

SAMBLADURAS EM TESOURAS DE MADEIRA TIPO HOWE

Renata Braga de Albuquerque

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS**

"SAMBLADURAS EM TESOURAS DE MADEIRA TIPO HOWE"

Renata Braga de Albuquerque

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Mestre em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Sebastião Salvador Real Pereira
DEES - UFMG - (Orientador)

Prof. Dr. Eduardo Chahud
DEES - UFMG (Co-orientador)

Prof. Dr. Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco
DEES - UFMG

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva
DEMC - UFMG

Belo Horizonte, 29 de agosto de 2006

*Aos meus pais, ao meu irmão Samuel
e ao meu marido Nelson, com carinho.*

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

A Deus;

A minha mãe e meu pai, pelo apoio sempre e compreensão;

Ao meu irmão Samuel, por todo apoio e colaboração;

Ao meu marido Nelson, pelo incentivo e dedicação;

A minha avó Ruth e meu tio Nando, pela ajuda sempre;

Aos professores Sebastião e Eduardo Chahud , por acreditarem no meu desempenho, e a todos os professores que contribuíram para a realização deste trabalho;

Aos funcionários do DEES, por toda cooperação;

A todos os meus colegas de curso, pela colaboração;

A Lumatec pela compreensão;

A todos os funcionários dos edifícios públicos vistoriados em Belo Horizonte (Arquivo Público, E. E. Afonso Pena, Instituto de Educação, Centro de Treinamento Fundação Cristiano Otoni, Automóvel Clube, Tribunal de Justiça, Batalhão do Corpo de Bombeiros, Igreja de Lourdes e Capela de Nossa Senhora do Rosário), pela disponibilidade;

Aos moradores das residências vistoriadas (Yara Restaurações, Residência na Pampulha) e ao Clube Recreativo Palmeiras, pela colaboração;

A paróquia de Nossa Senhora da Conceição em Ouro Preto, pela disponibilidade das vistorias nos telhados das igrejas;

E a todas as pessoas que de qualquer maneira me apoiaram e ajudaram a conseguir trilhar mais este passo em minha carreira.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FOTOS	vi
LISTA DE SÍMBOLOS E ÍNDICES	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA	3
2 TELHADOS EM ESTRUTURA DE MADEIRA	4
2.1 BREVE HISTÓRICO	4
2.2 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA DOS TELHADOS	11
2.2.1 Principais tipos de telhados	11
2.3 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DOS TELHADOS	16
2.3.1 Partes componentes dos telhados	16
2.3.1.1 Estrutura principal	17
A. Treliças	18
B. Tesouras	21
B.1 Tipos de Tesouras	22
B.1.1 Tesoura Howe	24
B.1.1.1 Origem da treliça Howe	25
2.3.1.2 Elementos de Contraventamento	28
3 LIGAÇÕES NAS ESTRUTURAS DE MADEIRA	31
3.1 SAMBLADURAS	32
3.2 SAMBLADURAS EM ESTRUTURAS COM TESOURAS TIPO HOWE	35
3.2.1 LIGAÇÃO 1: Banzo Inferior-Banzo Superior	37
3.2.2 LIGAÇÃO 2: Banzo Superior-Diagonal	39
3.2.3 LIGAÇÃO 3: Banzo Superior-Pontalete	41
3.2.4 LIGAÇÃO 4: Diagonal-Pontalete	43

3.2.5 LIGAÇÃO 5: Banzo inferior-Pontaleta	45
3.3 LIGAÇÕES COM RESPIGA E MECHA	47
4 DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES DOS TELHADOS VISTORIADOS	48
4.1 CÁLCULO DA ALTURA DO DENTE (e)	50
4.2 CÁLCULO DA FOLGA NECESSÁRIA AO CISALHAMENTO (f)	51
4.5 PARÂMETROS DA NBR 7190/97	53
5 FATORES DE INFLUÊNCIA NAS LIGAÇÕES	55
5.1 UMIDADE	55
5.1.1 UMIDADE X RESISTÊNCIA (PEÇAS ESTRUTURAIS E LIGAÇÕES)	61
5.1.2 UMIDADE X DENSIDADE	66
5.1.3 UMIDADE X TEMPERATURA	67
5.2 TIPO DE MADEIRA	68
5.3 INTEGRIDADE ESTRUTURAL	71
6 MATERIAIS E MÉTODOS	73
6.1 PESQUISA DE CAMPO	73
6.2 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES	75
7 RESULTADOS	76
7.1 RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO	76
7.1.1 Edificação 1: Arquivo Mineiro	76
7.1.2 Edificação 2: Residência em Santa Efigênia	80
7.1.3 Edificação 3: Escola Estadual Afonso Pena de Ensino Fundamental	83
7.1.4 Edificação 4: Instituto de Educação	86
7.1.5 Edificação 5: Residência Pampulha	89
7.1.6 Edificação 6: Centro de Treinamento Fundação Cristiano Otoni (EEUFMG)	92
7.1.7 Edificação 7: Automóvel Clube	95
7.1.8 Edificação 8: 1º BBM (Batalhão do Corpo de Bombeiros)	98
7.1.9 Edificação 9: Clube Recreativo Palmeiras	101
7.2 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES	104
7.2.1 Dimensionamento da altura do dente	104
7.2.2 Dimensionamento da folga necessária resistente ao cisalhamento	108
7.2.3 Dimensionamento do deslocamento do pontalete	110
7.2.4 Comparação dos resultados do Dimensionamento com as Vistorias	112
7.2.4.1 Altura do dente	112
7.2.4.2 Folga necessária ao cisalhamento	116
7.2.4.3 Deslocamento do pontalete	120
7.2.4.4 Comparação final dos resultados	122

8 CONCLUSÃO	123
REFERÊNCIAS	126
ANEXO A - GLOSSÁRIO DE TELHADOS	131
ANEXO B - TELHADOS COM ESTRUTURAS NÃO-CONVENCIONAIS	136

LISTA DE FIGURAS

1 – Cabana primitiva do abade Laugier	5
2 – Estrutura de madeira do telhado de um templo grego	6
3 – Elementos constituintes da fachada de um templo grego	6
4 – (Templo romano) Maison carrée de Nîmes, construída no ano de 16 a. C., com telhado de duas águas	7
5 – Catedral de Chartres, na França, com telhado de duas águas	8
6 – Catedral de Santa Maria del Fiore Florença, com telhado em cúpula	8
7 – Igreja de Il Gesù - Vignola y Giacomo della Porta Roma - século XVI, com telhado de duas águas	9
8 – Casa paulista de padre Inácio, em Cotia, SP	9
9 – Hotel Ibis Belo Horizonte, com telhado de quatro águas. Construção em meados de 1930	10
10 – Telhado de uma água ou meia água	12
11 – Telhado de duas águas	12
12 – Telhado de quatro águas	13
13 – Esquemas de representação das águas dos telhados	14
14 – Tipos de telhados não-convencionais	14
15 – Treliça simples e treliça composta respectivamente	19
16 – Treliça de banzo superior inclinado para uma e para duas águas	20
17 – Treliça Bowstring (banzo superior poligonal)	20
18 – Treliça Belfast	20
19 – Treliça de banzos paralelos	20
20 – Inclinação da tesoura	22
21 – Ponto de uma tesoura	22
22 – Tipos de tesoura	24

23 – Esquema da estrutura de tesoura Howe em condições usuais de utilização	24
24 – Treliça Kingpost	26
25 – Treliça Queenpost	27
26 – Variação da treliça Queenpost	27
27 – Elementos secundários	28
28 – Tipo de sambladuras com dentes simples	33
29 – Ligações entre as peças de uma tesoura do tipo Howe	35
30 – Sambladura com dente simples	36
31 – Sambladura com dente simples recuado	36
32 – Sambladura com dente duplo	36
33 – Ligação BANZO SUPERIOR-BANZO INFERIOR c/ dente simples recuado	37
34 – Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig.1)	38
35 – Ligação BANZO SUPERIOR-DIAGONAL c/ dente simples	39
36 – Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig.2)	40
37 – Ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE c/ dente simples	41
38 – Ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE c/ dente simples	42
39 – Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig.3)	42
40 – Ligação DIAGONAL-PONTALETE c/ dente simples	43
41 – Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig.4)	44
42 – Ligação BANZO INFERIOR-PONTALETE com respiga e mecha	45
43 – Ligação BANZO INFERIOR-PONTALETE com abraçadeira	46
44 – Ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE	46
45 – Sistema de encaixe do tipo respiga e mecha	47
46 – Representação das medidas do dente e da folga	49
47 – Altura do dente	50
48 – Folga necessária ao cisalhamento	52

49 – Eixos relacionados com as direções das fibras da madeira	57
50 – Gráfico Retração x Umidade para espécie Eucalipto Citriodora	58
51 – Gráficos propriedades de resistência e rigidez x teor de umidade	61
52 – Posição da retirada das barras e orientação de seus anéis de crescimento	62
53 – Gráfico da variação da resistência à compressão normal às fibras com a umidade	63
54 – Gráfico da variação da resistência à tração paralela às fibras com a umidade	64
55 – Gráfico da variação da resistência ao cisalhamento paralela às fibras com a umidade	65
56 – Gráfico da variação do módulo de elasticidade longitudinal, extraído do ensaio de compressão paralela às fibras, com a umidade	65
57 – Gráfico da variação da densidade aparente com a umidade	66
58 – Características mecânicas da maçaranduba	69
59 – Área de influência para carregamento distribuído nas tesouras	105
60 – Área de influência para carregamento concentrado nos nós	105
61 – Forma padrão da treliça utilizada para a obtenção das cargas nas barras	106
62 – Distância da folga necessária para 1 e 2 dentes	108
63 – Possíveis deslocamentos das extremidades do pontalete	110

LISTA DE TABELAS

1 – Classes de umidade da madeira	59
2 – Valores de k_{mod2}	60
3 – Propriedades Físicas da madeira Maçaranduba	68
4 – Propriedades Físicas da madeira Peroba do Campo	69
5 – Altura resultante dos dentes de acordo com o dimensionamento proposto	107
6 – Valores mínimos para a folga necessária	109
7 – Valores dos deslocamentos na ligação Banzo Inferior-Pontaete	111
8 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Arquivo Público	112
9 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Yara Restaurações	112
10 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) E. E. Afonso Pena	112
11 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Instituto de Educação	113
12 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Residência Pampulha	113
13 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Escola de Engenharia	113
14 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Automóvel Clube	113
15 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Corpo de bombeiros	114
16 – Comparação da altura do dente (dimens./vistoria) Clube Recreat. Palmeiras	114
17 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Arquivo Público	115
18 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Yara Restaurações	116
19 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) E. E. Afonso Pena	117
20 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Instituto de Educação	117
21 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Residência Pampulha	117
22 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Escola de Engenharia	117
23 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Automóvel Clube	118
24 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Corpo de bombeiros	118

25 – Comparação da folga necessária (dimens./vistoria) Clube Recreat. Palmeiras	118
26 – Comparação do deslocamento do pontalete (dimens./vistoria)	118
27 – Resultado da altura dos dentes nas ligações	119
28 – Resultado da folga necessária ao cisalhamento nas ligações	121
29 – Comparação entre a altura do dente, a folga necessária e o deslocamento do pontalete	122
30 – Porcentagem de ligações construídas corretamente	124

LISTA DE FOTOS

1 – Ligação Banzo Inferior-Banzo superior com dente	77
2 – Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples	78
3 – Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com dente simples e conector de segurança em chapa de aço	78
4 – Ligação Diagonais-Pontaletes com dente simples	79
5 – Ligação Pontaletes-Banzo Inferior com sistema de respiga e mecha e sistema de abraçadeira metálica	79
6 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples	81
7 – Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples	81
8 – Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com dente duplo apoiado em cunha de madeira no lado esquerdo	82
9 – Ligações Diagonais-Pontaletes com dente simples e Pontaletes-Banzo Inferior com ausência de folga entre as peças	82
10 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples	84
11 – Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com dentes simples sem chanfros nos dois lados	84
12 – Ligação Pontaletes-Banzo Inferior sem folga entre as peças. O banzo inferior está totalmente apoiado na laje de cobertura	85
13 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples e conector metálico do tipo grampo	87
14 – Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples	87
15 – Ligação Banzo Inferior-Pontaletes com pinos metálicos	88
16 – Ligação Diagonais-Pontaletes com dente simples e Pontaletes-Banzo Inferior com sistema de respiga e mecha e abraçadeira metálica	88
17 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples. O banzo inferior é apoiado nas vigas da laje de cobertura	90
18 – Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples	90
19 – Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com dente simples	91

20 – Ligações Diagonais-Pontaletes com ente simples e Pontaletes-Banzo Inferior sem folga entre as peças	91
21 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples	92
22 – Ligação Banzo Superior-Pontaletes com dente simples	93
23 – Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com cobrejunta de madeira e cavilhas	93
24 – Ligações Diagonais-Pontaletes com dente simples e Pontaletes-Banzo Inferior unidos por abraçadeira metálica	94
25 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples e conector de segurança do tipo grampo	96
26 – Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples	96
27 – Ligações Diagonais-Pontaletes com dente simples e Pontaletes-Banzo Inferior com abraçadeira metálica e folga entre as peças	97
28 – Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples	99
29 – Ligação Banzo Superior-Pontaletes ligados através de pinos metálicos	99
30 – Ligações Diagonais-Pontaletes com dente simples e Pontaletes-Banzo Inferior com sistema de respiga e mecha e abraçadeira metálica	100
31 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior superior com dente simples e conector metálico em forma de grampo	102
32 – Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com dente simples e conector metálico em forma de chapa	102
33 – Ligação Pontaletes-Banzo Inferior com sistema de abraçadeira metálica e folga entre as peças	103
A1 – Tesoura com Banzo Intermediário em madeira e verticais em tirantes de aço	136
A2 – Detalhe do Banzo Inferior atirantado ao Banzo Intermediário	137
A3 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior	137
A4 – Ligação Banzo Intermediário-Banzo Superior	138
A5 – Detalhe da ligação do tirante com o Banzo Inferior	138
B1 - Tesoura com Banzo Intermediário e sem Banzo Inferior	139
B2 – Detalhe da terça apoiada no Banzo Superior. Ao fundo empena de alvenaria	140

B3 – Detalhe do escoramento do Banzo Intermediário ao Banzo Superior	140
B4 – Ligação dos Banzos Superiores-Pontaletes com dente simples e chapa metálica	141
B5 – Ligação Pontaletes-Banzo Inferior	141
C1 – Tesoura de madeira em forma de arco ogival	142
C2 – Apoio do Banzo Superior (consolo de concreto)	143
C3 – Fixação dos apoios do Banzo Superior nas laterais da capela	143
C4 – Tesoura sem Banzo Inferior em forma de arco ogival	144
C5 – Detalhe da ligação superior da tesoura ogival	144
D1 – Tesoura com Banzo Intermediário e verticais inclinadas	145
D2 – Peça vertical inclinada da tesoura	146
D3 – Ligação Banzo Inferior- Banzo Superior com dente duplo	146
D4 – Ligação Banzos Superiores- Pontaletes com dente simples e chapa metálica	147
D5 – Ligação Pontaletes-Banzo Inferior (peça dupla), com abraçadeira metálica	147
E1 – Tesoura tipo “Aspa” (semelhante à Fig.22f)	148
F1 – Tesoura sem Pontaletes. Observar detalhe da ligação entre os Banzos Superiores	149
F2 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior	150
F3 – Ligação entre os Banzos Superiores	150
G1 – Tesoura Howe com duas terças	151
G2 – Ligação entre Banzo Superior, Diagonal (peça dupla) e Montante (peça dupla)	152
G3 – Ligação entre Pontaletes, Diagonal e Banzo Inferior da tesoura principal com a meia tesoura	152
G4 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior	153

LISTA DE SÍMBOLOS E ÍNDICES

Letras minúsculas

b = largura da peça

e = medida da altura do dente

f = medida da folga necessária ao cisalhamento

$f_{c0,d}$ = resistência de cálculo da madeira à compressão paralela às fibras.

$f_{c90,d}$ = resistência de cálculo da madeira à compressão normal às fibras.

$f_{c\alpha,d}$ = resistência de cálculo da madeira à compressão inclinada de ângulo α em relação a direção das fibras

$f_{v0,d}$ = resistência ao cisalhamento na presença de tensões tangenciais paralelas às fibras

k_{mod} = coeficiente de modificação

q = pressão dinâmica do vento

m = peso do corpo

v = volume aparente

Letras maiúsculas

$A_u = (A_{barra} - A_{enfraqecida})$ = área útil da seção transversal da barra

F_d = Valor de cálculo das combinações das ações

N_d = Solicitação de cálculo atuante na peça comprimida

R_d = resistência de cálculo

R_k = resistência característica

S_d = solicitação de cálculo

S_l = fator topográfico

S_2 = fator rugosidade do terreno

S_3 = fator estatístico

V_0 = velocidade média do vento

V_k = velocidade característica do vento

Letras gregas

α = ângulo

γ = ângulo

γ_w = coeficiente de minoração da resistência da madeira

θ = ângulo

ρ_{ap} = densidade aparente

σ_{cd} = Tensão de compressão atuante na peça

σ_{md} = valor de cálculo da tensão de compressão devido ao momento fletor M_d .

σ_{nd} = valor de cálculo da tensão de compressão devido à força normal de compressão

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo fornecer contribuições práticas e teóricas para o correto detalhamento das ligações de tesouras com estrutura de madeira do tipo Howe, cobertas por telhas cerâmicas vencendo vãos até 12 metros. Dentre as ligações existentes, foi escolhida para análise – pelo grande uso no país, pela simplicidade construtiva e pelo baixo custo – a ligação chamada sambladura, ou entalhe, que tem a característica de não utilizar nenhum tipo de pino (metálico, de madeira, ou outro) para resistir aos esforços atuantes. Nas sambladuras, os cortes feitos nas peças para o encaixe umas nas outras podem comprometer o funcionamento de toda a estrutura. Esforços de cisalhamento, compressão e tração, usualmente presentes nestes tipos de ligações podem levar a estrutura ao colapso. Sendo assim foram realizadas nesta pesquisa etapas de pesquisa bibliográfica e de campo a fim de apresentar problemas existentes na construção deste tipo de ligação ao longo da história. Através da pesquisa bibliográfica são apresentadas soluções construtivas para cada uma das ligações analisadas, que dependem, por sua vez, de um correto dimensionamento. A etapa de campo foi iniciada com seleção das edificações (antigas e recentes) que serviram de modelo para a verificação das ligações. As ligações foram verificadas quanto à altura do dente, quanto à folga necessária ao cisalhamento e quanto ao deslocamento do pontalete (ou barra vertical central), utilizando a NBR 790/97 em relação aos valores de resistência empregados. Também foram citados fatores que influenciam as peças de estruturas de madeira: a umidade, o tipo de madeira e a integridade estrutural. Pode-se concluir que a maioria das ligações vistoriadas foram construídas de forma incorreta em relação ao dimensionamento utilizado atualmente – na totalidade dos aspectos analisados – independentemente da data de construção das edificações (aspecto histórico), imprimindo algum descaso com este tipo de ligação nas estruturas deste porte.

