605 \leq 1$

#### 6.1.4.3 Estado limite de serviço (flecha máxima admissível)

Com o auxílio do software *Ftool* são obtidos os deslocamentos no meio do vão da treliça para valores característicos de carregamento. Aplicando-os em combinações de ELS chega-se ao seguinte valor crítico:  $\delta i_{util} = \sum_{i=1}^m \delta_{gi,k} + \sum_{i=1}^n \psi_{2j} \cdot \delta_{qj,k} = 0,85\text{ cm} + 0,2 \times 0,32\text{ cm} = 0,914\text{ cm}$ . Como a flecha máxima admissível não deve ultrapassar 1/200 dos vãos, ou seja,  $\delta i_{lim} = L/200 = 1000\text{ cm}/200 = 5,0\text{ cm}$  esta condição é atendida.

## 6.2 DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE MADEIRA PARA UM TELHADO COM TELHAS METÁLICAS TERMO-ACÚSTICAS

Para o telhado composto por telhas metálicas termo-acústicas e estrutura de madeira serrada são admitidas as seguintes condições:

- a tesoura *Howe* e a trama são fabricadas em peças de seção simples com madeiras *Eucalyptus Citriodora* e dicotiledônia classe C40, respectivamente;

- em todos os casos a madeira é considerada de segunda categoria, ou seja, não isenta de defeitos;
- as tesouras têm espaçamento de 2,8m entre si e o banzo superior destes elementos tem inclinação  $\theta = 15^\circ$  (27%) em função da exigência da telha;
- as telhas têm peso próprio  $q = 0,05\text{kN/m}^2$ , não apresentam absorção de água, e estão assentadas sobre terças de madeira espaçadas em 1,73m.

### 6.2.1 Dimensionamento das terças

Para uma terça de seção 6,0 x 12,0cm onde a ação variável é uma carga concentrada de 1,0 kN aplicada no meio do vão os resultados das verificações de ELU e ELS estão explicitados na Tabela 40. Em todos os casos obtém-se aceitação considerando os seguintes valores para as ações permanentes:

- peso próprio da terça de 0,0684 kN/m;
- peso próprio das telhas de 0,087 kN/m.

Tabela 40 - Verificação do ELU e ELS

ELU	Condição de segurança em relação às tensões normais	Eq.1	$0,792 \leq 1,00$
		Eq.2	$0,647 \leq 1,00$
ELU	Condição de segurança em relação às tensões cisalhantes ( $\tau_d \leq f_{vd}$ )	Eixo x	$0,02 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$
		Eixo y	$0,005 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,15 \text{ kN/cm}^2$
Eq. da Estabilidade (Eq. 3)		$46,67 \leq 77,6$	
ELS	Flecha máxima admissível $\delta_{i,lim} \leq \delta_{i,x}$ ou $\delta_{i,y}$	$\delta_{i,lim} = 1,4 \text{ cm}$	
		$\delta_{i,x} = 0,276 \text{ cm}$	
		$\delta_{i,y} = 0,296 \text{ cm}$	

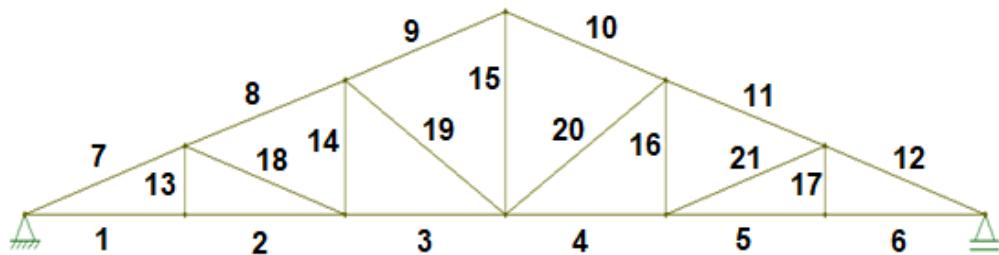
### 6.2.2 Dimensionamento da treliça

A treliça *Howe* tem suas barras numeradas conforme a Figura 58 e é composta pelos seguintes elementos:

- banzo inferior (barras 1 a 6) com seção de 6x12cm;

- banzo superior (barras 7 a 12) com seção de 6x16cm;
- montante (barras 13 a 17) com seção de 6 x 8cm;
- diagonal (barras 18 a 21) com seção de 6 x 8cm.

Figura 58 – Numeração das barras



As tabelas 41 e 42 apresentam, respectivamente, as propriedades geométricas das barras da treliça e os carregamentos permanentes considerados no dimensionamento. Para os elementos de ligação é um adotado um valor de 0,003 kN/m<sup>2</sup> conforme estabelece Calil Júnior (2010, p.50). Já para as ações variáveis foram utilizadas cargas de 1,0kN descarregadas pelas terças nos nós do banzo superior e as ações devidas ao vento obtidas conforme a NBR 6123:1988. Considerando o caso mais crítico para sobrepressão e sucção obteve-se, respectivamente,  $F_{sb,k} = 0,147\text{kN}/\text{m}^2$  e  $F_{sc,k} = -0,519\text{kN}/\text{m}^2$

Tabela 41 – Propriedades geométricas

(continua)

Barra	L (cm)	b (cm)	h (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	$I_x$ (cm <sup>4</sup> )	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$I_{mín}$ (cm <sup>4</sup> )	$i_{mín}$ (cm)	$\lambda$
1	167	6	12	72	864	216	216	1,73	96
2	166,3	6	12	72	864	216	216	1,73	96
3	166,6	6	12	72	864	216	216	1,73	96
4	167	6	12	72	864	216	216	1,73	96
5	166	6	12	72	864	216	216	1,73	95
6	167	6	12	72	864	216	216	1,73	96
7	172,98	6	16	96	2048	288	288	1,73	99

(continuação)

8	172,26	6	16	96	2048	288	288	1,73	99
9	172,6	6	16	96	2048	288	288	1,73	99
10	172,9	6	16	96	2048	288	288	1,73	99
11	171,9	6	16	96	2048	288	288	1,73	99
12	172	6	16	96	2048	288	288	1,73	99
13	45	6	8	48	256	144	144	1,73	26
14	89,9	6	8	48	256	144	144	1,73	52
15	135	6	8	48	256	144	144	1,73	78
16	89,9	6	8	48	256	144	144	1,73	52
17	45	6	8	48	256	144	144	1,73	26
18	172,3	6	8	48	256	144	144	1,73	99
19	189,3	6	8	48	256	144	144	1,73	109
20	189,3	6	8	48	256	144	144	1,73	109
21	172	6	8	48	256	144	144	1,73	99