Palavras-chave: tesoura Howe, telhados de madeira, sambladuras, ligações entalhadas

ABSTRACT

This paper has for objective to supply to practical and theoretical contributions the correct detailing of the joints of shears with wooden structure of the type Howe, covered for ceramic roofing tiles being successful vain up to 12 meters. Amongst the existing joints, it was chosen for analysis - for the great use in the country, for constructive simplicity and the low cost - the called sambladura, or has carved, that it has the characteristic not to use no type of bolt (metallic, wooden, or another one) to resist the operating efforts. In the sambladuras, the cuts made in the parts for rabbet ones in the others can compromise the functioning of all the structure. Efforts of shear, compression and traction, usually gifts in these types of joints can take the structure to the collapse. Being thus stages of bibliographical research and field had been carried through in this research in order to present existing problems in the construction of this type of joints throughout history. Through the bibliographical research constructive solutions for each one of the analyzed joints are presented, that depend, in turn, of a correct sizing. The stage of field was initiated with election of the constructions (old and recent) that they had served of model for the verification of the joints. The joints had been verified how much to the height of the tooth, how much to the necessary recess to the shear and how much to the displacement of pontalete (or central vertical bar), using NBR 790/97 in relation to the employed values of resistance. Also factors had been cited that influence the parts of structures wooden: the humidity, the wooden type and the structural integrity. It can be concluded that the majority of the inspected joints had been constructed of incorrect form in relation to the sizing used currently - in the totality of the analyzed aspects - independently of the date of construction of the constructions (historical aspect), printing some indifference with this type of joints in the structures of this transport.

Key words: Howe trusses, wood roofs, notched joints, step joints

1

INTRODUÇÃO

O presente trabalho pretende contribuir para o projeto de detalhamento das estruturas de madeiras tendo como particularidade as ligações ditas *práticas, entalhes ou sambladuras* entre as peças estruturais de telhados com tesouras do tipo Howe utilizadas para vencer vãos até 12 metros.

A escolha do tema das ligações em estruturas de telhados de madeira é devido a sua grande utilização no país, na maioria das vezes incorreta. As ligações são partes da estrutura onde há acúmulo de tensões e devem estar sempre devidamente construídas para o seu funcionamento adequado. De acordo com GESUALDO (2003) as ligações entre as peças constituintes dos telhados de madeira representam um importante ponto no dimensionamento das estruturas de madeira, pois praticamente toda estrutura de madeira apresenta partes a serem interligadas.

A NBR-7190 considera três tipos de ligações entre peças de madeira: pinos metálicos, pinos de madeira (cavilhas) e conectores. A ruptura (estado limite último) da ligação pode ser atingida por insuficiência de resistência da madeira interligada ou por insuficiência dos elementos de ligação.

O tipo de ligação prática, entalhe ou sambladura (técnica de carpintaria) foi escolhido entre os outros tipos pelo fato de ser a ligação mais utilizada nas tesouras dos telhados com vãos até 12 metros, além de não utilizar nenhum outro material de ligação, a não ser a própria madeira. Esta escolha também se dá pela simplicidade construtiva e pelo menor custo destas ligações. A madeira está entre os materiais que possuem os menores valores de consumo energético para sua produção. Isto pode explicar a grande utilização deste material para a construção de telhados e outros fins.

Em relação ao avanço tecnológico na construção de telhados de madeira cabe observar que a execução de ligações bem feitas representa custos maiores pelo fato da necessidade mão-de-obra mais qualificada. Sendo, talvez por isso, executadas de maneira negligente e ineficiente na maioria dos casos. PALAZZO (2004) cita em seu artigo “High tech ou low tech?” que a troca de processos industrializados por processos que demandam trabalhos humanos pode ser economicamente inviável em certas ocasiões.

Segundo MOLITERNO (1981), a sambladura é o tipo de ligação mais prático e natural entre duas peças de madeira. Só pode ser utilizada quando temos uma das peças comprimida, sendo preciso verificar as resistências das superfícies de contato ao esmagamento e ao cisalhamento (quando a ligação está na extremidade da estrutura). Este tipo de ligação não resiste inversões de esforços devidos a ação do vento.

As sambladuras podem comprometer o funcionamento da estrutura devido aos cortes feitos nas peças para o encaixe umas nas outras. Esforços de cisalhamento, compressão e tração, usualmente presentes nestes tipos de ligações podem levar a estrutura ao colapso.

As ligações analisadas foram obtidas através de vistorias em telhados com estrutura de madeira. Na sua maioria, telhados de edificações de Belo Horizonte e poucos exemplares de Ouro Preto. Dentre estas vistorias foram escolhidos somente os telhados com tesoura do tipo Howe para vãos até 12 metros.

1.1 OBJETIVOS

Devido a grande utilização dos telhados de madeira (de estrutura tipo Howe, vencendo vãos de 12 metros em média), e da importância do detalhamento das ligações, este trabalho tem como objetivo geral contribuir com o correto detalhamento das ligações entre os diversos elementos estruturais constituintes das tesouras de telhados de madeira, também citando os *efeitos da umidade* e a questão da *integridade estrutural*; e como objetivos específicos levantar os problemas existentes nas ligações das estruturas de telhados antigos e recentes propondo soluções e apresentar equações para dimensionamento dos detalhes, de acordo com a bibliografia consultada e com as prescrições da NBR-7190 (norma brasileira) apresentando o detalhamento correto das ligações entre as peças constituintes das tesouras do tipo Howe, com cobertura de telhas cerâmicas (estrutura principal).

Apesar deste tipo de estrutura conseguir vencer vãos até 18 metros, não será de interesse o estudo das tesouras com vãos maiores que 12 metros, pelo fato da escolha do tipo de ligação a ser detalhada: a sambladura.

1.2 CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho procura primeiramente contribuir para o estudo das estruturas de madeira uma vez que colabora com a documentação científica sobre ligações entre peças estruturais, fornecendo subsídios para os profissionais da área de engenharia civil, no que diz respeito ao correto detalhamento das estruturas com tesouras Howe utilizadas em telhados.

Acredita-se que os resultados desta pesquisa ainda forneçam contribuições práticas importantes para uma adequada construção das ligações nas estruturas de telhados de madeira.

2

TELHADOS EM ESTRUTURA DE MADEIRA

2.1 BREVE HISTÓRICO

Desde a pré-história o homem já produz abrigos primitivos para sua proteção contra as intempéries. Segundo PALAZZO (2004), este tipo de abrigo primitivo mostrado na Fig.1 (que pode ser considerado como o “marco zero” da tecnologia da construção) foi construído de maneira bem fantasiosa ao longo da história, mas a arqueologia confirma que se tratava de sistemas traveados, apoiados no mínimo em duas colunas, com uma viga de cumeeira. A partir daí a arquitetura é uma sucessão contínua de avanços tecnológicos: paredes portantes de barro, mais tarde de pedra, tijolo cozido e concreto, carpintaria de telhados, etc.



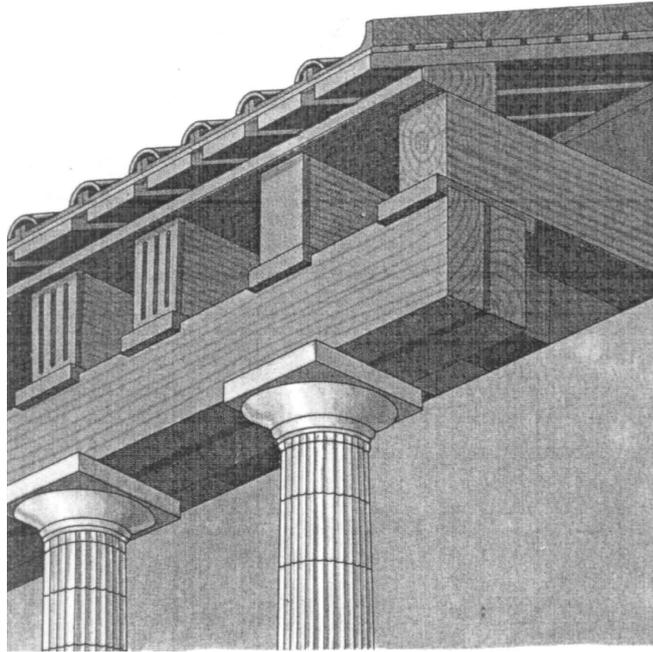
Figura 1 - Cabana primitiva do abade Laugier

Fonte: site http://palazzo.arq.br/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=26

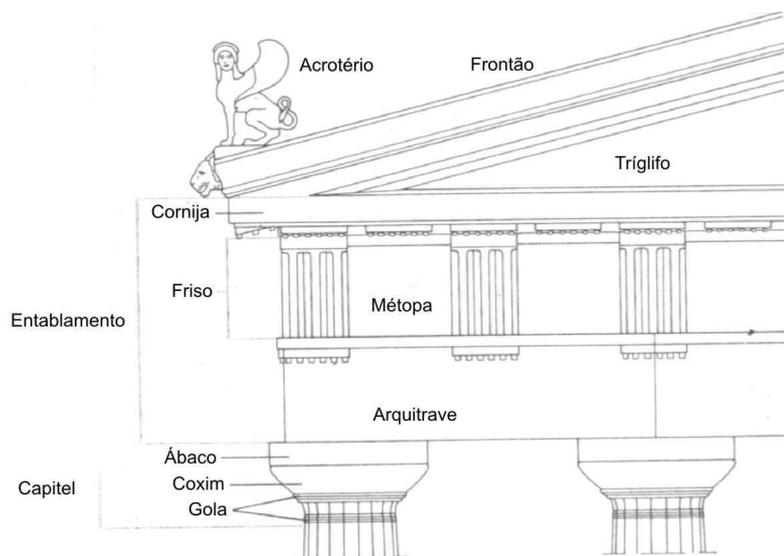
Os telhados de duas águas foram largamente utilizados na arquitetura da *Idade Antiga*, tendo como exemplos os telhados dos templos gregos e romanos.

Nos templos gregos mais primitivos (Figs.2 e 3) as pedras eram utilizadas como estrutura apenas em seus alicerces. Todo o restante era construído com madeira. O trecho abaixo ilustra uma descrição deste tipo de edifício.

“O templo estava coberto por meio de vigas paralelas. Quando a largura da cela o exigia, por demasiada, arquiveladas eram unidas por outra horizontal, formando um tirante. Sobre o vigamento assentavam diretamente as telhas, a princípio de barro cozido e, mais tarde de mármore; eram de dois tipos diferentes: umas planas e outras curvas, formando canal, para unir as primeiras. Nas fachadas principais do templo, o telhado tem duas águas: a respectiva cimalha sobe em rampa, delimitando um triângulo chamado frontão, cuja superfície interna, o tímpano, é, em regra, ornado com várias esculturas.” (HISTÓRIA, 1978)



**Figura 2 - Estrutura de madeira do telhado de um templo grego.
Fonte: HISTÓRIA (1978)**



**Figura 3 - Elementos constituintes da fachada de um templo grego.
Fonte: HISTÓRIA (1978)**

Este tipo de telhado com águas inclinadas com estruturas de madeira também pode ser observado nos templos romanos (Fig.4).

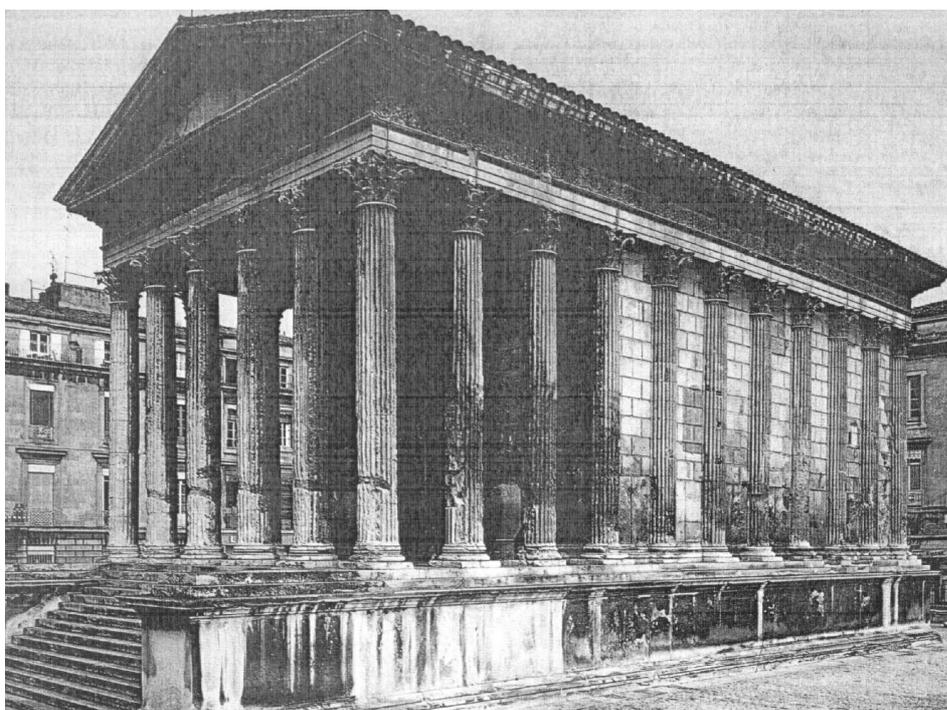


Figura 4 - (Templo romano) Maison carrée de Nîmes, construída no ano de 16 a. C., com telhado de duas águas. Fonte: HISTÓRIA (1978)

Através dos tempos os telhados com estrutura de madeira foram sempre utilizados. Nas Igrejas da *Idade Média* ou período gótico (Fig.5), nos exemplares da *Idade Moderna* representadas pelas igrejas do Renascimento (Fig.6) e pelas Igrejas barrocas (Fig.7); e por último nos exemplares da *Idade Contemporânea* (construções da atualidade).



**Figura 5 - Catedral de Chartres, na França, com telhado de duas águas.
Fonte: site http://www.pegue.com/artes/arquitetura_gotica.htm**



**Fonte 6 - Catedral de Santa Maria del Fiore Florença, com telhado em cúpula.
Fonte: site <http://www.pegue.com/artes/berco.htm>**



Figura 7 - Igreja de Il Gesù - Vignola y Giacomo della Porta Roma - século XVI, com telhado de duas águas. Fonte: site http://pegue.com/artes/arquitetura_barroca.htm

No Brasil, este tipo de telhado com estrutura de madeira foi inserido no período colonial, com a chegada dos primeiros exploradores. As construções nesta época tinham de utilizar os materiais existentes na região. Exemplos desta época são as construções paulistas como mostra a Fig.8, construída no início do século XVIII.



Figura 8 - Casa paulista de padre Inácio, em Cotia, SP. Fonte: site http://www.cotianet.com.br/Turismo/Sitio_Padre_Inacio_A_.htm

Detalhes da arquitetura colonial também são encontrados em construções mais recentes, como por exemplo, a apresentada na Fig.9, que embora não seja um exemplo clássico deste período, apresenta telhados com telhas cerâmicas com estruturas de madeira. Esta edificação sofreu reforma em 1998 porém manteve as mesmas características pelo fato de pertencer ao conjunto arquitetônico tombado da Praça da Liberdade.



**Figura 9 - Hotel Ibis Belo Horizonte, com telhado de quatro águas.
Construção em meados de 1930.
Fonte: autora**

A origem de todos estes telhados construídos sob a forma de triângulos veio de uma concepção primitiva que tinha como preocupação impedir o acúmulo das águas das chuvas. Partindo-se do telhado triangular, novas formas foram concebidas, sendo utilizadas em grande escala atualmente.

2.2 CONCEPÇÃO ARQUITETÔNICA DOS TELHADOS

A concepção arquitetônica está diretamente ligada à concepção estrutural, pois o partido arquitetônico definirá não somente as dimensões, como o tipo de material utilizado na estrutura. Também será definido, embora que indiretamente, o detalhamento, uma vez que ao ser indicada a altura de um telhado, por exemplo, estarão incluídos nesta informação os ângulos formados entre as peças interligadas, além dos vãos a serem vencidos, etc.

Sendo assim, primeiramente serão apresentados os principais tipos de telhados existentes, dos mais antigos aos contemporâneos, destacando os telhados de duas águas, por serem os mais utilizados e objetos desta pesquisa.

2.2.1 Principais tipos de telhados

Os telhados podem ser classificados de acordo com o tipo de superfície como curvos ou planos. Eles também podem ser classificados de acordo com quantidade de superfície que os compões (águas).

Os *telhados de uma água* são utilizados para pequenos vãos e possuem apenas um plano de superfície. Também são conhecidos como telhados de *meia-água*. Pode-se observar na Fig.10, como uma pequena diferença entre os apoios influencia na denominação do telhado: quando apenas sua extremidade mais alta se apóia na parede recebe o nome de *telhado de alpendre* (telhado em balanço), e quando suas duas extremidades são apoiadas, é chamado simplesmente *telhado de meia-água*. A aresta superior recebe o nome de espigão ou cume e a aresta inferior recebe o nome de beiral.

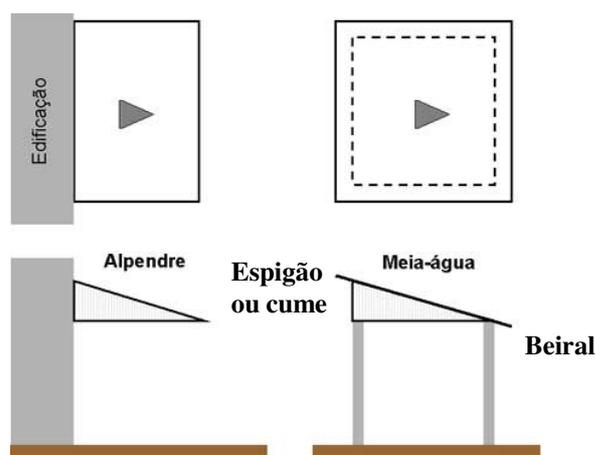


Figura 10 - Telhado de uma água ou meia água.
 Fonte: site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

Os telhados com dois planos de superfície inclinados simetricamente sobre o eixo do edifício são denominados *telhados de duas águas*, na qual sua aresta superior é denominada cumeeira e as arestas inferiores paralelas à cumeeira recebem o nome de beirais. As arestas restantes em formato de triângulos recebem o nome de empenas ou oitões. Na Fig.11 são mostrados dois tipos de telhados de duas águas, o telhado tipo cangalha, que tem a cumeeira como o encontro das duas águas e o telhado tipo americano, onde não há o encontro real das águas.

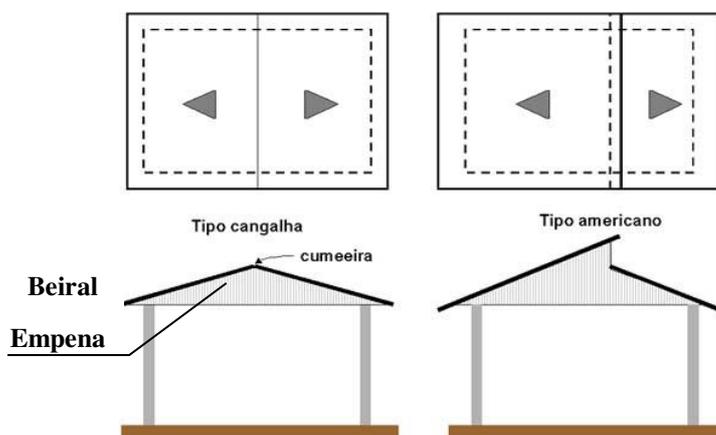


Figura 11 - Telhado de duas águas.
 Fonte: site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

Os telhados de *quatro águas* possuem quatro planos de superfície, na qual dois destes planos possuem forma triangular (tacaniça) e os outros dois restantes a forma trapezoidal (águas mestras), ver Fig.12. A aresta superior (de maior altura) recebe o nome de cumeeira e as arestas inferiores são os beirais, da mesma maneira que os telhados de duas águas. A diferença entre estes telhados e os de duas águas é a presença das novas águas (tacaniças) se interceptando com as águas mestras. Daí surge a aresta saliente denominada espigão. A presença da platibanda não interfere na disposição das tesouras da estrutura.

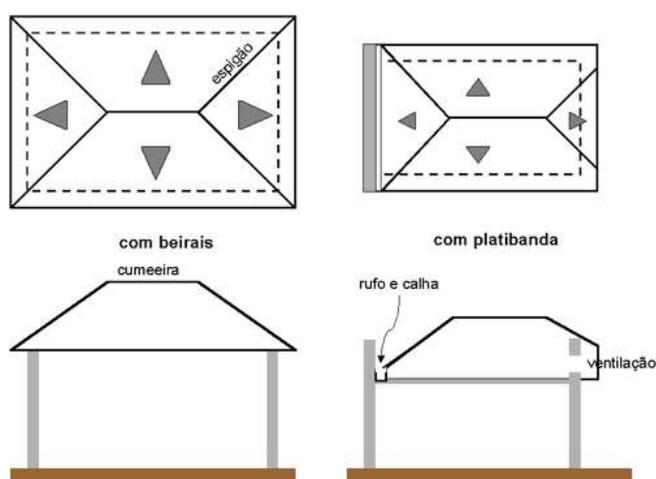


Figura 12 - Telhado de quatro águas.
 Fonte: site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

Dentre os telhados de quatro águas existe também o telhado pavilhão, na qual todas suas quatro águas possuem a forma triangular e a cumeeira é reduzida somente a um ponto.

Os *telhados de múltiplas águas*, como o próprio nome diz, representam a união de vários telhados já anteriormente citados cujas interseções formam arestas, que quando externas são denominadas espigões, e quando internas são denominadas rincões (Fig.13).

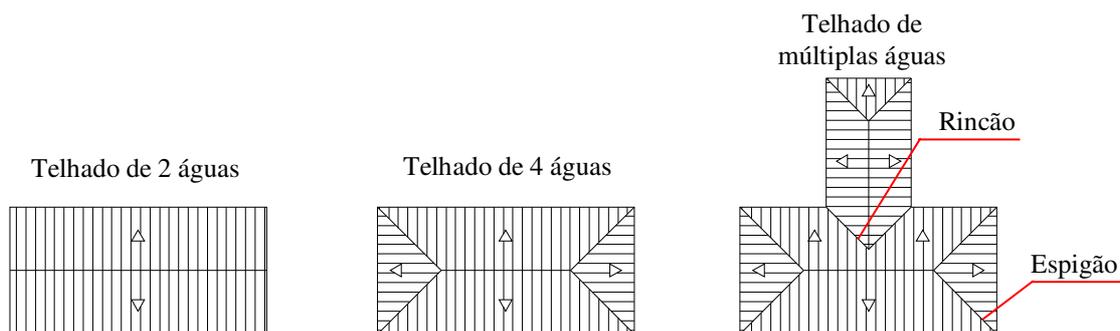


Figura 13 - Esquemas de representação das águas dos telhados.
Fonte: elaboração própria

Outros telhados não-convencionais podem ser citados. Entre estes estão os telhados tipo *mansarda*, que segundo MARQUES (1990), são os telhados formados por duas águas com inclinações diferentes ou águas quebradas, e são constituídos de quatro planos inclinados dois a dois, sendo os superiores com inclinações menores.

Os telhados tipo *shed* apresentam duas águas desiguais. Geralmente uma das águas (água mais inclinada) se destina à entrada de luz natural podendo ser envidraçada ou receber qualquer tipo de revestimento. A outra água possui declive mais suave sendo coberta geralmente por telhas.

Os telhados cônicos, como o próprio nome diz, apresentam a forma externa de um cone, sendo que os mais simples apresentam planta circular.

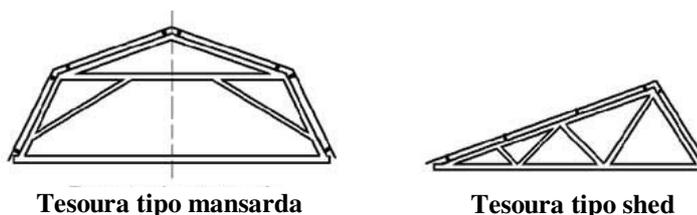


Figura 14 - Tipos de telhados não-convencionais.
Fonte: site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

Os telhados não convencionais foram somente citados para uma visão geral dos tipos existentes. Porém, devido ao objetivo deste trabalho foram vistoriados apenas telhados convencionais de duas, quatro ou mais águas que possuem estruturas de tesoura do tipo Howe.

2.3 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DOS TELHADOS

A escolha do sistema estrutural treliçado em coberturas para a construção em madeira é, provavelmente, mais comum que com qualquer outro material estrutural devido, talvez, a longa tradição no uso da madeira para este elemento de estrutura ou, possivelmente, por causa da relativa facilidade com que formas usuais treliçadas podem ser fabricadas e montadas em madeira. Muitos dos perfis considerados tradicionais são ainda especificados por razões arquitetônicas e o engenheiro precisa estar familiarizado com as formas modernas e tradicionais do projeto de treliças (CALIL JR, 1997).

Os telhados utilizam treliças planas – as tesouras (estruturas principais) que atuam em apenas um plano no espaço, no qual são responsáveis pelas ações atuantes numa determinada faixa de influência. A estabilidade destas treliças planas é conseguida através da colocação de estruturas secundárias (elementos de contraventamento) que fazem o travamento no plano perpendicular à estrutura. A partir daí a estrutura passa a ter características espaciais.

Segundo MOLITERNO (1981), o emprego de estruturas de treliças em telhados está relacionada com vantagens práticas e econômicas em relação aos vãos teóricos e cargas apresentadas.

As treliças são interessantes por sua maleabilidade quanto à forma e à disposição de barras, ou seja, consegue-se conceber estruturas com distribuição de barras e contorno externo apropriados para minorar os esforços nas barras, GESUALDO (2003). A distribuição das barras e a conformação externa são ajustadas às solicitações provenientes do carregamento.

2.3.1 Partes componentes dos telhados

MORETTI FILHO (1952), subdivide as partes componentes dos telhados em três: elementos estruturais principais ou armadura principal (tesouras e respectivos

contraventamentos); elementos estruturais secundários ou armadura secundária (conjunto de cumeeiras, terças, espigões, rincões, contra-frechais, caibros e ripas) e; cobertura e revestimento (telhas, chapas, etc.).

O conjunto das peças que compõem a estrutura secundária também pode ser chamado de trama ou armação. Segundo HELLMEISTER (1977), a armação é constituída pelas peças que recebem as telhas, quer sejam cerâmicas, de fibrocimento, de alumínio, ferro galvanizado, madeira ou outras e se apóia sobre as tesouras. As peças componentes desta armação dependem do tipo de telhas. Por exemplo, para um telhado de duas águas coberto por telhas cerâmicas, a armação é composta por ripas, caibros e terças.

MOLITERNO (1981), por sua vez, compõe os telhados em duas partes principais: a cobertura formada por diversos materiais desde que sejam impermeáveis; e a armação formada pelo conjunto de elementos estruturais para a sustentação da cobertura (ripas, caibros, terças, tesouras e contraventamentos).

Atualmente esta composição estrutural é mais simplificada, na qual a estrutura dos telhados é formada pela *estrutura principal* (tesouras) e pela *estrutura secundária* (conjunto das peças que recebem o carregamento proveniente das telhas ou *cobertura* e interligam as estruturas principais). Esta é a classificação utilizada neste trabalho, uma vez que o tipo de cobertura de telhas cerâmicas é a mesma para todos os telhados.

2.3.1.1 Estrutura principal

A estrutura principal de um telhado é composta pelas tesouras e seus respectivos componentes. A denominação estrutura principal se deve ao fato de que suas peças componentes sustentam todos os esforços derivados de intempéries (chuva, vento, etc.), além dos esforços relativos ao peso da cobertura e ao peso próprio dos elementos constituintes do telhado.

Nos próximos subitens serão apresentados, respectivamente, os significados de treliças e tesouras.

A. Treliças

Entende-se por estrutura de treliça as estruturas lineares compostas de barras retas ligadas por articulações.

Suas barras são ligadas umas às outras por suas extremidades e assim resultam em um conjunto rijo, isto é, desprezando-se as pequenas variações das deformações elásticas das barras, as posições relativas dos nós não podem ser alteradas (MOLITERNO, 1981).

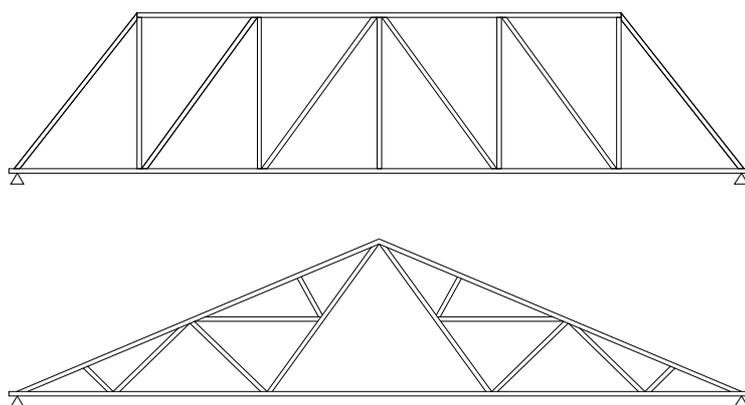
Ainda segundo MOLITERNO (1981), para a determinação dos esforços nas barras das treliças planas é preciso verificar a natureza da estrutura quanto ao seu grau de indeterminação. Para a aplicação das equações da estática, admite-se as seguintes hipóteses:

- 1) As juntas ou nós são consideradas articulações, desprezando-se o atrito;
- 2) Todas as cargas são consideradas concentradas nos nós ou juntas. Caso contrário, são consideradas vigas contínuas ou quadros;
- 3) Todas as barras são retas. Para as barras curvas deveriam ser considerados os esforços nas direções tangencial e normal;
- 4) As treliças pertencem ao plano das forças.

As treliças possuem, geralmente, uma simetria geométrica. Contando com um sistema simétrico de carregamento (que depende da especificidade de cada caso), a transferência do carregamento pode ser realizada sem barras internas (diagonais e montantes), quando o perfil do banzo coincide com o momento fletor. Porém o carregamento nem sempre é simétrico, pelo fato, por exemplo, de ações do vento, das ações permanentes, ou de ações resultantes da construção e montagem da estrutura. Prevendo este tipo de carregamento assimétrico, a solução citada por CALIL JR (1997) é tentar usar o perfil

da treliça com geometria próxima à do perfil ideal (diagrama de momento) adicionando um sistema de barras capaz de estabilizar as cargas assimétricas. Desta maneira, os esforços nas barras internas e nas conexões são minimizados com um projeto simples e econômico.

Dentre as classificações de treliças pode-se citar a classificação de PFEIL (1977), (Fig.15), que as divide em três tipos: as treliças simples (formadas por três barras ligadas em forma de triângulo, juntando-se a estas duas barras para cada novo nó rotulado); as treliças compostas (formadas pela ligação de duas ou mais treliças simples por meio de rótulas ou barras birrotuladas); e as treliças complexas (são as treliças que não obedecem às regras de formação de treliças simples ou compostas).



**Figura 15 - Treliça simples e treliça composta respectivamente.
Fonte: elaboração própria a partir de PFEIL (1977).**

Outra classificação é dada por CALIL JR (1997). Segundo ele, o engenheiro é influenciado por *considerações arquitetônicas*, pelo tipo e comprimento das telhas, pelas condições de apoio, pela dimensão do vão a ser vencido e pela economia. Assim pode ser escolhido um dos tipos básicos de treliça: treliça de banzo inclinado para uma

ou duas águas (Fig.16), treliça Bowstring (Fig.17), treliça Belfast (Fig.18) ou treliça de banzos paralelos (Fig.19).

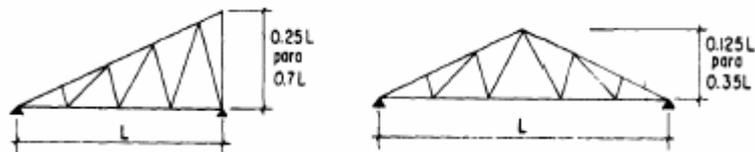


Figura 16 – Treliça de banzo superior inclinado para uma e para duas águas.
Fonte: R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v. I, p.71-77, 1997

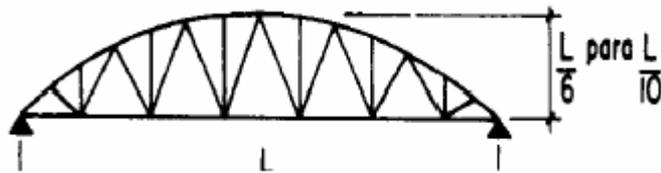


Figura 17 – Treliça Bowstring (banzo superior poligonal).
Fonte: R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v. I, p.71-77, 1997

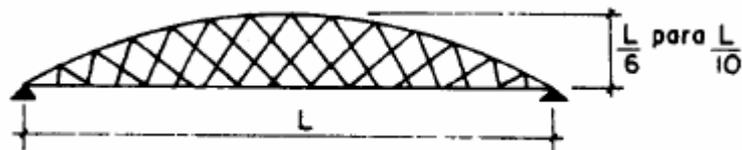


Figura 18 – Treliça Belfast.
Fonte: R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v. I, p.71-77, 1997

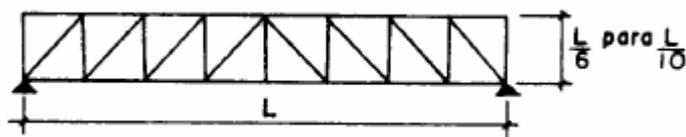


Figura 19 – Treliça de banzos paralelos.
Fonte: R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v. I, p.71-77, 1997

As treliças criadas para a sustentação de pontes têm, geralmente, seus banzos inferior e superior paralelos. Em coberturas, o banzo superior das treliças apresenta a forma inclinada em relação ao banzo inferior, obtendo assim uma viga treliçada em forma de triângulo (tesoura). Esta forma, além de tornar a estrutura mais estável (a estrutura em forma de triângulo mantém a posição relativa dos nós inalterada), facilitam o escoamento das águas pluviais.

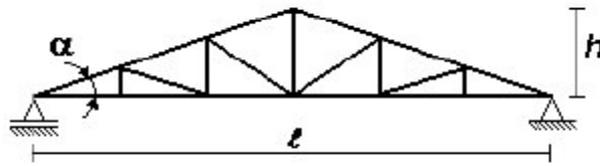
B. Tesouras

As tesouras são *treliças planas* verticais com os banzos superiores inclinados, projetadas para receber cargas, que atuem paralelamente a seu plano, transmitindo-as aos apoios.

De acordo com BALLARIN (2003), as estruturas de tesouras, por serem estruturas de treliças, podem ser projetadas considerando-se as seguintes hipóteses básicas: seus nós são articulações perfeitas, o peso próprio das barras encontra-se concentrado em suas extremidades (nós), as ações são aplicadas somente em seus nós.

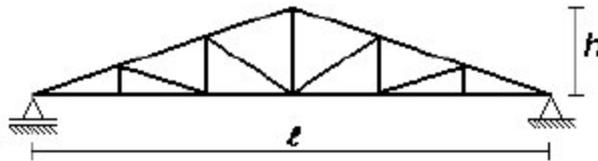
A definição geométrica das tesouras depende da classe de resistência da madeira, do partido arquitetônico (vão livre, tipo de tesoura, tipo de telha, espaçamento entre tesouras) e da geometria das barras da tesoura.

Duas medidas são importantes na definição das dimensões da estrutura das tesouras: a inclinação (Fig.20), definida pelo ângulo formado pela ligação entre os banzos superior e inferior; o ponto (Fig.21), definido pela relação entre a altura e o vão da tesoura.



$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\frac{l}{2}} ; \alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{2h}{l} \right)$$

Figura 20 - Inclinação da tesoura.



$$\text{ponto} = \frac{h}{l}$$

Figura 21 - Ponto de uma tesoura.

B.1 Tipos de Tesouras

O tipo de tesoura mais simples é aquele que apresenta apenas os dois banzos superiores e o banzo inferior. Pode ou não apresentar pontalete (utilizada em pequenos vãos), ver Fig.22a. À medida que se aumenta o vão a tesoura sem o pontalete pode ser reforçada com uma peça intermediária, denominada Tesoura de Linha Alta.