Tabela 42 – Ações permanentes na treliça

Ação	Carga distribuída	Ação nodal – nós intermed. do banzo superior	Ação nodal – nós extremos do banzo superior	Ação nodal – nós intermed. do banzo inferior	Ação nodal – nós extremos do banzo inferior
Telhas	0,05 kN/m <sup>2</sup>	0,242 kN	0,157 kN	--	--
Terça	0,0068 kN/m	0,192 kN	0,192 kN	--	--
Tesoura	0,0563 kN/m <sup>2</sup>	0,273 kN	0,136 kN	--	--
Elementos de ligação	0,0030 kN/m <sup>2</sup>	0,015 kN	0,007 kN	--	--
Forro	0,15 kN/m <sup>2</sup>	--	--	0,702 kN	0,351 kN
	$\Sigma$ Soma	0,722 kN	0,492 kN	0,702 kN	0,351 kN

A Tabela 43 mostra os esforços nas barras da treliça devidos às ações permanentes e variáveis obtidos com auxílio do software *Ftool*. Os esforços máximos de projeto para o ELU são determinados a partir das seguintes combinações ultimas normais:

$$N_{d1} = \gamma_g x N_{g,k} + \gamma_q x N_{q,k} = 1,4x N_{g,k} + 1,4x N_{q,k}$$

$$N_{d2} = \gamma_g x N_{g,k} + 0,75x\gamma_q x N_{sb,k} = 1,4x N_{g,k} + 0,75x1,4x N_{sb,k}$$

$$N_{d3} = \gamma_g x N_{g,k} + 0,75x\gamma_q x N_{sc,k} = 0,9x N_{g,k} + 0,75x1,4x N_{sc,k}$$

Tabela 43 – Esforços nas barras da treliça

Barra	Ações Permanentes $N_{g,k}$ (kN)	Sobrecarga de serviço $N_{q,k}$ (kN)	Sobrepressão devida ao vento $N_{sb,k}$ (kN)	Sucção devida ao vento $N_{sc,k}$ (kN)	$N_{d1}$ (kN)	$N_{d2}$ (kN)	$N_{d3}$ (kN)
1	12,00	8,75	5,93	-20,93	29,05	23,03	-11,18
2	12,12	8,76	5,94	-20,94	29,23	23,21	-11,08
3	10,43	7,37	4,88	-17,24	24,92	19,73	-8,72
4	10,43	7,37	4,88	-17,24	24,92	19,73	-8,72
5	12,12	8,76	5,94	-20,94	29,23	23,21	-11,08
6	12,00	8,75	5,93	-20,93	29,05	23,03	-11,18
7	-12,49	-9,09	-6,26	22,09	-30,21	-24,06	11,95
8	-10,87	-7,65	-5,36	18,91	-25,93	-20,85	10,07
9	-8,22	-5,77	-4,17	14,71	-19,59	-15,89	8,05
10	-8,22	-5,77	-4,17	14,71	-19,59	-15,89	8,05
11	-10,87	-7,65	-5,36	18,91	-25,93	-20,85	10,07
12	-12,49	-9,09	-6,26	22,09	-30,21	-24,06	11,95
13	0,51	-0,03	-0,02	0,09	0,67	0,69	0,55
14	1,21	0,38	0,29	-1,02	2,23	2,00	0,02
15	3,43	1,93	1,43	-5,04	7,50	6,30	-2,21
16	1,21	0,38	0,29	-1,02	2,23	2,00	0,02
17	0,51	-0,03	-0,02	0,09	0,67	0,69	0,55
18	-1,65	-1,4	-1,06	3,73	-4,27	-3,42	2,43
19	-2,81	-2,02	-1,49	5,28	-6,76	-5,50	3,02
20	-2,81	-2,02	-1,49	5,28	-6,76	-5,50	3,02
21	-1,65	-1,4	-1,06	3,73	-4,27	-3,42	2,43

Para fins de dimensionamento considera-se a barra que gerou o máximo esforço em: banzo inferior, banzo superior, montante e diagonal (Tabela 44).

Tabela 44 - Esforços máximos de projeto

	Tração		Compressão	
	Máxima	Barra	Máxima	Barra
Banzo Inferior	29,23 kN	2	-11,18 kN	1
Banzo Superior	11,95 kN	7	-30,21 kN	7
Montante	7,50 kN	15	-2,21 kN	15
Diagonal	3,02 kN	19	-6,76 kN	19

As condições de segurança e estabilidade para o ELU de barras tracionadas e comprimidas são verificadas de forma análoga ao apresentado nos itens 6.1.4.1 e 6.1.4.2 deste trabalho, respectivamente. Neste caso, são atendidas todas as verificações conforme pode-se observar nas tabelas 45 e 46. O ELS também é atendido pois  $\delta_{i,util} = 1,034\text{ cm}$  não supera  $\delta_{i,lim} = 5,0\text{ cm}$ .

Tabela 45 - Verificação das barras tracionadas

	$N_d$ (kN)	$A_G$ (cm <sup>2</sup> )	$A_n$ (cm <sup>2</sup> )	Segurança $\sigma_{td} \leq f_{td}$	Estabilidade $L_0 \leq 50.b$
Banzo Inferior	29,23	72	50,4	$0,58\text{ kN/cm}^2 \leq 2,15\text{ kN/cm}^2$	$167,00\text{ cm} \leq 300,0\text{ cm}$
Banzo Superior	11,95	96	67,2	$0,18\text{ kN/cm}^2 \leq 2,15\text{ kN/cm}^2$	$172,98\text{ cm} \leq 300,0\text{ cm}$
Montante	7,50	48	33,6	$0,22\text{ kN/cm}^2 \leq 2,15\text{ kN/cm}^2$	$135,00\text{ cm} \leq 300,0\text{ cm}$
Diagonal	3,02	48	33,6	$0,09\text{ kN/cm}^2 \leq 2,15\text{ kN/cm}^2$	$189,30\text{ cm} \leq 300,0\text{ cm}$

Tabela 46 - Verificação das barras comprimidas

	$F_e$ (kN)	$e_d$ (cm)	$M_d$ (kNcm)	$\sigma_{M,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{N,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	Verificação da segurança (Eq. 6)	Verificação da estabilidade (Eq. 7)
Banzo Inferior	44,16	2,37	26,50	0,37	0,16	$0,278 \leq 1$	$0,377 < 1$
Banzo Superior	54,88	3,16	95,36	0,99	0,31	$0,767 \leq 1$	$0,942 < 1$
Montante	45,05	0,68	1,51	0,03	0,046	$0,024 \leq 1$	$0,055 \leq 1$
Diagonal	22,91	1,34	9,03	0,19	0,141	$0,146 \leq 1$	$0,237 \leq 1$

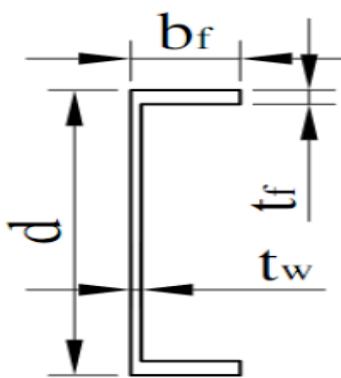
### 6.3 DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE AÇO PARA UM TELHADO COM TELHA METÁLICA TERMO-ACÚSTICA

Para o telhado composto por telhas metálicas termo-acústicas (item 6.2) substitui-se, agora, o sistema estrutural de madeira por uma estrutura de aço galvanizado que compartilha a mesma conformação geométrica. As peças dessa estrutura são constituídas por perfis "U" laminados em aço MR250, dimensionados de acordo com a NBR 8800:2008, que possui as seguintes propriedades mecânicas:  $f_y = 25\text{ kN/cm}^2$ ,  $f_u = 40\text{ kN/cm}^2$ ,  $E = 20000\text{ kN/cm}^2$ ,  $\rho_{esp} = 78,5\text{ kN/m}^3$ .