A tesoura sem o banzo inferior, ou tesoura aspa, não apresenta esta peça e nem o pontalete, sendo os dois banzos superiores apoiados pelas diagonais que partem da base inferior dos banzos superiores, se cruzam e chegam ao outro extremo dos banzos (Fig.22f).

Outro tipo de tesoura é aquela que apresenta dois pontaletes laterais, além do principal (ao centro). Estes pontaletes laterais transferem o carregamento que vem das outras diagonais até o pontalete principal. Este tipo de tesoura é do tipo Howe (Fig.22e) e é aplicável aos vãos até 18 metros, com afastamento máximo entre elas de até 4m.

Para CARDÃO (1979), as tesouras de madeira são econômicas até os 12 metros pelo fato de não haver necessidade de alteração na forma original (segundo ele, a forma original possui apenas uma terça posicionada no meio de cada perna, Fig.22c), além de serem utilizadas somente peças de seção comercial.

A estrutura dos telhados também pode apresentar tesouras com lanternim (Fig.22b e Fig.22d), muito utilizadas em galpões. Seu sistema facilita a ventilação e iluminação naturais. O lanternim é muito utilizado em construções industriais, quando a iluminação e ventilação trazidas pelas janelas forem consideradas insuficientes. Ainda podem compor as aberturas deste tipo de estrutura caixilhos e/ou venezianas. Porém nestas estruturas representadas pelas Figs.22b e 22c há a exigência de um cálculo mais trabalhoso, pelo fato de apresentarem trechos deformáveis ou hipostáticos (não há triangulação interna). O cálculo destas estruturas não levam em conta os princípios de treliças e sim os princípios de estruturas com nós deslocáveis.

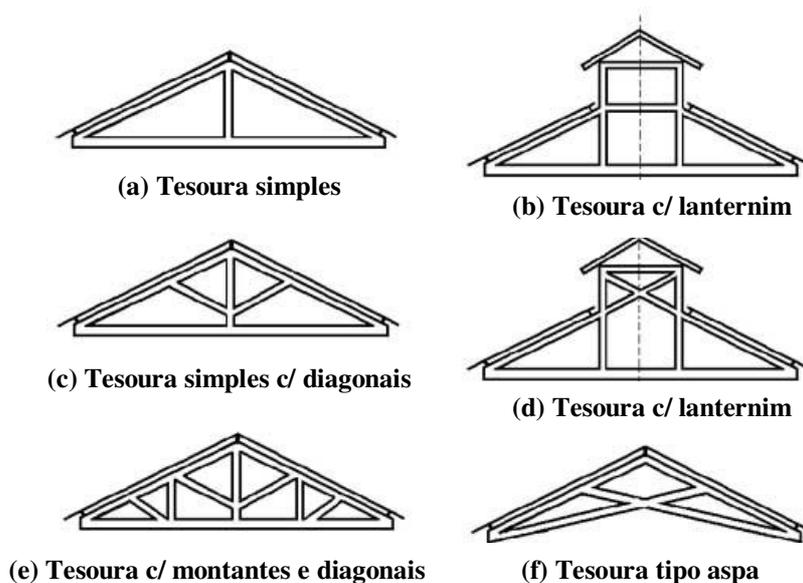


Figura 22 - Tipos de tesoura
 Fonte: site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

B.1.1 Tesoura Howe

A forma mais clássica de tesoura é a tesoura tipo Howe ou Tesoura Inglesa para duas águas, usualmente aplicada em vãos até 18 metros. Ela é composta de dois banzos superiores dispostos de acordo com a inclinação das águas do telhado, reunindo-se no vértice inferior (beirais) ao topo do pontalete e inferiormente são unidos pelo banzo inferior. Diagonais a banzos superiores trabalham comprimidos e montantes e banzo inferior tracionados (Fig. 23), em condições usuais de utilização ou combinações de carregamentos permanentes.

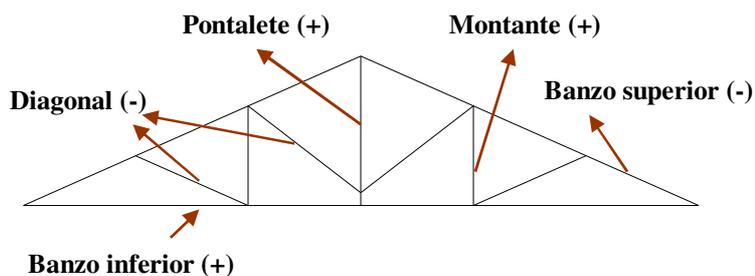


Figura 23 – Esquema da estrutura de tesoura Howe em condições usuais de utilização.
 Fonte: elaboração própria

A forma da tesoura Howe é a mais comum para uso doméstico e industrial, pois acompanha razoavelmente bem o diagrama de momento fletor e é adaptável aos materiais tradicionais de cobertura: as telhas cerâmicas para uso residenciais e chapas metálicas para usos industriais.

De forma mais detalhada as tesouras do tipo Howe são constituídas pelo: banzo inferior, banzos superiores, pontalete, montantes e diagonais. Porém as tesouras escolhidas para a análise não apresentam os montantes, utilizados apenas para a existência de mais de uma terça apoiada no banzo superior.

O banzo inferior é a peça horizontal que se localiza na base do triângulo, sendo a peça que apóia a tesoura na estrutura da edificação, seja os frechais, paredes cintadas ou sistema de pilares e vigas, etc.

Os banzos superiores são as peças que formam os outros lados do triângulo e estão inclinados de acordo com o tipo de cobertura, servindo de apoio para as terças (elementos de contraventamento).

O pontalete é o elemento que faz a ligação do banzo inferior com os banzos superiores e suporta a cumeeira. Sob condições usuais, esta peça é tracionada pelos banzos superiores e pelas diagonais.

As diagonais fazem parte das tesouras que possuem terças, pois além de servir de apoio para elas, transmitem este esforço aplicado no banzo superior ao pontalete, fazendo com que não haja esforço de flexão no banzo superior.

B.1.1.1 Origem da treliça Howe¹

Em tempos distantes, o transporte de grandes cargas de mercadoria e matérias-primas era feito através de vagões. O peso destes carregamentos junto ao peso próprio do

¹ Fonte: site <http://ths.sps.lane.edu/english/Period3/David%5FMarchant/>. (tradução)

veículo ocasionava vibrações nas estruturas de pontes. Para suportar tais cargas, o sistema estrutural de pontes empregou inicialmente três tipos de treliças: a treliça Kingpost, a treliça Queenpost, e a treliça Howe.

A treliça de ponte mais simples e mais antiga é a Kingpost (Fig.24). É muito eficiente ao transferir a carga do centro do banzo inferior para os limites da ponte (apoios). Sua deficiência está no fato de que enquanto o vão a ser vencido aumenta, o comprimento do banzo superior (peça de maior comprimento) também aumenta.

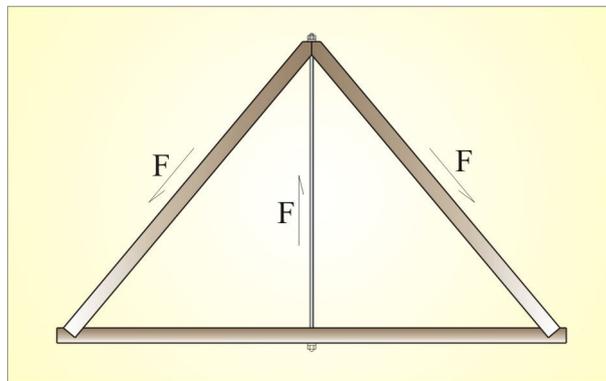


Figura 24 – Treliça Kingpost.

Fonte: elaboração própria a partir do site
<http://ths.sps.lane.edu/english/Period3/David%5FMarchant/>

Devido ao limite de comprimento das peças que dependiam das dimensões dos troncos das árvores, o sistema estrutural Queenpost foi adotado para vencer maiores vãos, substituindo o sistema Kingpost utilizado anteriormente.

O sistema estrutural de treliça Queenpost (Fig.25) utiliza uma peça, aqui chamada de corda superior, que permite a utilização de banzos superiores menores, podendo vencer vãos maiores.

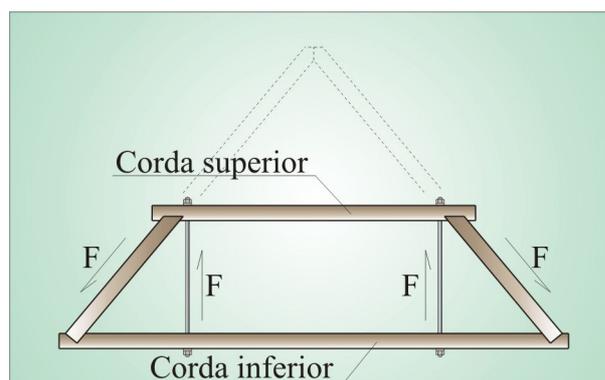


Figura 25 – Treliça Queenpost.
 Fonte: elaboração própria a partir do site
<http://ths.sps.lane.edu/english/Period3/David%5FMarchant/>

Por volta de 1840, William Howe desenvolveu mais uma variação da treliça Kingpost (Fig.26). O método de transferir carga do banzo inferior por barras de aço enfiadas verticalmente em uma série de diagonais (diagonais e montantes) permitiu vencer vãos ainda maiores. Com este sistema estrutural, a distância do vão vencido pode aumentar simplesmente aumentando o número de montantes e diagonais com a altura permanecendo constante.

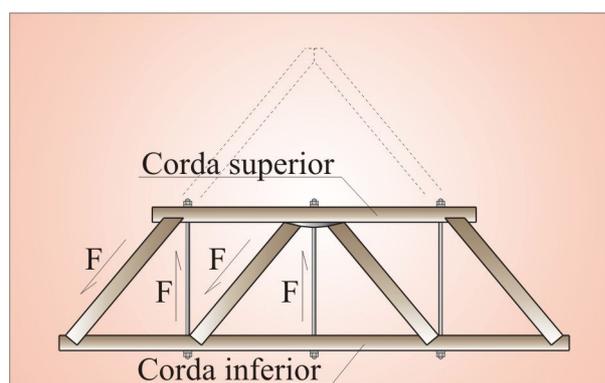


Figura 26 – Variação da treliça Queenpost.
 Fonte: elaboração própria a partir do site
<http://ths.sps.lane.edu/english/Period3/David%5FMarchant/>

Observa-se que a treliça acima apresenta a posição das diagonais de acordo com o sistema estrutural da treliça Pratt, onde ocorrem esforços contrários às peças da treliça Howe devido ao posicionamento diferenciado das peças. MOLITERNO (1981) faz um esclarecimento em relação a isto: a tesoura Howe feita com peças de madeira apresenta as diagonais na mesma posição que a trave Pratt para pontes de estrutura metálica.

2.3.1.2 Elementos Secundários

Os elementos secundários estruturam o plano de assentamento da cobertura e descarregam o peso desta na estrutura principal. Também fazem a ligação de uma estrutura principal com outra estrutura principal (união de duas tesouras).

Fazem parte destes elementos secundários as terças, as cumeeiras, os frechais, os contra-frechais, os caibros, as ripas e os rincões e espigões (Fig.27). Sendo que para a tesoura Howe de 12 metros de vão e telhados de duas águas, espigões e rincões não fazem parte de sua composição.

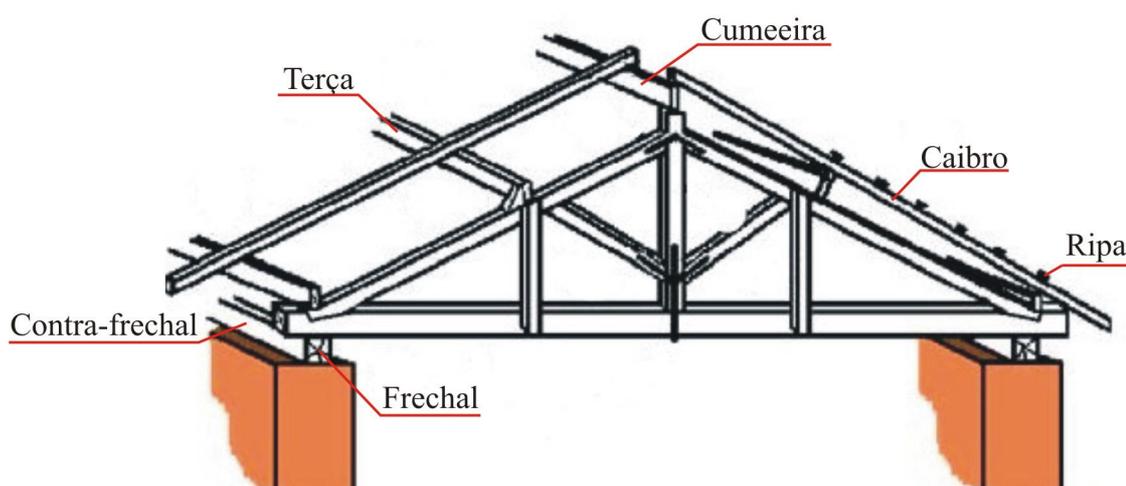


Figura 27 - Elementos secundários
Fonte: elaboração própria a partir do site
<http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

As terças são peças que servem de vigas e se apóiam nos banzos superiores das tesouras em pontos pré-fixados a constituírem os nós, ou seja, este ponto de apoio transmitirá o esforço da terça para as barras concorrentes da treliça, neste ponto. A terça, por sua vez, apóia os caibros colocados sobre elas de forma perpendicular. São sempre em número par e estão posicionadas de forma simétrica na tesoura. Porém as terças possuem um limite de comprimento, geralmente de 3 metros (medida comercial econômica) buscando minimizar o esforço de flexão nestas peças, o que acarretaria a utilização de peças mais robustas e conseqüentemente o aumento do custo da construção uma vez que a bitola não está no padrão de mercado. Assim pode-se dizer que este limite define a distância entre tesouras, para peças não emendadas.

A função da cumeeira é apoiar as extremidades superiores dos caibros. Pelo fato de ser uma peça única, ao contrário das terças, fica posicionada na concordância das águas mestras, e se apóia no pontalete.

O contra-frechal tem a função de apoiar a extremidade inferior dos caibros, se localizando no ponto mais próximo ao beiral. Estas duas peças também têm, geralmente, seu comprimento da ordem de 3 metros (equivalente ao comprimento da terças), para evitar grandes esforços de flexão.

Os frechais são peças que servem de vigas. A função destas peças é apoiar a estrutura principal na estrutura da edificação, distribuindo uniformemente o carregamento do telhado sobre a estrutura da edificação. Geralmente é utilizada em edificações que não utilizam paredes estruturais.

Os caibros são peças de dimensões menores que as das terças. Apóiam-se de forma perpendicular nas terças e servem de apoio para as ripas. Estas por sua vez se apóiam nos caibros de forma paralela as terças e servem de apoio para as telhas. O vão dos caibros é definido a partir da medida do vão vencido pela tesoura, pois esta distância definirá a quantidade de terças e a distância entre elas. A distância entre os caibros é obtida do dimensionamento que depende das cargas da cobertura, do peso próprio das ripas e do peso próprio dos caibros.

As ripas são os elementos onde apóiam diretamente as telhas, sendo as peças estruturais de menor seção dos telhados. Elas se apóiam nos caibros e estão afastadas umas das outras (vão entre elas) aproximadamente 33 cm, sendo que para telhas cerâmicas esta distância é definida por cada fabricante.

Os rincões e espigões são peças posicionadas nas concordâncias de planos ou águas dos telhados. O rincão é a peça posicionada onde as águas se concordam e formam uma aresta convergente (interna) e o espigão, por sua vez, está posicionado onde as águas se concordam e formam uma aresta saliente (externa). Estas peças são inclinadas em relação aos planos das estruturas principal e secundária e podem ser substituídas por tesouras e meias-tesouras.

3

LIGAÇÕES NAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

O correto funcionamento da estrutura dos telhados depende, dentre outros fatores, da execução de ligações adequadas entre os elementos componentes das tesouras, tais como Banzo Superior-Banzo Inferior, Banzo Superior-Diagonal, Banzo Superior-Pontaleta, Diagonal-Pontaleta, Banzo Inferior-Pontaleta, Cumeeira-Pontaleta, Contra-Frechal-Contra-Frechal bem como das ligações entre as tesouras e os elementos de contraventamento tais como Terça-Espigão, Terça-Rincão, Cumeeira-Espigão, Cumeeira-Rincão, etc.

A eficiência das ligações em estruturas de madeira depende de uma série de aspectos tais como o tipo de ligação, o comportamento elasto-plástico da madeira, além da qualidade do projeto e da mão-de-obra.

As ligações adequadas têm por finalidade a transmissão e distribuição correta dos esforços entre as peças a serem ligadas. O tipo de ligação será definido a partir do tipo de material, assim como da posição relativa da junção. Sempre seguindo as condições de estruturas treliçadas, ou seja, os eixos de todas as peças que concorrem em um nó devem convergir à apenas um ponto (nó teórico), além de todos os elementos componentes da tesoura estar em um mesmo plano (coplanaridade).

Dentre os tipos de ligações, as mais empregadas são: *colagem*, *pregos*, *grampos*, *abraçadeiras*, *pinos*, *parafusos*, *conectores metálicos*, *tarugos* e *sambladuras*. Neste último tipo de ligação os grampos e abraçadeiras são utilizados apenas como elementos auxiliares de montagem.

3.1 SAMBLADURAS

No tipo de ligação em destaque na pesquisa – a sambladura – a madeira trabalha a compressão associada ao corte, podendo-se também utilizar nestas ligações grampos ou parafusos como *conectores de segurança*.

Anteriormente as sambladuras eram utilizadas não somente para resistir a esforços de compressão, mas também para resistir a esforços de tração. Porém, pelo fato da execução se tornar complicada e a ligação não resistir a grandes esforços de tração, as ligações deste tipo ficaram restritas a estruturas com ligações comprimidas (KARLSEN, 1967).

A transmissão do esforço neste tipo de ligação é feita através do apoio das interfaces. Para PFEIL (1977), as sambladuras devem ser executadas com grande precisão, a fim de que as faces transmissoras de esforços fiquem em contato antes do carregamento. Havendo folgas, a ligação se deformará até que as faces se apoiem efetivamente, fazendo com o que esforços não previstos atuem na ligação.

Alem disso, CARDÃO (1979) comenta que a sambladura deve apresentar o aspecto mais simples possível, visto que se pode considerar, quase como regra geral, que são tanto mais fortes e resistentes quanto menos complicadas forem. As sambladuras concebidas de forma mais complicada são de grande dificuldade de execução e também enfraquecem a ligação pelo fato de requererem maiores cortes na madeira, conseqüentemente diminuindo a seção resistente da peça.

As sambladuras podem ser do tipo dente simples ou do tipo dente duplo dependendo da força aplicada à ligação. São dimensionados em função da resistência ao esmagamento e cisalhamento da madeira e não resistem a inversões de esforços devidos a ação do vento.

KARLSEN (1967) classifica as ligações com dentes em quatro tipos: 1) tipo normal (Fig.28a), na qual o dente simples é executado de maneira que a força aplicada pela peça comprimida atua perpendicularmente à superfície de corte; 2) tipo “cheek” (Fig.28b) em que a força aplicada pela peça comprimida atua perpendicularmente a superfície de um tarugo fixado entre as duas peças de madeira. E os outros dois tipos não podem ser classificados como sambladuras normais (Fig.28c e Fig.28d), pois permitem o aparecimento de tensões de tração perpendicularmente às fibras e devem ser evitados.

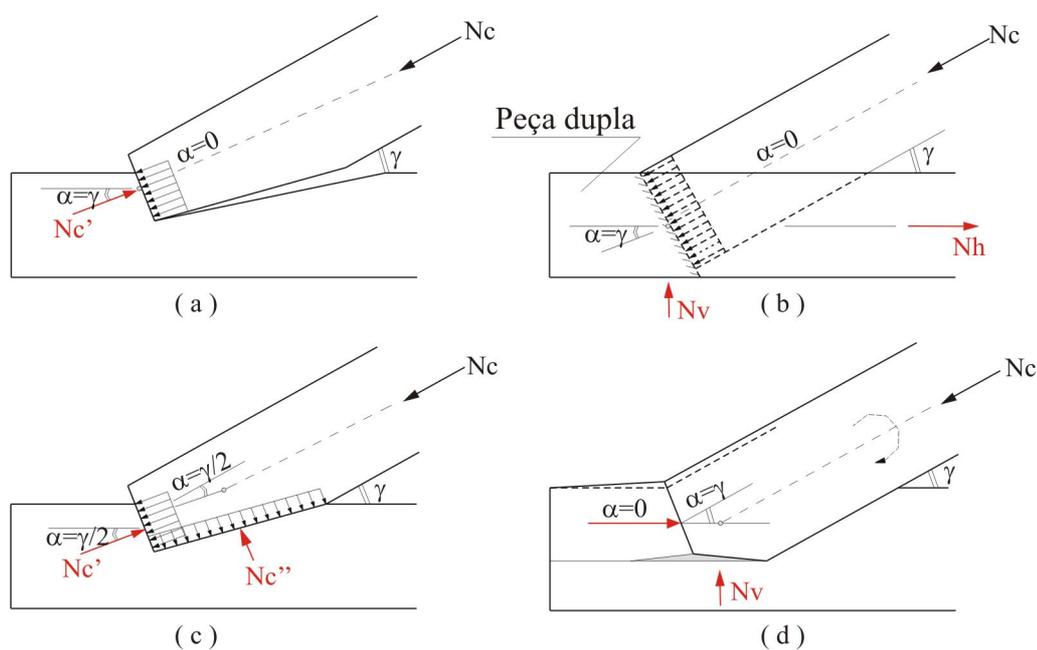


Figura 28 - Tipo de sambladuras com dentes simples.
Fonte: elaboração própria a partir de KARLSEN (1967)

As sambladuras não resistem à inversão de esforços devido à força do vento (MOLITERNO, 1981), sendo necessário o uso de abraçadeiras ou cobrejuntas nas ligações, para que se garanta a integridade estrutural da estrutura em questão.

KALRSEN ainda recomenda que os conectores de segurança (abraçadeiras, etc.) devem ser adotados quando $\gamma < 60^\circ$ a 55° (Fig.28).

3.2.1 LIGAÇÃO 1: Banzo Superior-Banzo Inferior

A ligação BANZO SUPERIOR-BANZO INFERIOR é executada através de sambladura ou corte no banzo inferior para o encaixe do banzo superior. A Fig.33 apresenta uma ligação deste tipo com um dente simples recuado. Observa-se aqui que todo o esforço proveniente do banzo superior é transferido para o banzo inferior através da única superfície de contato (na direção do dente).

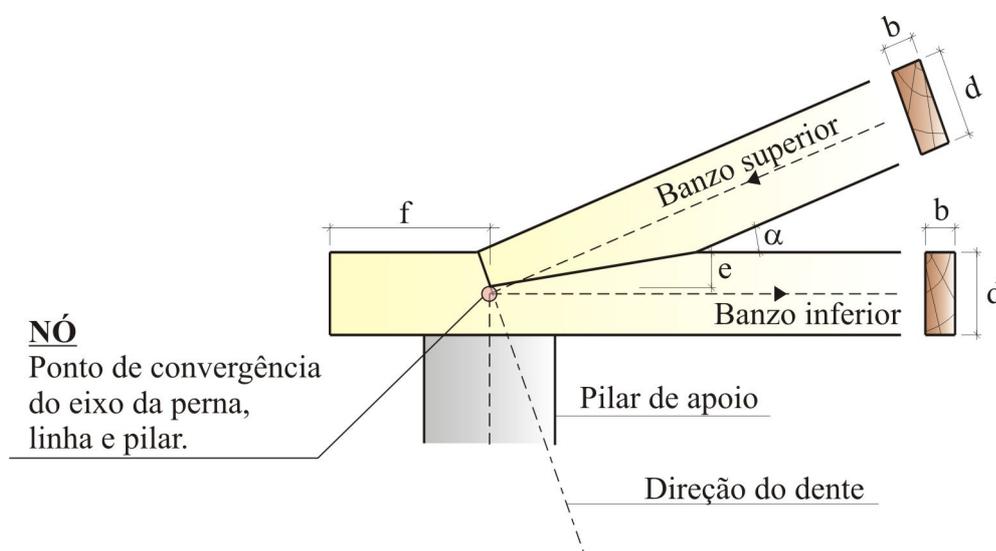


Figura 33 - Ligação BANZO SUPERIOR-BANZO INFERIOR c/ dente simples recuado.
Fonte: elaboração própria a partir do site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

Neste tipo de ligação a componente horizontal do esforço de compressão atuante no banzo superior tende a cisalhar (cortar) a base do entalhe do banzo inferior. A direção do dente, neste caso pode ser perpendicular ao banzo superior ou na direção da bissetriz do ângulo externo.

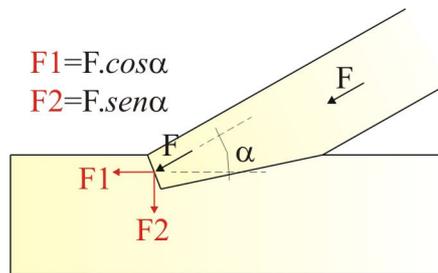


Figura 34 - Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig1).
Fonte: elaboração própria

O esforço de compressão atuante no banzo superior pode ser decomposto em uma parcela paralela às fibras (cisalhamento paralelo) e uma parcela perpendicular às fibras (compressão perpendicular) do banzo inferior (Fig.34).

A necessidade de adotar dente simples ou duplo é função do esforço resistido pela ligação e das dimensões das peças interligadas.

3.2.2 LIGAÇÃO 2: Banzo Superior-Diagonal

A ligação BANZO SUPERIOR-DIAGONAL (Fig.35) é feita através de dente simples entalhado na diagonal e uma cavidade feita no banzo superior da tesoura proporcionando um encaixe perfeito. Esta ligação só pode ser executada com dente simples devido à altura da peça a ser introduzido o dente e a dificuldade de execução de dentes duplos de pequenas dimensões.

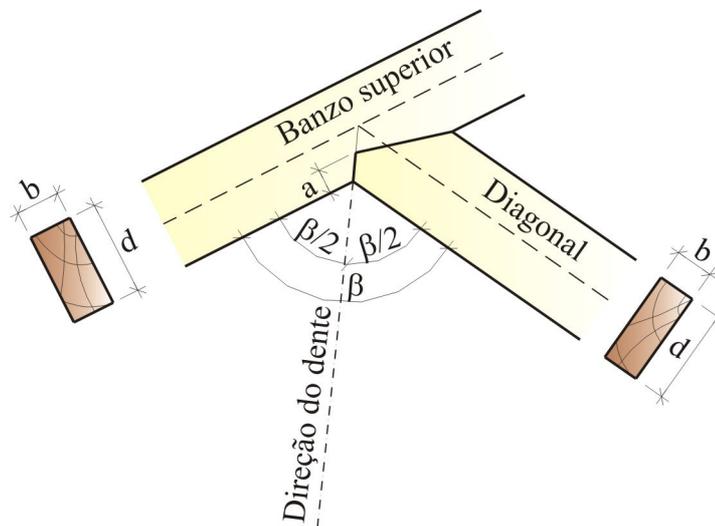


Figura 35 - Ligação BANZO SUPERIOR-DIAGONAL c/ dente simples.
 Fonte: elaboração própria a partir do site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

Sob condições normais de carregamento a diagonal trabalha comprimida entre o banzo superior e o pontalete. O dente deve, preferencialmente, ter superfície de contato perpendicular ao eixo da diagonal (Fig.36).

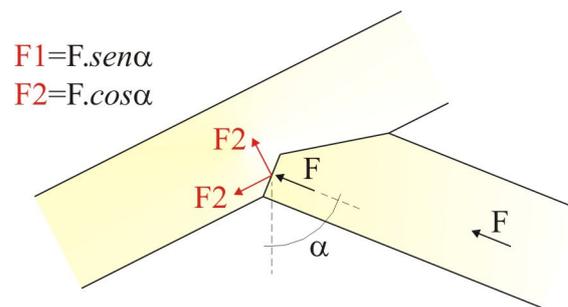


Figura 36 – Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig.2).
Fonte: elaboração própria

A força de compressão da diagonal também pode ser decomposta em uma parcela paralela às fibras no banzo superior (F_1) e em uma parcela perpendicular às fibras (F_2). Observar na Fig.36.

3.2.3 LIGAÇÃO 3: Banzo Superior-Pontaleta

Na ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE, são estabelecidos dois entalhes no pontaleta, um deles destinado à colocação do banzo superior direito e o outro destinado a colocação do banzo superior esquerdo.

É importante observar que próximo a este entalhe há outro recorte destinado à ligação da cumeeira no pontaleta (Fig.37), havendo a necessidade de estabelecer uma distância mínima entre eles (região de cota m) para resistir ao esforço cortante. Os dentes feitos no pontaleta também não devem comprometer sua resistência à tração, pois sua largura é reduzida em duas vezes a altura do dente.

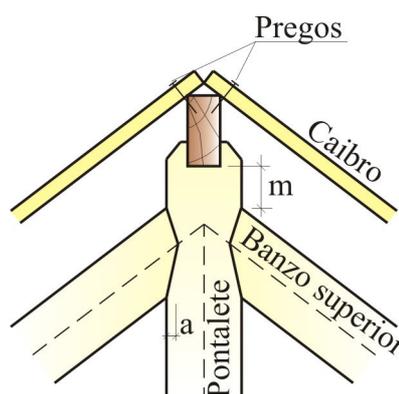


Figura 37 - Ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE c/ dente simples.
 Fonte: elaboração própria a partir do site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

Assim como a diagonal, os banzos superiores trabalham comprimidos e aplicam este esforço de compressão ao pontaleta. O detalhe apresentado na Fig.38a leva em conta o atrito para a estabilidade da peça (o que não deve ser feito). O detalhe apresentado na Fig.38b é o corriqueiramente utilizado.

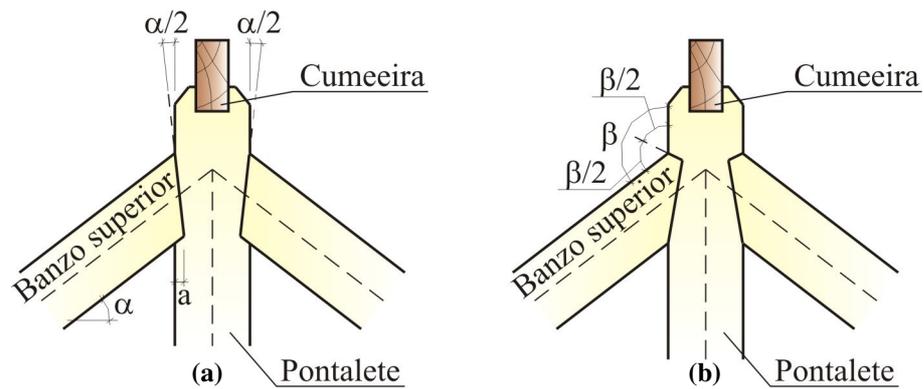


Figura 38 - Ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE c/ dente simples.
 Fonte: elaboração própria a partir do site <http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas>

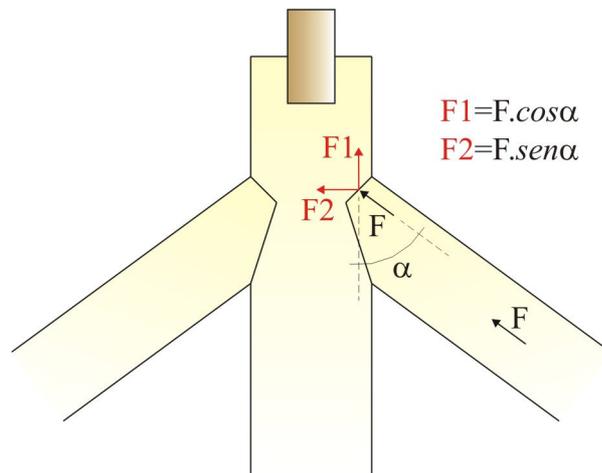


Figura 39 – Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig.3).
 Fonte: elaboração própria

Para esta ligação é necessário definir a altura do dente, a folga necessária para resistir a força cortante $F1$ e a largura do pontaleta, para resistir ao esforço de tração $2F1$ na região da ligação.

3.2.4 LIGAÇÃO 4: Diagonal-Pontalete

A ligação DIAGONAL-PONTALETE é similar à ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE, na qual o sistema de encaixe é feito através de simples endentação (Fig.40). A extremidade da diagonal é entalhada, formando um dente para a transmissão dos esforços para o pontalete que tem, por sua vez, um entalhe.

Da mesma maneira que a ligação Banzo Superior-Diagonal, o esforço de compressão atuante na diagonal é transferido para o pontalete. E para que esta transmissão seja feita corretamente o dente deve ser executado através de corte na direção perpendicular ao esforço.

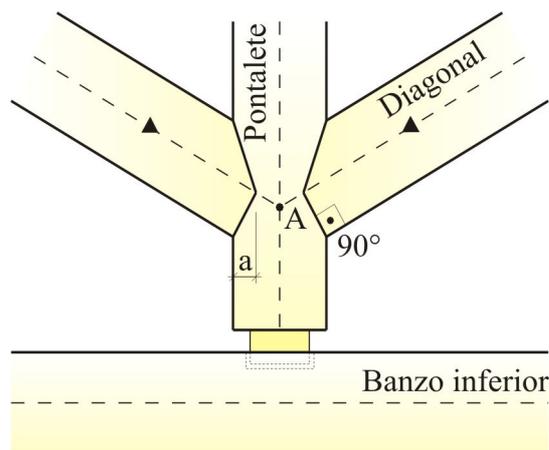
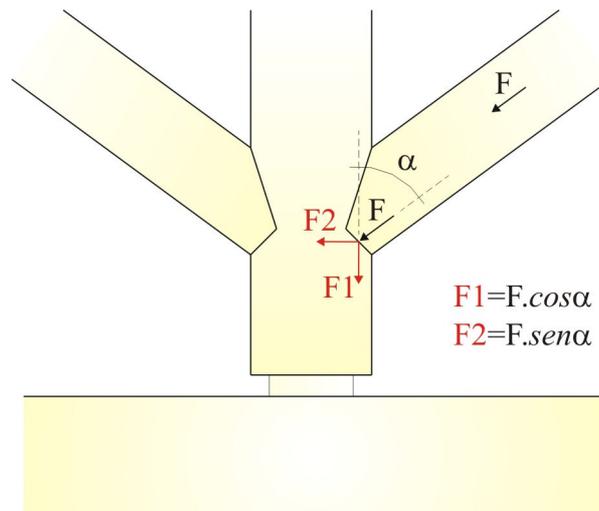


Figura 40 - Ligação DIAGONAL-PONTALETE c/ dente simples.
Fonte: elaboração própria



**Figura 41 - Distribuição das forças na região de contato entre as peças (Lig.4).
 Fonte: elaboração própria**

A força de compressão oriunda das diagonais são decompostas em parcelas paralelas às fibras do pontalete (F1) e perpendiculares à fibras do pontalete (F2). Observar Fig.41.

Para esta ligação também é necessário definir a altura do dente, a folga necessária para resistir a força cortante F1 e a largura do pontalete, para resistir ao esforço de tração 2F1 na região da ligação.

3.2.5 LIGAÇÃO 5: Banzo Inferior-Pontalete

Normalmente, para a ligação do tipo BANZO INFERIOR-PONTALETE (Fig.42) são utilizados dois tipos de dispositivos construtivos. No primeiro, a estabilidade no plano da tesoura é assegurada através de uma abraçadeira metálica e no segundo a estabilidade é assegurada através de respiga e mecha (ver seção 3.3).

A solução com mecha e respiga (Fig.45) tem a vantagem de não utilizar peças metálicas. É necessária a folga entre o fundo da mecha e o topo da espiga, de maneira a evitar a aplicação de força vertical no banzo inferior, pelo pontalete.

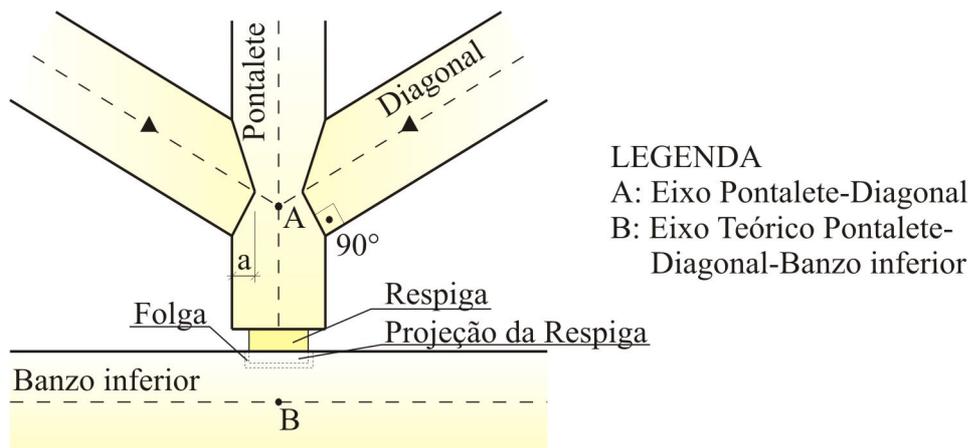


Figura 42 - Ligação BANZO INFERIOR-PONTALETE com respiga e mecha.
 Fonte: elaboração própria

A colocação da abraçadeira (Fig.43) tem a função apenas de manter o pontalete no plano da tesoura. Cabe observar que, neste caso, os eixos do pontalete e diagonais convergem para o ponto A, que não está contido no eixo do banzo inferior, devido à impossibilidade construtiva.