### 6.3.1 Dimensionamento das terças

Observando-se os critérios de economia e resistência foi selecionado o perfil "U" laminado 76,2 x 6,1 (Figura 59) cujas propriedades geométricas estão descritas na Tabela 47.

Figura 59 - Perfil "U" laminado



Fonte: Arruda, 2008 (adaptado).

Tabela 47 - Propriedades geométricas do perfil "U" laminado

Peso	6,1 kg/m	$X_c$	1,17 mm	$I_y$	8,2 cm <sup>4</sup>
$d$	76,2 mm	A	7,81 cm <sup>2</sup>	$W_y$	3,31 cm <sup>3</sup>
$b_f$	35,8 mm	$I_x$	69,1 cm <sup>4</sup>	$r_y$	1,03 cm
$t_f$	6,93 mm	$W_x$	18 cm <sup>3</sup>	$Z_y$	7,49 cm <sup>3</sup>
$t_w$	4,32 mm	$r_x$	2,97 cm	$J$	0,96 cm <sup>4</sup>
$X_g$	1,11 cm	$Z_x$	21,4 cm <sup>3</sup>	$C_w$	57,6 cm <sup>6</sup>

Fonte: Arruda, 2008 (adaptado).

A Tabela 48 faz o resumo das ações e dos esforços presentes na terça. Neste caso, admitiu-se como ações variáveis, uma carga concentrada  $F_{q,k} = 1,0\text{kN}$  aplicada no meio do vão e as ações devidas ao vento  $F_{sb,k} = 0,147\text{kN/m}^2$  e  $F_{sc,k} = -0,519\text{kN/m}^2$  para sobrepressão e sucção, respectivamente.

Tabela 48 – Ações e esforços na terça na terça de aço.

	Ação		Momento Fletor		Esforço Cortante	
	$F_{k,x}$	$F_{k,y}$	$M_{k,x}$	$M_{k,y}$	$V_{k,x}$	$V_{k,y}$
Permanentes	0,56 kN/m	0,15 kN/m	0,549 kNm	0,147 kNm	0,784 kN	0,210 kN
Sobrecarga	0,966 kN	0,259 kN	0,676 kNm	0,181 kNm	0,483 kN	0,129 kN
Vento (sobrepressão)	0,254 kN/m	--	0,249 kNm	--	0,356 kN	--
Vento (sucção)	0,898 kN/m	--	0,879 kNm	--	1,257 kN	--

Os esforços máximos de projeto (Tabela 49) para o ELU são determinados levando-se em consideração as três combinações últimas normais subsequentes:

$$F_{d1} = \gamma_g x F_{gk} + \gamma_{q1} x F_{q,k} + \gamma_{qj} x \psi_{0j} F_{sb,k} = 1,5 x F_{gk} + 1,5 x F_{q,k} + 1,4 x 0,6 x F_{sb,k}$$

$$F_{d2} = \gamma_g x F_{gk} + \gamma_{q1} x F_{sb,k} + \gamma_{qj} x \psi_{0j} F_{q,k} = 1,5 x F_{gk} + 1,4 x F_{sb,k} + 1,5 x 0,5 x F_{q,k}$$

$$F_{d3} = \gamma_g x F_{g,k} + \gamma_{q1} x F_{sc,k} = 1,0 x F_{g,k} + 1,4 x F_{sc,k}$$

Tabela 49 - Esforços máximos de projeto na terça de aço

	Eixo x		Eixo y	
	$M_{sdx}$ (kNm)	$V_{sdx}$ (kN)	$M_{sdy}$ (kNm)	$V_{sdy}$ (kN)
Combinação $F_{d1}$	2,047	2,200	0,492	0,509
Combinação $F_{d2}$	1,679	2,037	0,356	0,412
Combinação $F_{d3}$	-0,682	-0,975	0,147	0,210
Esforço máximo de projeto	2,047	2,200	0,492	0,509

#### 6.3.1.1 Verificação dos estados limites últimos e de serviço.

Os estados limites último e de serviço atendem a todos os critérios estabelecidos na Tabela 50 para os eixos de maior e menor inércia da seção.

Tabela 50 - Critérios de dimensionamento para perfil em aço laminado

ELU	Eixo de Maior Inércia (Eixo x)	Resultados
	Flambagem Lateral da Mesa (FLM)	$M_{rd} = 4,864 \text{ kNm} > Msdx = 2,047 \text{ kNm}$
	Flambagem Lateral da Alma (FLA)	$M_{rd} = 4,864 \text{ kNm} > Msdx = 2,047 \text{ kNm}$
	Flambagem Lateral com Torção (FLT)	$M_{rd} = 4,811 \text{ kNm} > Msdx = 2,047 \text{ kNm}$
	Resistência ao cisalhamento	$V_{rd} = 44,89 \text{ kN} > Vsdx = 2,200 \text{ kN}$
ELS	Flecha máxima admissível	$\delta_i = 0,4203 \text{ cm} < \delta_{max} = 1,56 \text{ cm}$
ELU	Eixo de Menor Inércia (Eixo y)	Resultados
	Flambagem Lateral da Mesa (FLM)	$M_{rd} = 1,702 \text{ kNm} > Msdy = 0,492 \text{ kNm}$
	Flambagem Lateral da Alma (FLA)	$M_{rd} = 1,702 \text{ kNm} > Msdy = 0,492 \text{ kNm}$
	Resistência ao cisalhamento	$V_{rd} = 67,66 \text{ kN} > Vsdy = 0,509 \text{ kN}$
ELS	Flecha máxima admissível	$\delta_i = 0,949 \text{ cm} < \delta_{max} = 1,56 \text{ cm}$

### 6.3.2 Dimensionamento da treliça

A treliça de aço tem as barras do banzo superior e banzo inferior em perfil “U” laminado 101,6 x 8,04 e as barras dos montantes e diagonais em perfil “U” laminado 76,2 x 6,1. (Tabela 51).

Tabela 51 - Propriedades geométricas dos perfis em aço laminado utilizados na treliça.

“U” Laminado 4” 101,6 x 8,04		“U” Laminado 3” 76,2 x 6,1	
peso	8,04 kg/m	peso	6,1 kg/m
$d$	101,6 mm	$d$	76,2 mm
$b_f$	40,23 mm	$b_f$	35,81 mm
$t_f$	7,52 mm	$t_f$	6,93 mm
$t_w$	4,67 mm	$t_w$	4,32 mm
$X_g$	1,16 cm	$X_g$	1,11 cm
A	10,10 $\text{cm}^2$	A	7,78 $\text{cm}^2$
$I_X$	159,50 $\text{cm}^4$	$I_X$	68,9 $\text{cm}^4$
$W_X$	31,40 $\text{cm}^3$	$W_X$	18,1 $\text{cm}^3$
$r_X$	3,97 cm	$r_X$	2,98 cm
$I_Y$	13,10 $\text{cm}^4$	$I_Y$	8,2 $\text{cm}^4$
$W_Y$	4,61 $\text{cm}^3$	$W_Y$	3,32 $\text{cm}^3$
$r_Y$	1,14 cm	$r_Y$	1,03 cm

Fonte: Gerdau,2017 (adaptado).

A Tabela 52 apresenta os valores das ações permanentes consideradas no dimensionamento. Para os elementos de ligação é um adotado um valor de 0,003 kN/m<sup>2</sup> conforme estabelece Calil Júnior (2010, p.50). Além disso, considera-se uma sobrecarga de 0,25 kN/m<sup>2</sup> em projeção horizontal, estabelecida pela NBR 8800:2008, admitindo-se que tal ação englobe os carregamentos decorrentes de instalações elétricas, hidráulicas e isolamentos termo-acústicos. Como ações variáveis foram utilizadas as ações de 1,0kN descarregadas pelas terças nos nós do banzo superior e as ações devidas ao vento  $F_{sb,k} = 0,147\text{ kN/m}^2$  e  $F_{sc,k} = -0,519\text{ kN/m}^2$  para o caso mais crítico de sobrepressão e sucção, respectivamente.

Tabela 52 – Ações permanentes na treliça de aço

Ação	Carga distribuída	Ação nodal – nós intermed. do banzo superior	Ação nodal – nós extremos do banzo superior	Ação nodal – nós intermed. do banzo inferior	Ação nodal – nós extremos do banzo inferior
Telhas	0,05 kN/m <sup>2</sup>	0,242 kN	0,157 kN	--	--
Terça	0,061 kN/m	0,1708 kN	0,1708 kN	--	--
Tesoura	0,0830 kN/m <sup>2</sup>	0,402 kN	0,201 kN	--	--
Elementos de ligação	0,0030 kN/m <sup>2</sup>	0,015 kN	0,007 kN	--	--
Instalações hidráulicas, elétricas, isolamento, etc..	0,258 kN/m <sup>2</sup>	1,253 kN	0,627 kN		
Forro	0,15 kN/m <sup>2</sup>	--	--	0,702 kN	0,351 kN
	$\Sigma$ Soma	2,083 kN	1,163 kN	0,702 kN	0,351 kN

A Tabela 53 mostra os esforços nas barras da treliça devidos às ações permanentes e variáveis obtidos com auxílio do software *Ftool*. Os esforços máximos de projeto para o ELU são determinados a partir das seguintes combinações ultimas normais:

$$N_{d1} = \gamma_g x N_{g,k} + \gamma_q x N_{q,k} + \gamma_{qj} x \psi_{0j} x N_{sb,k} = 1,5xN_{g,k} + 1,5xN_{q,k} + 1,4x0,6xN_{sb,k}$$

$$N_{d2} = \gamma_g x N_{g,k} + \gamma_q x N_{sb,k} + \gamma_{qj} x \psi_{0j} x N_{q,k} = 1,5xN_{g,k} + 1,4xN_{sb,k} + 1,5x0,5xN_{q,k}$$

$$N_{d3} = \gamma_G x N_{g,k} + \gamma_q x N_{sc,k} = 1,0xN_{g,k} + 1,4xN_{sc,k}$$

Tabela 53 - Esforços nas barras da treliça

Barra	Ações Permanentes $N_{g,k}$ (kN)	Sobrecarga de serviço $N_{q,k}$ (kN)	Sobrepressão devida ao vento $N_{sb,k}$ (kN)	Succção devida ao vento $N_{sc,k}$ (kN)	$N_{d1}$ (kN)	$N_{d2}$ (kN)	$N_{d3}$ (kN)
1	24,31	8,75	5,93	-20,93	54,57	51,33	-4,99
2	24,33	8,76	5,94	-20,94	54,62	51,38	-4,99
3	20,56	7,37	4,88	-17,24	45,99	43,20	-3,58
4	20,56	7,37	4,88	-17,24	45,99	43,20	-3,58
5	24,33	8,76	5,94	-20,94	54,62	51,38	-4,99
6	24,31	8,75	5,93	-20,93	54,57	51,33	-4,99
7	-25,28	-9,09	-6,26	22,09	-56,81	-53,50	5,65
8	-21,31	-7,65	-5,36	18,91	-47,94	-45,21	5,16
9	-16,02	-5,77	-4,17	14,71	-36,19	-34,20	4,57
10	-16,02	-5,77	-4,17	14,71	-36,19	-34,20	4,57
11	-21,31	-7,65	-5,36	18,91	-47,94	-45,21	5,16
12	-25,28	-9,09	-6,26	22,09	-56,81	-53,50	5,65
13	0,62	-0,03	-0,02	0,09	0,87	0,88	0,75
14	1,88	0,38	0,29	-1,02	3,63	3,51	0,45
15	6,13	1,93	1,43	-5,04	13,29	12,64	-0,93
16	1,88	0,38	0,29	-1,02	3,63	3,51	0,45
17	0,62	-0,03	-0,02	0,09	0,87	0,88	0,75
18	-3,87	-1,4	-1,06	3,73	-8,80	-8,34	1,35
19	-5,76	-2,02	-1,49	5,28	-12,92	-12,24	1,63
20	-5,76	-2,02	-1,49	5,28	-12,92	-12,24	1,63
21	-3,89	-1,4	-1,06	3,73	-8,83	-8,37	1,33

Para fins de dimensionamento considera-se a barra que gerou o máximo esforço em: banzo inferior, banzo superior, montante e diagonal (Tabela 54).

Tabela 54 - Esforços máximos de projeto

	Tração Máxima		Compressão Máxima	
	Esforço	Barra	Esforço	Barra
Banzo Inferior	54,62 kN	2	-4,99 kN	1
Banzo Superior	5,65 kN	7	-56,81 kN	7
Montante	13,29 kN	15	-0,93 kN	15
Diagonal	1,63 kN	19	-12,92 kN	19

A Tabela 55 apresenta os resultados das verificações das barras comprimidas e tracionadas obtendo-se aceitação em todos os casos uma vez  $N_{rd} \geq N_{sd}$ . Para as barras tracionadas  $N_{rd}$  é o menor valor entre o modo de escoamento da seção bruta e o modo de ruptura da seção efetiva.