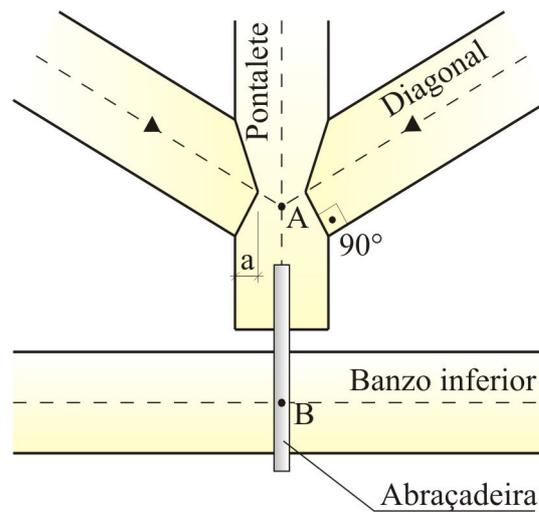


Figura 43 - Ligação BANZO INFERIOR-PONTALETE com abraçadeira.
Fonte: elaboração própria

A coincidência dos pontos A e B (Fig.42), como na teoria, pode ser conseguida na prática construindo-se a ligação como indicado na Fig.44. Observa-se que neste caso a abraçadeira deverá resistir ao esforço de tração, o transmitindo ao pontaletes.



Figura 44 - Ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE.
Fonte: elaboração própria

A: Eixo Diagonal-Pontaletes
 -Banzo inferior

3.3 LIGAÇÕES COM RESPIGA E MECHA

As ligações feitas por endentação também podem ser feitas pelo sistema de respiga e mecha², dependendo do tipo de estrutura.

A mecha é uma cavidade feita em uma das peças para o posterior recebimento da peça com a respiga (Fig.45). Pode ter função de transmitir esforços, ou simplesmente garantir o posicionamento relativo das peças, como na ligação banzo inferior / pontalete. Porém este sistema de ligação não será analisado neste trabalho.

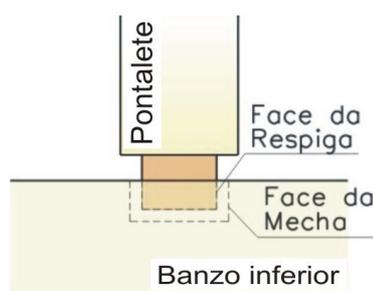


Figura 45 - Sistema de encaixe do tipo respiga e mecha.
Fonte: elaboração própria.

² A ligação respiga e mecha pode ser aplicada à qualquer ligação sujeita à compressão.

4

DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES DOS TELHADOS VISTORIADOS

O dimensionamento será feito de acordo com as prescrições da NBR 7190/97. Geralmente este tipo de ligação é executado sem projeto, baseando-se na experiência e intuição do carpinteiro ou através de ensaios simples.

Os valores resultantes do dimensionamento fornecem medidas da *altura do dente* e da *folga necessária* para resistir ao cisalhamento (Fig.46). A altura do dente é a profundidade do corte (na seção transversal) na peça de apoio, para o recebimento da outra peça constituinte na ligação. A folga, por sua vez, é a distância do dente à extremidade da peça de apoio. Os cálculos referentes à altura do dente à folga necessária têm como referência o cálculo das sambladuras encontrado no Caderno de Telhados em Estruturas de Madeira de (MOLITERNO, 1981).

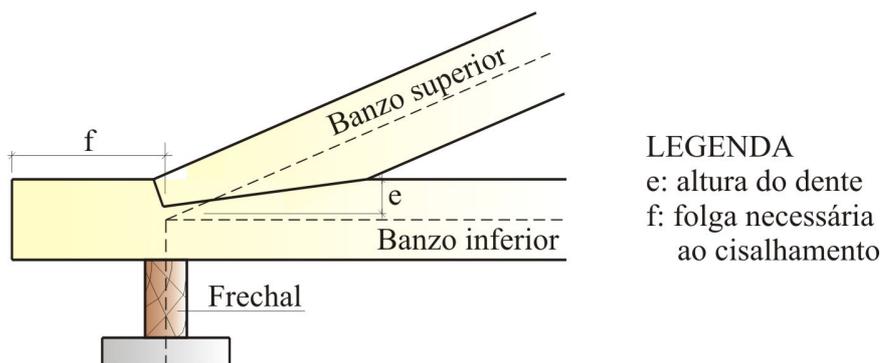


Figura 46 - Representação das medidas do dente e da folga
Fonte: elaboração própria a partir de MOLITERNO 1981

A resistência das peças é verificada através dos esforços solicitantes estimados, atuantes nas estruturas vistoriadas. A tração paralela às fibras é verificada nas peças sujeitas à tração (banzo inferior e pontalete) e a compressão paralela é verificada nas peças sujeitas à compressão (banzas superiores e diagonais), sob condições usuais de carregamento, sem levar em conta os efeitos do vento. Também não será de objetivo deste trabalho a verificação da condição de estabilidade lateral.

4.1 CÁLCULO DA ALTURA DO DENTE (e)

A altura do dente³ é a profundidade na qual é feito o recorte na madeira. De acordo com a Fig.47,

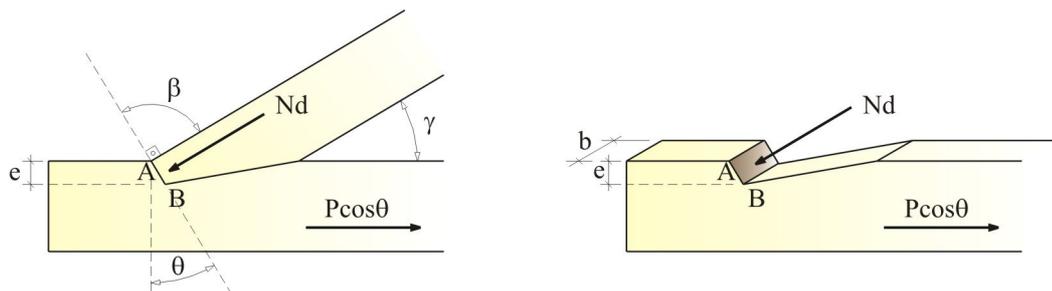


Figura 47 - Altura do dente

Fonte: elaboração própria a partir da apostila Estruturas de madeira: propriedades físicas e mecânicas. Autoria: Edgar Carrasco

$$AB = \frac{e}{\cos \theta}, \text{ assim } e = AB \times \cos \theta. \quad (\text{Eq.1})$$

Este tipo de cálculo é aplicado às ligações onde há cortes nas seções: Ligação 1 (Banzo Superior-Banzo Inferior), na qual o banzo inferior é a peça recortada, Ligação 2 (Banzo Superior-Diagonal), na qual o banzo superior é a peça recortada, Ligação 3 (Banzo Superior-Pontaleta), na qual o pontaleta é a peça recortada e a Ligação 4 (Diagonal-Pontaleta), na qual o pontaleta é a peça recortada.

Uma carga N_d atua sobre a área $AB \times b$, e causa uma tensão de

$$\sigma_{at} = \frac{N_d}{AB \times b}, \quad (\text{Eq.2})$$

ou seja,

³ A altura do dente é medida sempre na peça recortada.

$$\sigma_{at} = \frac{N_d \times \cos \theta}{e \times b}. \quad (\text{Eq.3})$$

Com

$$N_d = \gamma \times P. \quad (\text{Eq.4})$$

γ (coef. de majoração das cargas) é geralmente = 1,4.

Esta tensão atuante deve ser menor ou igual à resistência de cálculo da madeira inclinada de θ em relação às fibras, oriunda da fórmula de Hankison.

$$\sigma_{at} = \frac{N_d \times \cos \theta}{e \times b} \leq f_{ca,d}. \quad (\text{Eq.5})$$

Assim pode-se dizer que:

$$e \geq \frac{N_d \times \cos \theta}{f_{ca,d} \times b}. \quad (\text{Eq.6})$$

E generalizando $\gamma = \theta$,

$$e \geq \frac{N_d \times \cos \gamma}{f_{ca,d} \times b}. \quad (\text{Eq.7})$$

4.2 CÁLCULO DA FOLGA NECESSÁRIA AO CISALHAMENTO (f)

A folga necessária⁴ (Fig.48) é a dimensão mínima para que não ocorra ruptura devido ao esforço de cisalhamento.

Esta verificação será feita nas seguintes ligações: Ligação 1 (Banzo Superior-Banzo Inferior), Ligação 2 (Banzo Superior-Diagonal), Ligação 3 (Banzo Superior-Pontalete) e Ligação 4 (Diagonal-Pontalete).

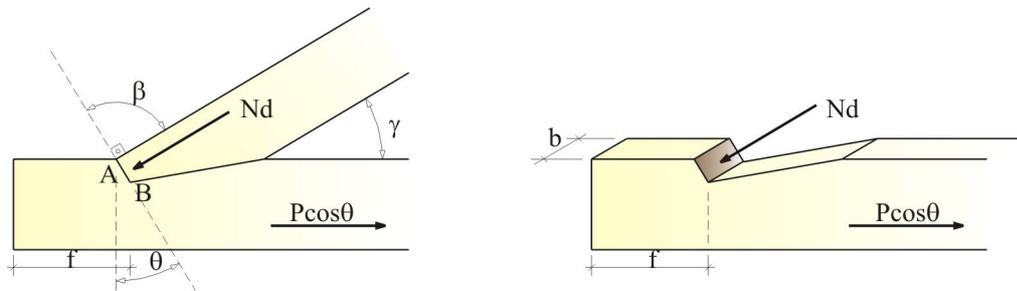


Figura 48 – Folga necessária ao cisalhamento.
Fonte: elaboração própria a partir da apostila Estruturas de madeira: propriedades físicas e mecânicas. Autoria: Edgar Carrasco

A tensão de cisalhamento ocorre na área $b \times f$ devido à força $N_d \times \cos \gamma$:

$$\tau_{at} = \frac{N_d \times \cos \gamma}{b \times f} \leq f_{v0,d} \quad (\text{Eq.8})$$

Assim:

$$f \geq \frac{N_d \times \cos \gamma}{b \times f_{v0,d}} \quad (\text{Eq.9})$$

⁴ A medida da altura do dente também é medida nas peças recortadas.

4.3 PARÂMETROS DA NBR 7190/97

A norma NBR 7190/97 é uma norma probabilística nos estados limites. A vantagem disto é o dimensionamento em regime de ruptura que permite a racionalização da segurança das estruturas.

A segurança na base probabilística trabalha com situações previstas (a estrutura deve ser adequada para o uso previsto e suporta todas as ações durante a construção e utilização) e com situações não previstas (danos causados por carregamentos especiais, excepcionais e de construção) procurando evitar ou amenizar os danos.

O princípio básico dos estados limites garante que a solicitação de cálculo (S_d) sempre seja menor ou igual à resistência de cálculo (R_d), ou seja:

$$S_d \leq R_d . \quad (\text{Eq.14})$$

E, além disso, a resistência de cálculo sempre é calculada de acordo com a sua minoração através da introdução de coeficientes de segurança:

$$R_d = k_{\text{mod}} \times \frac{R_k}{\gamma_w} . \quad (\text{Eq.15})$$

Esta resistência depende de um valor de resistência característico (R_k – obtido através de ensaios de laboratórios) minorado por um coeficiente de minoração (γ_w – que depende se a peça está sob efeitos de compressão, de tração ou de cisalhamento) e multiplicado por um coeficiente de modificação (k_{mod} – que depende do tipo, da umidade e da categoria da madeira).

Os esforços atuantes são calculados de acordo com os princípios da estática, admitindo em geral a hipótese de comportamento elástico linear dos materiais. A hiperastitidade só é admitida em ligações rígidas, ou seja, ligações com a utilização de quatro ou mais pinos que respeitam os diâmetros da pré-furação. Para pregos é preciso que os furos

obedeçam as dimensões especificadas no item 8.3.2 na NBR 7190/97 e para ligações parafusadas é preciso que o diâmetro do furo seja igual ao diâmetro do parafuso acrescido de 0,5mm.

5

FATORES DE INFLUÊNCIA NAS LIGAÇÕES

5.1 UMIDADE

A madeira é um material orgânico e sendo um material vivo, apresenta uma porcentagem de água em sua composição. Esta água provoca retração ou inchamento das peças, quando elas perdem ou ganham umidade. Isto ocorre desde o corte até sua adaptação ao clima na qual será instalada.

Em relação às ligações a umidade da madeira deve ser levada em consideração por provocar variação nas dimensões, principalmente em ligações onde os elementos estejam sob a ação de esforços de compressão.

De acordo com VITAL, B.R. et al. (2005), a madeira é classificada como um material poroso, anisotrópico e higroscópico. Sua porosidade faz com o que haja grande capacidade de adsorção de água devido à presença de hemiceluloses, de lignina e de celuloses, na qual a maior absorção acontece na região da parede celular. Na região da parede celular a água ocupa somente os espaços nas zonas amorfas das microfibrilas de celulose. As microfibrilas constituem as unidades fundamentais da parede celular dos elementos anatômicos das plantas. Nessas zonas, as ligações entre as cadeias de células

são muito mais fracas do que as correspondentes existentes nas regiões cristalinas, sendo os sítios disponíveis para ligação mais abundantes. A presença de água nas zonas amorfas provoca uma desorganização na estrutura molecular, com o surgimento de microporos transitórios, responsáveis pelo inchamento e retração da madeira de acordo com a umidade do ambiente. A madeira possui grande capacidade de absorver água e sob diferentes condições de umidade relativa e de temperatura, adquire diferentes teores de umidade, levando a mesma amostra de madeira a diferentes massas e volumes, devido à retração ou inchamento.

Em condições de umidade relativa baixa, a madeira apresenta um dado volume, que aumenta de acordo com o aumento do teor de umidade. Atinge o volume máximo quando acontece a saturação das fibras, cujo valor médio é cerca de 28% (ponto de saturação das fibras). Acima desse valor, a influência do teor de água não contribui para a variação dimensional da madeira (VITAL, 1984), entre outros.

A estabilidade da variação dimensional acontece quando a madeira atinge a umidade de equilíbrio higroscópico. Porém, à medida que a umidade relativa e temperatura do meio ambiente variam, alterações na umidade de equilíbrio da madeira resultam em alterações nas dimensões, ainda de acordo com VITAL, B.R. et al. (2005).

De acordo com CARRASCO (2004), o ponto de saturação das fibras, já dito anteriormente, é a umidade abaixo da qual toda a água existente é de impregnação. Segundo este autor essa umidade gira em torno de 33%. Junto a este conceito é definida a umidade de equilíbrio, onde após o tempo em contato com o ar atmosférico, o teor de umidade da madeira se estabiliza. Esta umidade de equilíbrio varia entre 12 a 15%, no Brasil. Sendo que, a norma brasileira especifica como referência o valor de 12% com a finalidade de aplicação estrutural e para ensaios e cálculos de valores de resistência.

Esta umidade de equilíbrio também é afetada pelo tempo de exposição, pela espécie da madeira e pela presença de extrativos. E ainda varia entre alburno (conjunto de camadas externas e permeáveis) e cerne (camada densa, mais resistente e interna) de uma mesma espécie e pela ação de tensões mecânicas. (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985)

Devido à anisotropia da madeira, as variações dimensionais da madeira ocorrem de forma diferenciada, segundo cada um dos eixos que compõem sua estrutura (direções radial, tangencial e longitudinal – Fig.49). Em geral, observa-se que a variação na direção tangencial é, aproximadamente, duas vezes maior que na direção radial, sendo menor na direção longitudinal. (PANSHIN e De ZEEUW, 1973)

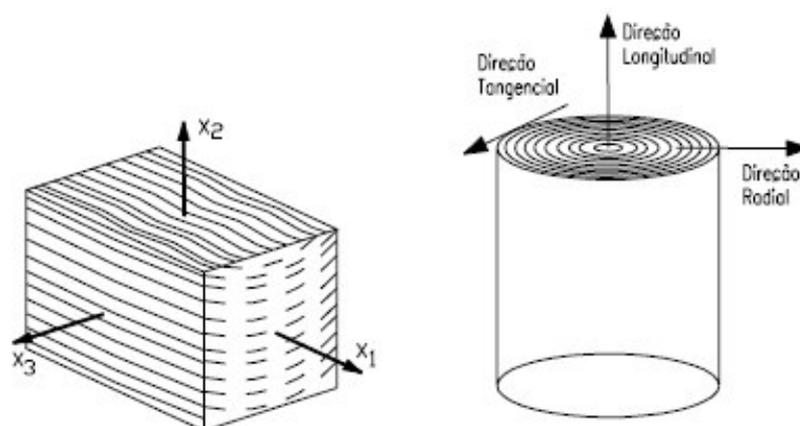


Figura 49 - Eixos relacionados com as direções das fibras da madeira.
Fonte: GESUALDO, Francisco A. Romero (2003).

Essas diferenças dimensionais se devem, à orientação das fibras em relação ao eixo longitudinal das células, à influência dos raios celulares, ao efeito do maior número de pontuações nas paredes radiais, à água absorvida ou desorvida nas regiões amorfas da celulose e à alternância dos lenhos inicial e tardio (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985). Segundo TSOUMIS (1991), a magnitude da contração e da expansão da madeira varia entre espécies, sendo maior em espécies com maior densidade.

Ainda de acordo com GESUALDO (2003), as madeiras mais estáveis quanto às suas dimensões, rachaduras e empenamentos são as que apresentam menores valores para as retrações e menores diferenças entre as retrações nas três direções consideradas. De acordo com a Fig.50, é possível observar no gráfico que a retração tangencial atinge

valores para variação dimensional até 10%, a retração radial, valores até 6% e a retração longitudinal valores até 0,5%.