Tabela 55 – Verificação das barras comprimidas e tracionadas

	Barras comprimidas		Barras tracionadas		
	$N_{rd}$	$N_{sd}$	Escoamento da seção bruta	Ruptura da seção efetiva	$N_{sd}$
Banzo Inferior	73,47 kN	4,99 kN	229,55 kN	179,56 kN	54,62 kN
Banzo Superior	68,47 kN	56,81 kN	229,55 kN	179,56 kN	5,65 kN
Montante	70,60 kN	0,93 kN	176,82 kN	138,31 kN	13,29 kN
Diagonal	35,95 kN	12,92 kN	176,82 kN	138,81 kN	1,63 kN

#### 6.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As tabelas 56 e 57 apresentam, em resumo, as seções transversais das peças de madeira obtidas pelo cálculo estrutural e por indicações da prática para a trama e para as tesouras de madeira, respectivamente. Para este levantamento observou-se as seções que obtiveram a maior resistência no cálculo estrutural e as seções indicadas mais adaptáveis aos espaçamentos previstos no projeto.

Tabela 56 - Seções transversais obtidas via cálculo estrutural e indicadas pela prática para a trama.

	Telhado com telhas cerâmicas tipo romana				Telhado com telhas metálicas termo-acúst.			
	Dimensionamento		Indicações		Dimensionamento		Indicações	
	Seção (cm)	Espaçamento (m)	Seção (cm)	Espaçamento (m)	Seção (cm)	Espaçamento (m)	Seção (cm)	Espaçamento (m)
Ripa	5 x 2,5	0,36	5 x 2,5	0,36	--	--	--	--
Caibro	5 x 7	0,5	5 x 6	0,5	--	--	--	--
Terça	6 x 12	1,39	6 x 12	1,39	6 x 12	1,73	6x16	1,73

Tabela 57 - Seções transversais obtidas via cálculo estrutural e indicadas pela prática para a tesoura.

	Telhado com telhas cerâmicas tipo romana	Telhado com telhas metálicas termo-acústicas		
	Dimensionamento	Indicações	Dimensionamento	Indicações
Espaçamento da tesoura	2,0 m	2,0 m	2,8 m	2,8 m
Seção do Banzo Inferior	6 x 12 cm	6 x 18 cm	6 x 12 cm	6 x 18 cm
Seção do Banzo Superior	6 x 16 cm	6 x 20 cm	6 x 16 cm	6 x 20 cm
Seção do Montante	6 x 8 cm	6 x 18 cm	6 x 8 cm	6 x 18 cm
Seção da Diagonal	6 x 8 cm	6 x 12 cm	6 x 8 cm	6 x 12 cm
Consumo total de madeira incluindo a trama	0,0304 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,0345 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,01148 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,0161 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>

Para a trama observa-se que os valores indicados pela prática se aproximam mais daqueles obtidos via dimensionamento quando é considerado um telhado composto por telhas cerâmicas. A exceção ocorre apenas no caso dos caibros de seção 5,0 x 7,0cm dimensionados para resistir a uma carga concentrada de 1,0 kN aplicada no meio do vão. Já para a trama de telhas mais leves, como as metálicas, a seção da terça indicada pela prática gera superdimensionamento. Porém, em relação às tesouras, a diferença entre os valores é mais acentuada. Obtém-se uma redução no consumo de madeira de 11,88% para o telhado com telhas cerâmicas e de 28,70% para o caso da cobertura com telhas metálicas termo-acústicas.

Para os dois projetos análogos de aço e madeira dimensionados foram feitas, ainda, estimativas de custos com base na metodologia do SINAPI/Caixa. O Apêndice "A" deste trabalho apresenta a planilha orçamentária da qual determinou-se um valor total para cada telhado projetado:

- telhado composto por telhas metálicas e estrutura de madeira R\$ 13.730,04;
- telhado composto por telhas metálicas e estrutura metálica R\$ 16.279,60.

Em comparativo, o telhado com estrutura de aço galvanizado apresentou um custo estimado 18,57% mais caro em relação ao mesmo elemento de madeira. A diferença, no entanto, foi puxada pelo preço do material mais elevado do aço em relação à madeira.

## 7 CONCLUSÃO

A partir das observações feitas neste trabalho é possível constatar que os bons resultados em projeto e execução de telhados passam pela análise de uma grande gama de informações. Antes de tudo, é preciso ter critérios para selecionar os materiais e, além disso, conhecer as características dos mesmos. As telhas de pequenas dimensões, como as cerâmicas e de concreto, mostraram-se como elementos que exigem grandes inclinações para o escoamento das águas uma vez que são mais porosas e de superfície rugosa. Elas são melhores para telhados com vários recortes cuja estética seja importante e, como são pesadas, normalmente não ocorre a inversão dos esforços nas tesouras devido a ação ascensional do vento. Já as telhas maiores como as metálicas, plásticas e de fibrocimento são, por outro lado, menos permeáveis e exigem telhados com inclinações menores sendo utilizadas, geralmente, quando se pretende executar coberturas leves e de fácil instalação. Porém, essas características fazem com que ocorra a inversão de esforços nas tesouras e a formação de gotículas na face interna devido a diferença de temperatura.

Além disso, deve-se ter em mente que o mercado de coberturas está em constante evolução podendo introduzir novos produtos, melhorar as características dos materiais já consolidados e reduzir custos. Na hora da escolha dos materiais convém não analisar apenas o custo inicial de cada solução, mas levar em consideração outros fatores como o conforto ao usuário, estética, durabilidade, resistência, valor da mão-de-obra e o custo global associado às manutenções. Todos esses fatores devem estar de acordo, ainda, com o padrão exigido pela edificação. No território brasileiro o conforto térmico relacionado aos climas quentes é de fundamental importância para as coberturas. De maneira geral, os telhados necessitam de forros. Mas podem haver outras soluções caso não seja atendido o conforto térmico ideal tais como subcoberturas, telhas de ventilação, painéis sanduíche, pé-direitos elevados ou beirais grandes. As telhas *shingle*, apesar de esquentarem muito com a insolação de climas tropicais, podem ter capacidade de se adaptar ao mercado brasileiro na medida em que é utilizado o seu sistema completo com subcoberturas, forros e ventilação adequada.

A instalação das telhas é outro processo que exige cuidado. Como varia muito de acordo com o tipo de material utilizado é necessário que se faça consulta aos

manuais dos fabricantes. A consulta serve também para colher informações do material e nortear uma possível escolha. De maneira geral, as telhas de pequenas dimensões exigem detalhes mais complexos, costumam ter execução mais complicada e, por isso, requerem mais atenção para que se evite problemas relacionados à execução. Ademais, não se deve esquecer dos acabamentos dos telhados, dos elementos pluviais e da fixação e apoio adequados da estrutura principal na edificação para um bom resultado.

No que se refere às estruturas dos telhados, compostas tradicionalmente por uma trama e tesouras de madeira contraventadas, deve-se avaliar, também, a possibilidade da utilização de oitões ou pontaletes que gerem economia ao sistema. E, na necessidade da união das peças de madeira, selecionar a ligação com base no esforço de tração ou compressão presente tomando-se cuidado com as ações do vento que invertem esforços nas barras, com os comprimentos de flambagem bem como na necessidade de contraventamentos para resistir às ações não contidas no plano das tesouras.

A madeira serrada, ainda, exige atenção na hora da compra pois nem sempre é possível encontrar no mercado as peças em condição ideal. Além disso, ela apresenta uma série de problemas, não só inerentes a ela, mas também do processo de fabricação deixando margem para avaliar o potencial do uso de MLC, de estruturas de madeira pré-fabricadas ou do aço em substituição à madeira. As estruturas metálicas mostram-se competitivas do ponto de vista econômico quando há quedas no preço do aço e elevação no custo das madeiras de qualidade. Ademais, o aço apresenta diversas vantagens em relação à madeira como o fato de ser mais resistente, durável e não estar sujeito a ataques de fungos e cupins o que torna promissor o seu uso em estruturas.

Em razão da exaustão da peroba-rosa e do pinho-do-paraná que vinham sendo costumeiramente utilizados para compor as estruturas dos telhados há uma tendência de mercado na utilização de madeiras de reflorestamento. A espécie *Eucalyptus Citriodora*, apontada como possível alternativa à peroba-rosa, mostrou-se eficiente em resistência mecânica devendo-se apenas tomar cuidado para não a adquirir com umidade elevada visto que possui uma tendência ao empenamento durante a secagem. Já os pinus, mais estáveis a variações dimensionais, também apresentam

relativa resistência dependendo da espécie, embora sejam mais vulneráveis a ataques biológicos.

Em relação às seções indicadas pela prática, observa-se uma melhor correlação com aquelas que foram obtidas pelo dimensionamento para a trama de telhados com telhas cerâmicas podendo-se, de maneira geral, serem utilizadas sem recorrer a verificações técnicas. Entretanto, deve-se tomar cuidado pois as indicações são muito limitadas servindo apenas para madeiras serradas cuja espécie tem resistência da ordem da peroba-rosa, para seções transversais comuns, as quais nem sempre são encontradas no mercado, e telhados fabricados com telhas cerâmicas. Além disso, a madeira tem muitas características que interferem nas suas propriedades que só são levadas em consideração na verificação estrutural tal como a umidade e a presença de defeitos. Da mesma maneira deve-se ter em mente que algumas das seções indicadas não resistem à ação concentrada de 1,0 kN aplicada no meio do vão e sim a uma distribuição equivalente da carga. Isso significa que os montadores do telhado não devem suspender seu peso nesta região, mas distribuí-lo na hora da montagem ou aplica-lo em regiões mais resistentes através de tábuas ou outros dispositivos. O dimensionamento das tesouras, por outro lado, gera vantagens econômicas em todos os casos uma vez que é possível reduzir o volume de madeira em relação às seções indicadas principalmente em coberturas mais leves.

## REFERÊNCIAS

ABCEM. **Manual técnico – telhas de aço.** São Paulo, 2009

AGIFORTE. **Informações técnicas telhas cerâmicas Agiforte.** Disponível em <<http://www.argiforte.com.br/site/images/info-tec.pdf>> Acessado em 12 de junho de 2018. Conchas, SP.

ALVES, T. **Em madeira ou estrutura metálica.** Jornal da Comunidade. Disponível em <<http://comunidade.maiscomunidade.com/conteudo/2014-06-07/imoveis/9468/EM-MADEIRA-OU-ESTRUTURA-METALICA.pnhtml>> Acessado em 9 de novembro de 2017. [s.l.], 2014.

ARRUDA, A.S.S. **Utilização do método plástico no dimensionamento de estruturas metálicas.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual de Feira de Santana. Departamento de Tecnologia. Curso de Engenharia Civil. Feira de Santana, BA, 2008.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 15220 – Desempenho térmico de edificações.** Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 15575 - Edificações habitacionais - desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

AZEREDO, H.A. **O edifício até sua cobertura.** 2ª Edição revisada. Edgard Blücher. São Paulo, 1997.

BUBNIAK, T. **Telha “gringa” traz vantagens.** Gazeta do Povo. Disponível em <<https://www.gazetadopovo.com.br/imoveis/telha-gringa-traz-vantagens-3sg7gqbbn5mjh3omt51cqrj2m>> Acessado em 22 de setembro de 2016. Curitiba, 2013.

BRASILIT. **Catálogo técnico telha ondulada Brasilit.** [s.l.], 2010a.

BRASILIT. **Telha Shingle Brasilit.** [s.l.], 2010b.

**BRASILIT. Guia técnico de telhas de fibrocimento e acessórios para telhado.** Catálogo. São Paulo, 2014.

CARDOSO, F.F. **Coberturas em telhados** - notas de aula. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo,2000.

CARMO, J. **Cobertura e Telhado.** Slides. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Disponível em < <https://docente.ifrn.edu.br/joaocarmo/disciplinas/aulas/projeto-arquitetonico/cobertura-e-telhado>> Acessado em 29 de setembro de 2016. Natal, RN.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Catálogo de Composições Analíticas.** Brasília, 2018a.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Preço das Composições para o Estado do Rio Grande do Sul de junho de 2018 não desonerado.** Brasília, 2018b.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Preço dos Insumos para o Estado do Rio Grande do Sul de junho de 2018 não desonerado.** Brasília, 2018c.

CALIL JÚNIOR, C.;et al. SET 406 – **Estruturas de madeira.** Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. São Carlos,SP, 1998.

CALIL JÚNIOR, C.; MOLINA, J.C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo.** Editora Pini. Ed. 1. São Paulo,2010.

CICHINELLI, G. **Instalação de telhas de PVC.** Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/215/artigo338546-1.aspx>> Acessado em 17 de agosto de 2017. São Paulo,2015.

CONSTRUÇÃO MERCADO. **Telhas de concreto x Telhas cerâmicas.** Disponível em < <http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/127/artigo299706-1.aspx>> Acessado em 4 de dezembro de 2017. São Paulo,2012.

CORBIN, R.L. **Hot weather considerations for asphalt shingles.** EUA, 2005.

CONSTRUINDO DECOR. **Cobertura de vidro:** vantagens e desvantagens. Disponível em < <http://construindodecor.com.br/cobertura-de-vidro-vantagens-e-desvantagens/>> Acessado em 21 de setembro de 2016a. [s.l.].

CONSTRUINDO DECOR. **Telhas plásticas de PVC** – vantagens, preço e instalação. Disponível em < <http://construindodecor.com.br/telhas-plasticas-de-pvc-vantagens-preco-e-instalacao/>> Acessado em 21 de setembro de 2016b. [s.l.].

**CONSTRUINDO DECOR. *Tudo sobre telhas de fibrocimento.*** Disponível em <<http://construindodecor.com.br/tudo-sobre-telhas-de-fibrocimento/>> Acessado em 11 de setembro de 2016c. [s.l.].

**CONSTRUINDO DECOR. *Telhas esmaltadas*** – preços modelos e marcas. Disponível em <<http://construindodecor.com.br/telhas-esmaltadas-precos-modelos-e-marcas/>> Acessado em 12 de junho de 2018. [s.l.].