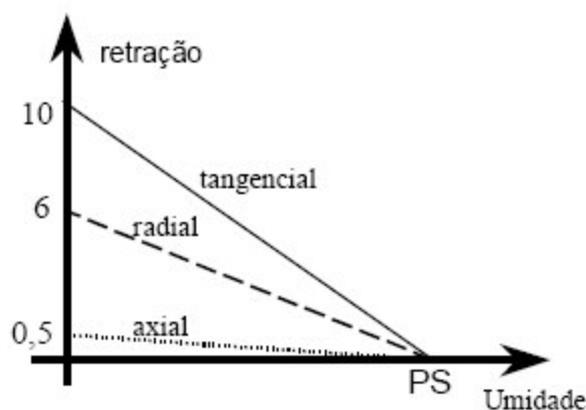


Figura 50 – Gráfico Retração x Umidade para espécie Eucalipto Citriodora
Fonte: GESUALDO, Francisco A. Romero (2003)

As variações dimensionais anisotrópicas são indesejáveis para determinados usos da madeira. (DURLO e MARCHIORI, 1992)

A resistência da madeira também varia com a variação do teor de umidade. O aumento do teor de umidade da madeira diminui sua resistência, sendo mais significativo para baixos teores de umidade, e praticamente desprezível para elevados teores de umidade.

Por exemplo, comparando-se a resistência de duas espécies, ou peças, a uma determinada solicitação, há a necessidade de se estabelecer um teor de umidade de referência, pois uma espécie de menor resistência e com baixo teor de umidade, pode aparentar maior resistência do que uma espécie mais resistente, porém com elevado teor de umidade.

Segundo LOGSDON e CALIL JR (2002). A consideração da madeira verde, ou seja, a madeira cujo teor de umidade encontra-se acima do ponto de saturação das fibras é recomendada pela antiga norma brasileira, NBR 7190 - Cálculo e Execução de

Estruturas de Madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1982). Esta norma é baseada no método determinista das tensões admissíveis e simplificava o problema uma vez que a madeira verde apresenta a resistência constante. Assim a resistência da madeira é subestimada, pois uma estrutura de madeira raramente estará em serviço com a madeira verde à exceção de estruturas submersas. Por mais que no início da construção a madeira esteja verde, ela secará ao longo da construção, e em serviço terá um teor de umidade muito inferior e consequentemente apresentará resistência superior à estimada. Com a nova versão da norma brasileira, NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira, da ABNT (1997), os métodos de cálculo são baseados no método probabilista dos estados limites, a exemplo da maioria das normas internacionais, adota a umidade de referência de 12%, como já foi dito anteriormente. A resistência das peças é comparada ao teor de umidade de referência de 12%. A atual norma brasileira também estabelece classes de umidade a fim do ajuste das propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais em que permanecerá a estrutura.

Na Tabela 1 são apresentadas as classes de umidade, de acordo com a NBR 7190/97.

Tabela 1 - Classes de umidade da madeira
Fonte: NBR 7190/97

CLASSES DE UMIDADE	UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE U_{amb}	UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Os valores de cálculo, de resistência e de rigidez são corrigidos a partir do momento em que se conhece a classe de umidade, supondo que a madeira trabalha em serviço, utilizando o coeficiente parcial de modificação k_{mod2} , que considera o teor de umidade da madeira em serviço e o tipo de material empregado. Na Tabela 2 são apresentados os valores deste coeficiente.

Tabela 2 - Valores de k_{mod2}
Fonte: NBR 7190/97

CLASSES DE UMIDADE	MADEIRA SERRADA MADEIRA LAMINADA E COLADA MADEIRA COMPENSADA	MADEIRA RECOMPOSTA
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

OBS.: Para madeira submersa, utiliza-se $k_{mod.2} = 0,65$. Fonte: NBR 7190/97

Para teores de umidade acima de 20% considera-se que a resistência e a rigidez da madeira sofrem apenas pequenas variações segundo a NBR 7190/97.

5.1.1 Umidade x Resistência (peças estruturais e ligações)

A fig.51 apresenta as curvas típicas utilizadas para representar a influência do teor de umidade sobre as propriedades de resistência e de rigidez, na qual as curvas **a** (fig.53 – na compressão normal às fibras) e **b** (fig.54 – na tração paralela às fibras) ocorrem com maior frequência. Na curva **c** a propriedade de resistência não depende do teor de umidade podendo acontecer em casos de flexão dinâmica (LOGSDON e CALIL JR., 2002).

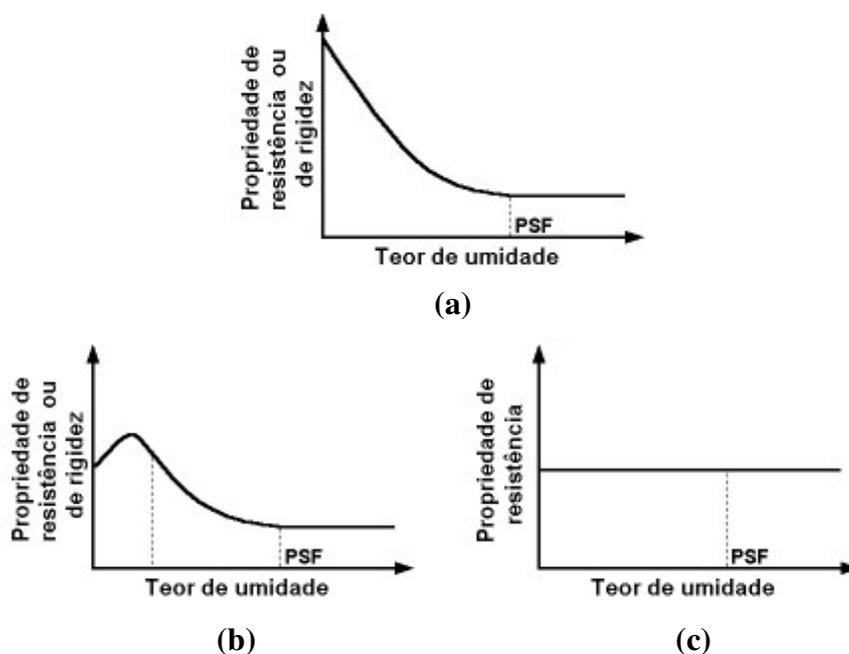


Figura 51 – Gráficos propriedades de resistência e rigidez x teor de umidade.
 Fonte: Logsdon & Calil Jr *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos 2002*

Outros autores podem ser citados a respeito da relação resistência-umidade, por exemplo, GREEN & PELLERIN (1991) e MADSEN (1992). Estes mostram que a relação resistência-umidade pode ser diferente para propriedades diferentes ou para madeiras de qualidade diferente. Segundo MADSEN (1992), a resistência à compressão paralela às fibras é altamente sensível à variação do teor de umidade, já a resistência à

tração paralela às fibras e o módulo de elasticidade são menos sensíveis. Para KRECH (1960) a resistência à flexão dinâmica praticamente não é afetada pela variação do teor de umidade. LIMA et al. (1986) observaram que, para o Eucalipto Saligna, *Eucalyptus saligna*, a resistência à tração normal às fibras não varia com a variação do teor de umidade. Em relação às propriedades de tração e compressão normal às fibras, MADSEN (1992), conclui que são altamente sensíveis à variação do teor de umidade.

Segundo LOGSDON e CALIL JR.(2002), a retirada das barras de toros deve seguir uma orientação específica, conforme mostrado na Fig.52.



Figura 52 – Posição da retirada das barras e orientação de seus anéis de crescimento.
Fonte: Logsdon & Calil Jr Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos 2002

A seguir são apresentados gráficos que comparam os *valores de resistência* com *avariação do teor de umidade* para alguns tipos de madeira. O primeiro (Fig.53) é o gráfico comparativo entre a resistência à compressão paralela às fibras. Nele pode-se notar que à medida que se aumenta o teor de umidade, diminui-se a resistência à compressão paralela às fibras.

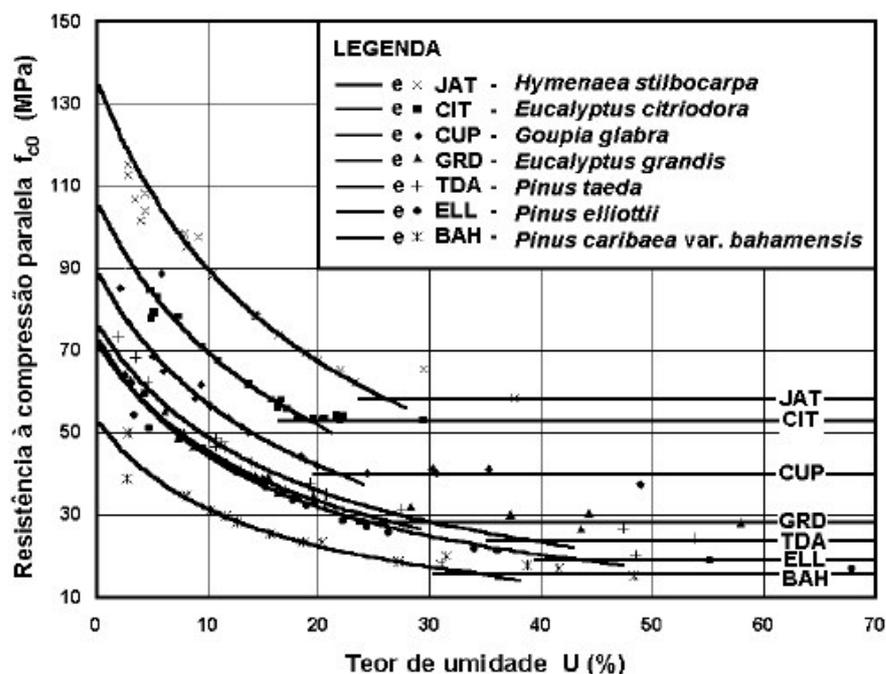


Figura 53 - Gráfico da variação da resistência à compressão normal às fibras com a umidade
 Fonte: Logsdon & Calil Jr *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos 2002*

O efeito de compressão paralela às fibras é encontrado nos elementos comprimidos das tesouras tipo Howe. Sob condições normais de carregamento este efeito é experimentado pelos banzos superiores e pela diagonal. Em relação ao gráfico da Fig.53 pode-se observar que é preciso prever a diminuição da resistência a este esforço pelo fato da seção resistente diminuir à medida que o teor de água presente na peça de madeira também diminui (retração).

O mesmo pode ser observado para a relação entre a variação da resistência à tração paralela às fibras (Fig.54), na qual os valores menores de resistência estão associados aos maiores valores de umidade.

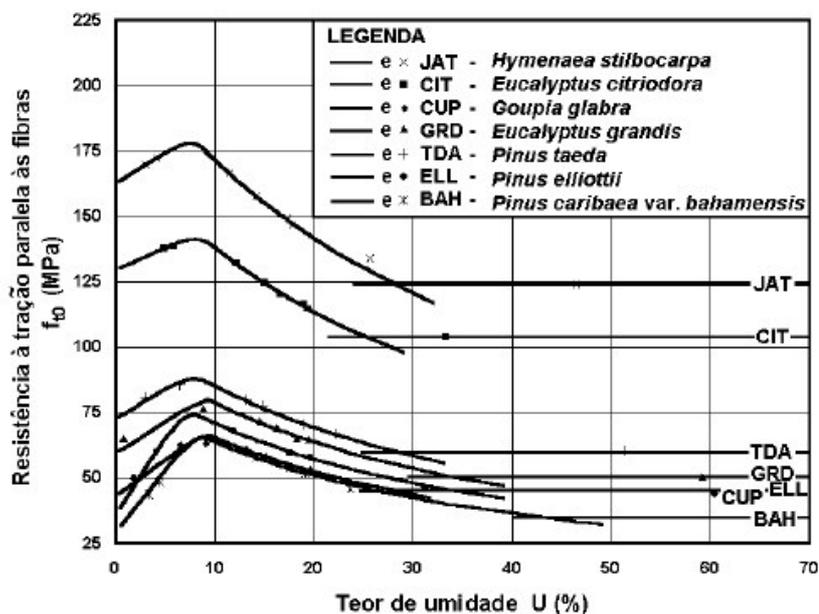


Figura 54 – Gráfico da variação da resistência à tração paralela às fibras com a umidade
 Fonte: Logsdon & Calil Jr *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos 2002*

Também sob condições normais de carregamento, esta redução da resistência deve ser observada nas peças dos pontaletes e do banzo inferior (peças tracionadas das tesouras Howe). Com a retração a seção resistente original é reduzida tangencialmente e radialmente de acordo com gráfico da Fig.50.

E nas Fig.55 e Fig.56 pode ser observado que à medida que se aumenta o teor de umidade há uma queda no valor das resistências ao cisalhamento paralelo às fibras e no módulo de elasticidade transversal.

O efeito de cisalhamento é o efeito de corte associado às ligações entre os elementos das tesouras. Nos cálculos de altura do dente e da folga necessária (vistos anteriormente) é levada em consideração a área da seção resistente. Assim à medida que a área desta seção resistente diminui, a tensão atuante aumenta (são inversamente proporcionais). Sendo preciso que haja uma previsão da área resultante após o equilíbrio da umidade para que a ligação resista ao esforço correspondente.

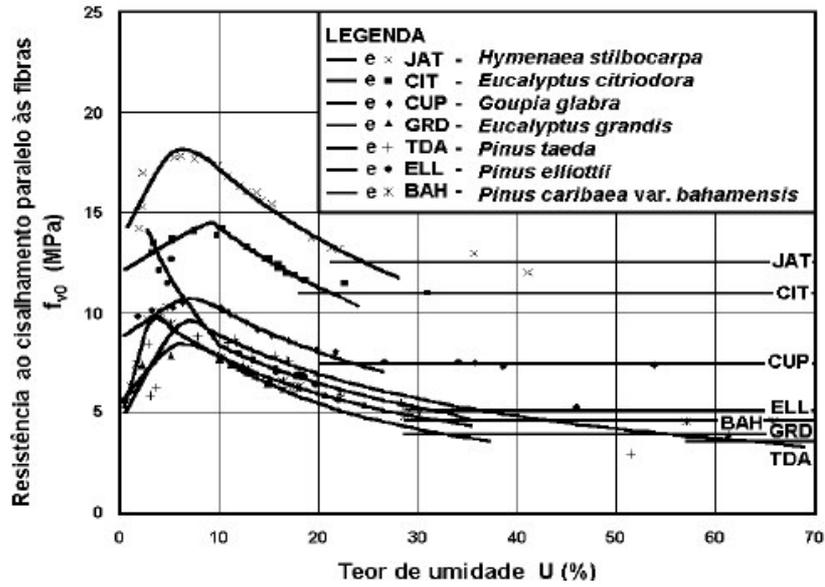


Figura 55 – Gráfico da variação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras com a umidade
 Fonte: Logsdon & Calil Jr *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos 2002*

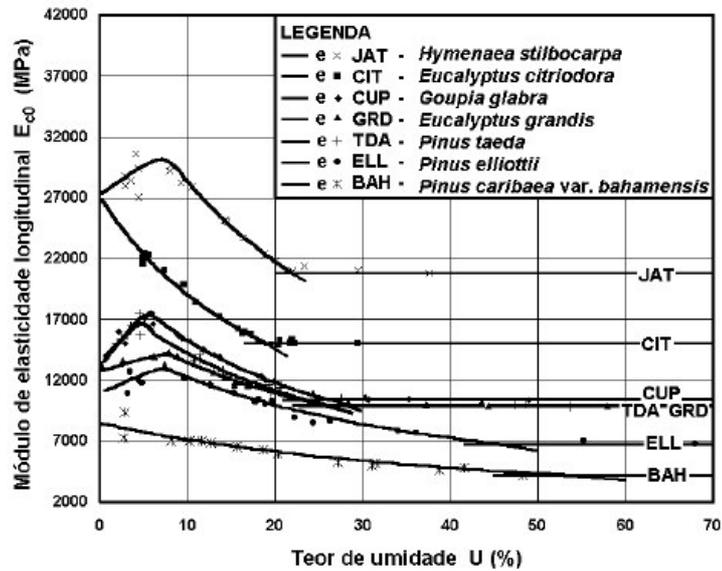


Figura 56 - Gráfico da variação do módulo de elasticidade longitudinal, extraído do ensaio de compressão paralela às fibras, com a umidade
 Fonte: Logsdon & Calil Jr *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos 2002*

5.1.2 Umidade x Densidade

A densidade aparente é a razão entre o peso do corpo de prova e o seu volume aparente, ou seja:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{v} \quad (\text{Eq.20})$$

Sobretudo, ao contrário da relação da umidade com as resistências, o aumento do teor de umidade acarreta um aumento na densidade aparente (Fig.57). Quanto maior a densidade aparente, maior serão as características mecânicas, de acordo com CARRASCO (2004).

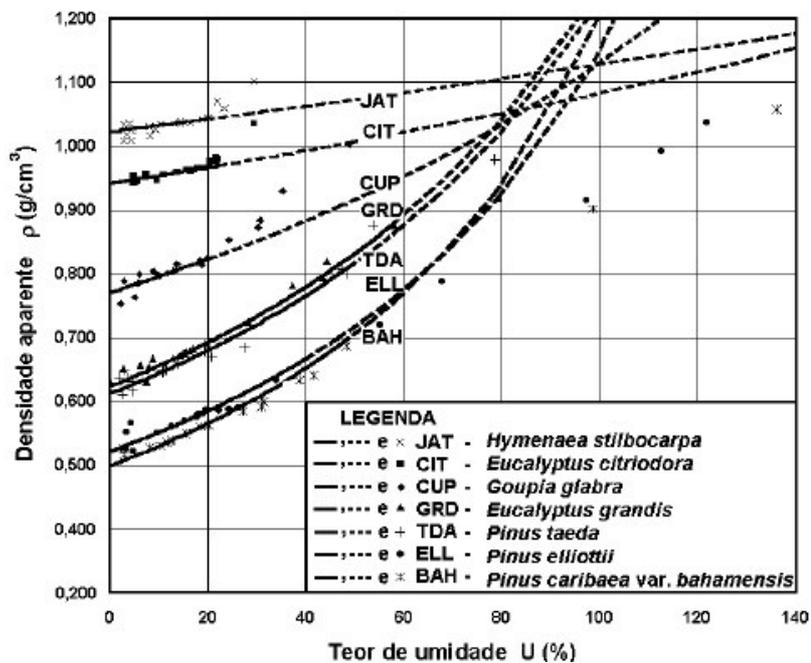


Figura 57 – Gráfico da variação da densidade aparente com a umidade.
 Fonte: Logsdon & Calil Jr *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos 2002*

5.1.3 Umidade x Temperatura

A temperatura também está relacionada com o teor de umidade contido na madeira. De acordo com CALIL JR. (2002) em relação à circulação da umidade na madeira e a temperatura, pode-se dizer que, quanto mais elevado for o grau de umidade da madeira, melhor será o coeficiente de circulação da umidade. A elevação de temperatura aumenta este coeficiente. Pode-se pensar que quanto maior a temperatura, mais rápida será a secagem e conseqüentemente os efeitos desta secagem na variação dimensional da madeira (neste caso retração). Mas, para uma temperatura muito elevada, irá haver uma evaporação da umidade superficial muito mais rápida que a circulação da umidade interna. Há, entretanto, pouca probabilidade da água sob forma de vapor poder passar pelas pequenas aberturas que existem na parede celular. Sendo assim, em temperaturas mais baixas a difusão de água através da parede celular é mais importante, ao passo que em temperaturas elevadas é mais importante a difusão do vapor através das pontuações e outras aberturas maiores.