**CORSINI, R. *Sistemas de coberturas.*** Revista Construção Mercado. Disponível em <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/145/sistemas-de-coberturas-quinta-parte-da-norma-de-desempenho-293399-1.aspx>> Acessado em 29 de setembro de 2016. São Paulo, 2013.

**DUMAX. *Catálogo digital Dumax Brasil.*** Disponível em <<http://www.dumaxbrasil.com.br/downloads>> Acessado em 29 de setembro de 2016. São Paulo, 2016.

**ECOGREEN. *Telhas shingle.*** Disponível em <<http://www.ecogreen.com.br/produtos/telha-shingle>> Acessado em 22 de setembro de 2016. Recife, PE, 2016.

**ECOTRAT. Madeiras rólicas.** Disponível em <<http://www.ecotrat.com.br/produtos/madeiras-rolicas>> Acessado em 28 de junho de 2018. Aurora, SC.

**ESTADÃO. *Telhado bonito, confortável e sem goteira.*** O estado de São Paulo. Construção. São Paulo, 2010.

**EUCATRATUS. Madeira serrada.** Disponível em <<http://eucatratus.com.br/madeiraserrada>> Acessado em 28 de junho de 2018. Caxambu, MG.

**FERREIRA, R. *Telhas Termoisolantes.*** Disponível em <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/46/telhas-termoisolantes-composta-por-chapas-metalicas-e-isolantes-cobertura-254312-1.aspx>> Acessado em. Equipe de obra. Editora Pini. São Paulo, 2011.

**GALVAMINAS. *Estrutura de aço ou madeira.*** Disponível em <<http://www.galvaminas.com.br/blog/estrutura-de-aco-ou-madeira/>> Acessado em 06 de novembro de 2017. Belo Horizonte, 2017.

**GERDAU. *Perfil I e U Gerdau.*** Disponível em <<https://www.gerdau.com.br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/barras-e-perfis-lamina-perfil-i-e-u.pdf>>. Acessado em 01 de dezembro de 2017. Porto Alegre, 2017.

**GONZAGA, A.L. *Madeira: Uso e Conservação.*** Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Brasília, 2006.

**IPT. *Informações sobre madeiras.*** Disponível em <[https://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=25](https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=25)> Acessado em 20 de novembro de 2017. São Paulo, 1989.

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

LP BRASIL. **Catálogo Telha Shingle.** Curitiba,2010.

MARTINS, O. **Estudo das ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, SP, 2007.

MELO, J.E. **Sistemas estruturais em madeira.** Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Departamento de Tecnologia. Brasília, 2013.

MELO, M.M.; LANNA; C.A.F. **Telhas Cerâmicas.** Como Construir. Téchne. São Paulo,2002.

MEIRELLES, C.R.; PALA, A. **Apostila: processo construtivo em madeira.** Universidade Presbiteriana Mackenzie. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2010

MILITO, J.A. **Técnicas de construção civil e construção de edifícios – anotações de aula.** [Sorocaba], 2004.

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

MONTENEGRO, G.A. **Ventilação e cobertas – estudo teórico, histórico e descontraído.** Ed. Edgard Blücher. São Paulo,1984

NAKAMURA, J.; FIGUEROLA, V. **Conheça as principais tipos de telhas metálicas e suas aplicações.** Revista Arquitetura e Urbanismo. Disponível em <<http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/215/conheca-as-principais-tipos-de-telhasmetasicas-e-suas-aplicacoes-250179-1.aspx>>. Acessado em 21 de setembro de 2016. São Paulo,2011.

NAKAMURA, J. **Telhado de Policarbonato:** Material molda-se com facilidade e possui boa resistência para cobrir garagens, jardins de inverno, gazebos e outra áreas externas. Disponível em <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/23/cobertura-telhado-de-policarbonato-139199-1.aspx>>. Acessado em 18 de agosto de 2017. São Paulo,2009.

NIVAL COBERTURAS. **Telhas de concreto Eurotop.** Disponível em <<http://www.nivalcoberturas.com.br/telhas-de-concreto-eurotop-em-sp-rio-claro.html>> Acessado em 12 de setembro de 2016. Rio Claro, SP, 2016.

NUCADA, L. **Telhado residencial com segurança.** Gazeta do Povo. Disponível em <<http://wwwgazetadopovo.com.br/haus/arquitetura/telhado-residencial-com-seguranca>> Acessado em 16 de novembro de 2017. Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, V.N. Et al. **Adequação às normas e qualidade da madeira serrada para fins estruturais comercializada no distrito federal.** Brasília, 2007.

PÁDUA, M. **Telhado: Estrutura e composição do plano de águas.** Disponível em <<http://profmarcopadua.net/telhado4.pdf>> Acessado em 11 de dezembro de 2017. [s.l.]; 2017.

PEZENTE, J.H. **Materiais: telhas.** Disponível <<http://www.escolher-e-construir.eng.br/materiais/telhas/Ceresmal/pag1.htm>> Acessado em 22 de setembro de 2016. [s.l.],[2016?].

PFEIL, W.; PFEIL,M. **Estruturas de Madeira.** 6<sup>a</sup> edição. Editora LTC. Rio de Janeiro,2003.

PFEIL, W.; PFEIL,M. **Estruturas de Aço.** Dimensionamento prático de acordo com NBR 8800:2008. 6<sup>a</sup> edição. Editora LTC. Rio de Janeiro,2009.

PINI. **Execução de telhados com telhas de alumínio.** Editora Pini. Disponível em <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negócios-incorporação-construcao/104/artigo299331-1.aspx>> Acessado 21 de setembro de 2016. São Paulo,2010.

PORAMILAME. Madeira lamenlada colada MLC. Disponível em <<https://www.portilame.com.pt/5-materiais/3-madeira-lamela-colada-mlc/>> Acessado em 28 de junho de 2018. Viana do Castelo, Portugal.

PRECON. **Manual técnico: Telha de PVC PreconVC.** Disponível em <[http://precon.com.br/portal/wp-content/uploads/2017/10/NP-017-17-2017-07-13-PRECON\\_MANUAL\\_baixa.pdf](http://precon.com.br/portal/wp-content/uploads/2017/10/NP-017-17-2017-07-13-PRECON_MANUAL_baixa.pdf)> Acessado em 8 de junho de 2018. Pedro Leopoldo, MG, 2017.

PRISMA. **Concreto, também no telhado.** Disponível em <<http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=25>> Acessado em 23 de setembro de 2016. [s.l.];[2013?]

REGIONAL TELHAS. **Informativo técnico. Sobrecargas admissíveis.** Disponível em <<http://www.regionaltelhas.Com.br/produto/1/telha-metalica>> Acessado em 14 de junho de 2018. Assis, SP.

REIS, P. **Como comprar estrutura de aço galvanizado para telhado.** Revista Construção Mercado. Editora Pini. Edição 99. Disponível em <<http://construcaomercado17.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/99/estrutura-de-acao-galvanizado-para-telhado-dimensionamento-adequado-e-299269-1.aspx>> Acessado em 11 de novembro de 2017. São Paulo,2009.

RIOFER. Telhas galvanizadas. Disponível em <<http://www.riofer.net/produto/Telhas-Galvanizadas-ferro-acao-rio-verde-go/9/>> Acessado em 18 de agosto de 2017. Rio Verde, GO.

RIPPER,E. **Telhas de cerâmica, características necessárias.** Disponível em <<http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/telhas-de-ceramica/>> Acessado em 11 de setembro de 2016. [s.l],[2016?].

RODRIGUES, E. **Técnicas das construções.** Estrutura da cobertura. Rio de Janeiro, p.180-185, 2006.

ROSSI,F. **Telhas cerâmicas:** tipos e características, passo a passo!. Disponível em <<https://pedreirao.com.br/telhas-ceramicas-tips-e-caracteristicas-passo-a-passa/>> Acessado em 10 de setembro de 2016.

ROSSI, A. **STF proíbe amianto no Brasil.** BBC Brasil. Disponível em <<https://www.terra.com.br/noticias/brasil/stf-proibe-amianto-no-brasil,1a0a4b9231eaeb2ee3aecc9a4e9f1a0c03r9yt49.html>> Acessado em 21 de maio de 2018. São Paulo,2017.

SANT'ANNA, J.P. **Telhas: Mercado nacional se rende ao PVC e deve gerar boas oportunidades de negócios.** Editora QD Itda. Disponível em <<http://www.plastico.com.br/telhas-mercado-nacional-se-rende-ao-pvc-e-deve-gerar-boas-oportunidades-de-negocios/>> Acessado em 17 de agosto de 2017. São Paulo, 2013.

SANT'ANNA, A. **Dossiê telhados: qual a telha mais vendida? Qual tem a melhor qualidade.** Disponível em <<https://casa.abril.com.br/materiais-construcao/dossie-telhados-qual-a-telha-mais-vendida-qual-tem-melhor-qualidade/>> Acessado em 8 de junho de 2018. São Paulo, 2014.

SILVA, M.C. de B. **Estruturas de Madeira.** 2010.

SÓ METAIS. **Telhas de Alumínio.** Disponível em <<http://www.sometais.com.br/telhas-aluminio>> Acessado em 21 de setembro de 2016. São Paulo,2016.

SOUZA, J. (Coord.). **Como comprar materiais e serviços para obras.** Editora Pini. São Paulo,2010.

SUDOESTE PAULISTA. **Telhados pré-fabricados em madeira tratada.** Disponível em <<http://www.madeiratratada.com.br/madeira-tratada/telhados-pre-fabricados/>>. Acessado em 09 de setembro de 2016. Itapeva, SP, [2016?].

SZÜCZ, C.A., Et al. **Estruturas de Madeira.** Versão 3. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2015.

SYERRA CONSTRUTURA. **Materiais: Telhas de concreto.** Disponível em <<http://syerraconstrutora.blogspot.com.br/2013/09/telhas-de-concreto.html>> Acessado em 11 de setembro de 2016. João Pessoa, PB, 2013.

TEGHOVIX. **Telha de concreto** ainda está associada a imóveis de alto padrão. Por que isso acontece? O produto é realmente caro?. Disponível em <[http://www.teghovix.com.br/noticias/90/A\\_telha\\_de\\_concreto\\_ainda\\_esta\\_associada\\_a\\_imoveis\\_de\\_alto\\_padrao\\_Por\\_que\\_isso\\_acontece\\_O\\_produto\\_e\\_realmente\\_mais\\_caro](http://www.teghovix.com.br/noticias/90/A_telha_de_concreto_ainda_esta_associada_a_imoveis_de_alto_padrao_Por_que_isso_acontece_O_produto_e_realmente_mais_caro)> Acessado em 11 de setembro de 2016. Serra, ES, 2014.

TELHADOS. **Tipos de telhas.** Disponível em <<http://www.telhados.srv.br/tipos-telhas/>> Acessado em 14 de setembro de 2016. [s.l.],2012.

TKM DISTRIBUIDORA. **Como funciona o sistema de ventilação das telhas Tc Shingle.** Disponível em <<http://www.tkmdistribuidora.com.br/novidades/309/como-funciona-o-sistema-de-ventilacao-das-telhas-tc-shingle>> Acessado em 25 de maio de 2018. Santa Rosa, RS.

THOMAZ E. et al. **Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telhas cerâmicas – manual de execução.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. São Paulo,1988.

TOP TELHA. **Catálogo técnico.** Telhados cerâmicos. Linha mediterrânea. Linha colonial. Leme, SP, 2015.

VENDRAMINI. **Qual tipo de estrutura devo utilizar na cobertura?** Metálica ou madeira. Disponível em <<https://vendraminiarquitetura.wordpress.com/2016/12/27/telhado-em-estrutura-metalica-e-melhor-que-madeira/>> Acessado em 9 de novembro de 2017. São Carlos, SP, 2016.

VITTORINO, F. Et. Al. **Determinação da transmitância térmica de cobertura de edificação composta por telhas “shingle” e forro horizontal de gesso acartonado.** Relatório Técnico 129 029-205. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2012.

ZENID, G.J. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** 2<sup>a</sup> ed. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo,2009.

YAZIGI, W. **A arte de edificar.** 10<sup>a</sup> ed. revisada e atualizada. Sindicato da Indústria e Construção Civil do Estado de São Paulo. Editora Pini. São Paulo,2009.

## APÊNDICE "A"

			Telhado composto por telhas metálicas termoacústicas e estrutura de madeira						
Fonte	Cód.	Classe	Quantid.	Unid.	Material	M.O.	Valor unitário		Valor Parcial
Sinapi	92543	Composição	140	M2	R\$ 11,41	R\$ 3,61	R\$ 1.597,40	R\$	505,40
Sinapi	92562	Composição	4	UN	R\$ 488,18	R\$ 857,28	R\$ 1.952,72	R\$	3.429,12
Sinapi	94213	Composição	140	M2	R\$ 36,07	R\$ 3,60	R\$ 5.049,80	R\$	504,00
Sinapi	55960	Composição	140	M2	R\$ 1,79	R\$ 3,15	R\$ 250,60	R\$	441,00
			<b>Valor Total</b>		<b>R\$ 13.730,04</b>				

*Fontes: Caixa Econômica Federal (2018a, 2018b, 2018c) - SINAPI 06/2018 RS - não desonerado*

			Telhado composto por telhas metálicas termoacústicas e estrutura de aço						
Fonte	Cód.	Classe	Quantid.	Unid.	Material	M.O.	Valor unitário		Valor Parcial
Sinapi	92580	Composição	140	M2	23,03	6,12	3.224,2		856,8
Sinapi	92616	Composição	4	UN	1334,82	326,38	5339,28		1305,52
Sinapi	94213	Composição	140	M2	36,07	3,6	5049,8		504
			<b>Valor Total</b>		<b>R\$ 16.279,60</b>				

*Fontes: Caixa Econômica Federal (2018a, 2018b, 2018c) - SINAPI 06/2018 RS - não desonerado*