Segundo STEIN (2003) a variação do teor de umidade da madeira é influenciada por diversos fatores, os quais são classificados como: fatores internos, relacionados com a própria madeira e como fatores externos, relacionados com os fatores atmosféricos. Podem ser destacados dentre os fatores internos: a espécie da madeira, o tipo de madeira, o teor inicial de umidade e a direção das fibras. Em relação aos fatores externos, podem ser citados: a temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar. Estes fatores externos são influenciados por condições locais, tais como elevação, topografia, drenagem do terreno e massas de água existentes nas proximidades.

5.2 ESPÉCIE DE MADEIRA

Em relação aos telhados construídos em estruturas de madeira, a maioria atualmente é feita com peças de maçaranduba (ou parajú). De acordo com DAMIANI e AZUMA (2005) a espécie de madeira possui grande peso próprio, alta retratibilidade volumétrica e alta resistência mecânica. Possui alta durabilidade natural e tendência a rachar se pregada ou parafusada sem furação prévia.

Abaixo, o quadro se refere às propriedades físicas da madeira da espécie maçaranduba. Os valores desta tabela são referentes à testes encontrados no site <http://www.mohr.com.br/madeiras.htm#Maçaranduba%20ou%20Paraju>. Estes testes foram realizados segundo a Norma Brasileira MB-26/53 – ABNT (NBR6230/85-INMETRO), e são resultados médios para uma árvore.

Tabela 3 – Propriedades Físicas da madeira Maçaranduba.
 Fonte: site <http://www.mohr.com.br/madeiras.htm#Maçaranduba%20ou%20Paraju>

PROPRIEDADES FÍSICAS – MAÇARANDUBA (ou Parajú)			Classificação	
Massa específica aparente (Densidade) a 15% de umidade (g/cm^3)		1,00	Muito pesada	
Contratações (%) (do p.s.f. até 0% de umidade)	Radial	6,8	Alto	
	Tangencial	11,0	Média	
	Volumétrica	19,0	Média	
	Coeficiente de rentabilidade volumétrica	0,69	Alto	
PROPRIEDADES MECÂNICA			Classificação	
Compressão axial	Limite de resistência (kg/cm^2)	Madeira verde	610	Alto
		Madeira a 15% de umid.	754	Alto
	Coeficiente de influencia da umidade (%)		4,1	Médio
	Coeficiente de qualidade $\sigma / 100D$ a 15% de umidade		7,6	Médio
	Limite de proporcionalidade–madeira verde (kgf/cm^2)		427	Alto
	Modulo de elasticidade–madeira verde (kgf/cm^2)		169.100	Alto
Flexão estática	Limite de resistência (kg/cm^2)	Madeira verde	586	Alto
		Madeira a 15% de umid.	1.658	Alto
	Relação L/F – Madeira verde		34	Média
	Limite de proporcionalidade–madeira verde (kgf/cm^2)		586	Alto
Modulo de elasticidade–madeira verde (kgf/cm^2)		169.100	Alto	
Choque (madeira seca ao ar)	Trabalho absorvido (kgf.m)		3,36	Médio
	Coeficiente de resistência R		0,52	Médio
	Cota dinâmica R/D^2		0,58	Baixa
Cisalhamento – madeira verde (kgf/cm^2)		136	Alto	
Dureza Janka – madeira verde (kgf)		980	Alto	
Tração normal às fibras – madeira verde (kgf/cm^2)		84	Média	
Fendilhamento – madeira verde (kgf/cm^2)		8,9	Médio	

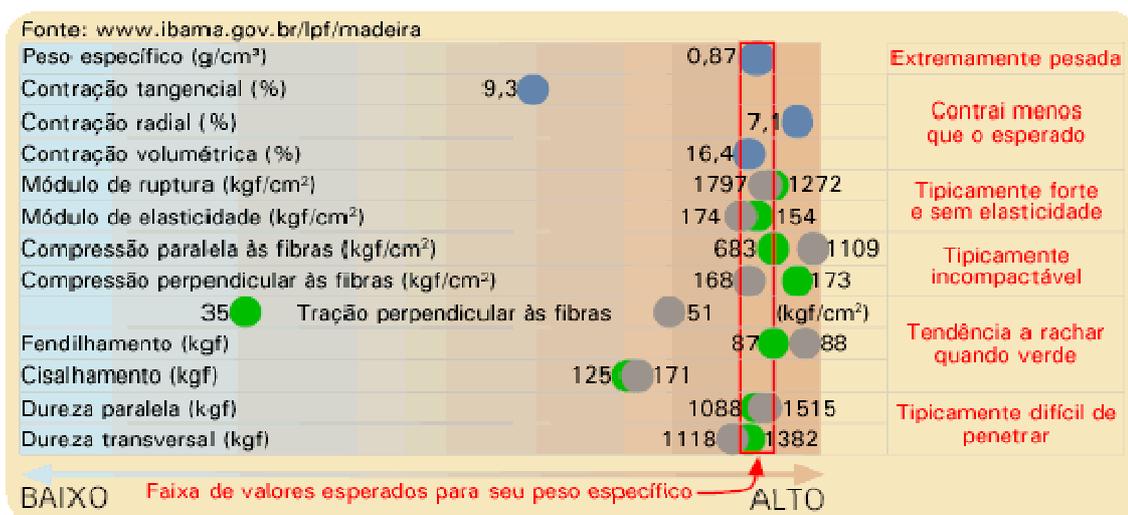


Figura 58 - Características mecânicas da maçaranduba.
 Fonte: site www.ibama.gov.br/lpf/madeira

Em relação aos telhados vistoriados, pela a maioria deles ter utilizado a Peroba do Campo, também serão apresentados aqui as características mecânicas referentes a esta espécie.

Tabela 4 – Propriedades Físicas da madeira Peroba do Campo.

Fonte: site <http://www.ipt.br/areas/ctfloresta/lmpd/madeiras/consulta/?madeira=71>

Nome científico: <i>Paratecoma peroba</i> (Record & Mell) Kuhl., Bignoniaceae.
Outros nomes populares: ipê-claro, ipê-peroba, ipê-rajado, peroba-branca, perobinha.
Nomes internacionais: peroba-de-campos (ATIBT,1982; BSI,1991), white peroba (ATIBT,1982; BSI,1991).
PROPRIEDADES FÍSICAS
Densidade de massa (ρ):
• Aparente a 15% de umidade ($\rho_{ap, 15}$): 730 kg/m ³ . Fonte: (IPT,1989a)
Contração: • Radial: 4,0 % ; • Tangencial: 7,0 % ; • Volumétrica: 11,7 %
PROPRIEDADES MECÂNICAS
Flexão:
• Resistência (f_M): Madeira verde: 97,1 MPa ; Madeira a 15% de umidade: 116,3 MPa
• Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 41,0 MPa
• Módulo de elasticidade - Madeira verde: 10326 MPa
Compressão paralela às fibras:
• Resistência (f_{c0}): Madeira verde: 45,0 MPa ; Madeira a 15% de umidade: 54,0 MPa
• Coeficiente de influência de umidade: 3,4 %
• Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 34,9 MPa
• Módulo de elasticidade - Madeira verde: 12150 MPa
Outras propriedades:
• Resistência ao impacto na flexão - Madeira a 15% (choque) trabalho absorvido: 37,3 J
• Cisalhamento - Madeira verde: 11,7 MPa
• Dureza janka paralela - Madeira verde: 6394 N
• Tração normal às fibras - Madeira verde: 7,3 MPa
• Fendilhamento - Madeira verde: 0,85 MPa
Resultados obtidos de acordo com a Norma ABNT MB26/53 (NBR 6230/85). Fonte: (IPT,1989a)

Em relação aos eucaliptos (espécies também utilizadas para construção de estruturas de madeira), segundo PONCE (1995), há muita variação quanto às contrações, mas de modo geral são muito grandes. Entre as espécies ensaiadas as contrações tangenciais variam de 7,8% no *E. corymbosa* a 21,9% no *E. globulus* e a contração radial de 3,5 % a 8,5%, respectivamente. Contudo, estudos recentes realizados com madeiras de *E. grandis* de várias procedências e origem mostraram grandes diferenças nos valores de contrações tangenciais e radiais, registrando-se amostras de toras com resultados muito próximos do mogno, enquanto outras toras mostraram valores que as caracterizam como madeiras de grande instabilidade dimensional.

Ainda de acordo com PONCE (1995), os estudos feitos em relação à madeira serrada de eucaliptos têm demonstrado que este tipo de madeira pode ser utilizado em muitas aplicações em substituição das espécies nativas. Dentre as utilizações pode-se citar as estruturas para telhados. Ainda de acordo com este autor, estas estruturas de telhados foram produzidas com bom desempenho para vãos até 12 metros, na qual a durabilidade pode ser conferida após 15 anos, em perfeitas condições. Dentre as espécies utilizadas para este fim estão *E. saligna* de 25 anos procedente de Capão Bonito, Estado de São Paulo, *E. grandis* em estruturas leves; *E. citriodora* e *E. tereticornis* em estruturas mais pesadas.

5.3 INTEGRIDADE ESTRUTURAL

Integridade Estrutural é o nome modernamente dado ao conjunto das ciências e técnicas necessárias à previsão do desempenho e da vida útil de estruturas, componentes estruturais e peças sujeitas a carregamentos reais em situação de serviço.⁵

De acordo com CRUZ (2002), o conceito de componente estrutural é aplicado a um equipamento, a uma peça ou a partes de uma estrutura, projetados para resistir à ação de carregamentos. Assim, os exemplos de componentes estruturais vão desde pequenos utensílios domésticos até grandes equipamentos em escala industrial. As estruturas estão sujeitas à falhas. Essas falhas ocorrem devido a erros de projeto ou condições de operação (ou de execução) incorretas, além da qualidade do material utilizado. Estes componentes estruturais sofrem, ainda, um processo de degradação e acumulam os danos ao longo de sua vida operacional, mesmo em condições de carregamento normais. Assim, elementos estruturais necessitam ter sua integridade estrutural garantida. E mais: a aplicação da integridade estrutural permite prever o comportamento futuro de um elemento estrutural, de modo que decisões de projeto e construtivas possam ser tomadas com relação às suas necessidades de concepção, inspeção, monitoração, eventuais reparos ou mesmo sua substituição.

A garantia da integridade de uma estrutura garante conseqüentemente a segurança de trabalhadores, do público em geral, do meio ambiente. Além deste aspecto da segurança, em conjunto com ações de concepção, de manutenção e de controle da degradação de componentes estruturais, este conceito é aplicado para gerar condições que prolongam a vida útil dos componentes estruturais com significativos ganhos econômicos.

De acordo com o CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear) em seu site http://www.cdtm.br/pesquisa/tec_nuclear.asp, diz que a avaliação de integridade estrutural envolve diferentes disciplinas de engenharia, sendo as principais: análise de

⁵ Conceituação de acordo com o site <http://www.mec.puc-rio.br/prof/jlfreire/intestr.html>.

tensões, comportamento mecânico dos materiais e mecânica da fratura. A análise de tensões (teórica, experimental ou utilizando-se métodos numéricos) é realizada para determinar a distribuição de tensões em regiões críticas dos componentes. Nos telhados estas regiões críticas são as ligações propriamente ditas. Nelas há um acúmulo de tensões. Ensaio mecânicos são necessários para determinação das propriedades de resistência mecânica dos materiais. O comportamento mecânico do material utilizado na estrutura também precisa ser definido para o fornecimento dos indícios dos mecanismos de degradação que podem levar às falhas. A mecânica da fratura é aplicada para análise do crescimento e instabilidade de defeitos (por exemplo, trincas) em componentes estruturais. Para desenvolver as análises de mecânica da fratura é necessário conhecer a localização e a geometria desses defeitos. Esta localização é realizada através de ensaios não destrutivos. Para se fazer avaliações sobre a integridade estrutural é também necessário estabelecer os principais mecanismos que provocam a degradação dos componentes (fadiga, fluência, corrosão, umidade, etc.), dependendo do tipo de material empregado na estrutura.

6

MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos utilizados buscam atender os objetivos definidos na introdução do trabalho proposto. Ou seja, o fornecimento do correto detalhamento das ligações (objetivo geral) sendo obtido através dos objetivos específicos: o levantamento dos problemas existentes nas ligações, nas estruturas de telhados antigos e recentes, apresentando soluções práticas e econômicas e a apresentação de equações para dimensionamento dos detalhes.

6.1 PESQUISA DE CAMPO

O levantamento dos problemas existentes nas ligações das estruturas de telhados antigos e recentes é o primeiro objetivo específico deste trabalho. A etapa da pesquisa de campo foi necessária para a vistoria dos telhados das edificações com a finalidade da obtenção de dados para a análise e dimensionamento.

As edificações a serem vistoriadas foram selecionadas através do tipo de estrutura em destaque no trabalho proposto. Os telhados deveriam possuir no mínimo duas águas, com cobertura em telhas cerâmicas e estruturas de madeira com tesoura tipo Howe, vencendo vãos de até 12 metros.

Desde a elaboração do projeto foi pretendida a comparação dos detalhes de ligações em telhados antigos e recentes. Por isso a procura por edificações a serem vistoriadas partiu primeiramente de visitas a sites relacionados a patrimônios históricos, na busca de exemplares mais antigos a serem vistoriados.

A vistoria a edificações mais antigas dependeu de um contato prévio com o próprio estabelecimento para a possível visita, que na maioria das vezes foi acompanhada por funcionários ligados à manutenção dos edifícios, no caso as edificações do Arquivo Mineiro, da E. E. Afonso Pena, do Instituto de Educação, do Centro de Treinamento da Fundação Cristiano Otoni, do Automóvel Clube e do Batalhão do Corpo de Bombeiros.

As edificações mais recentes foram escolhidas de acordo com a acessibilidade aos telhados e a disponibilidade de moradores das edificações, por se tratar, na maioria das vezes, de residências, mais especificamente a edificação da Yara Restaurações, da Residência na Pampulha e do Clube Recreativo Palmeiras.

Ainda foram vistoriadas igrejas em Ouro Preto, com o objetivo de uma visão histórica da construção de ligações de séculos anteriores, sendo estas mostradas no anexo B deste trabalho, por não apresentarem estruturas em forma de tesouras Howe tradicionais. Outro tipo de tesoura, também mostrado no Anexo B, foi encontrado nos edifício do Tribunal de Justiça de Belo Horizonte, na Igreja de Lourdes e na Capela Nossa Senhora do Rosário, todos situados em Belo Horizonte.

Os relatórios de vistorias contêm dados referentes às dimensões das peças utilizadas nas estruturas e aos diagramas de telhados, além de registros fotográficos.

Os resultados e análises sobre os relatórios de dados e de fotografias obtidos nesta fase da pesquisa serão apresentados no capítulo 8.

6.2 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Para verificação da adequabilidade das peças e detalhes de ligações serão utilizadas prescrições das normas NBR 7190/97 (norma vigente brasileira).

A verificação das ligações (altura do dente e folga necessária) teve como base o cálculo das sambladuras obtido no Caderno de Telhados em Estruturas de Madeira de autoria de Antônio Moliterno (1981). O motivo da escolha por Moliterno foi pelo fato do conteúdo mais completo sobre este tipo de ligação, uma vez que não se encontra este tipo de cálculo prescrito em normas.

Em relação à verificação da ligação: Banzo Inferior-Pontalete será comparado o deslocamento calculado com as dimensões existentes na situação vistoriada.

7

RESULTADOS

7.1 RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO

7.1.1 Edificação 1: Arquivo Mineiro

a) Data da vistoria: 10/08/2005

b) Histórico: o arquivo público teve sua primeira sede em Ouro Preto em 1895, funcionando inicialmente na residência de seu fundador e primeiro diretor, José Pedro Xavier da Veiga. Transferida para Belo Horizonte em 1901, a Instituição teve sedes provisórias, até que em 1938 passou a ocupar o prédio atual. A casa em que se situa atualmente foi construída em 1897 e pertence ao conjunto arquitetônico de Belo Horizonte, composto pelo Palácio da Liberdade, as secretarias de estado na Praça da Liberdade. Fonte: Arquivo Mineiro.

c) Localização: Avenida João Pinheiro, 372 – Bairro Funcionários – Belo Horizonte.

d) Telha: cerâmica do tipo colonial.

- e) Madeira da estrutura: Pinho de riga (origem europeia)
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 8cm x 20cm; banzo inferior: 8cm x 20cm; pontalete: 8cm x 20cm; diagonal: 8cm x 15cm.
- g) Vão total da tesoura: 11,60m.
- h) Distância entre tesouras: 4m.
- i) Relatório Fotográfico



Foto 1 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples e conector de segurança metálico em forma de grampo.
Fonte: autora.



**Foto 2 - Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 3 - Ligação Banzos Superiores-Pontalete com dente simples e conector de segurança em chapa de aço.
Fonte: autora.**



**Foto 4 - Ligação Diagonais-Pontaletes com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 5 - Ligação Pontaletes-Banzo Inferior com sistema de respiga e mecha
e sistema de abraçadeira metálica.
Fonte: autora.**

7.1.2 Edificação 2: Residência em Santa Efigênia

- a) Data da vistoria: 17/08/2005
- b) Histórico: casa pertencente à vila Beltrão localizada no núcleo do quarteirão entre as ruas Manaus, Grão-Pará, Padre Marinho e Rua dos Otoni. Construída na *década de 60* com objetivo de residência funciona atualmente como sede da Yara Restaurações, empresa que restaura obras de arte.
- c) Localização: Rua Padre Marinho, 207 – Bairro Santa Efigênia – Belo Horizonte.
- d) Telha: cerâmica do tipo francesa.
- e) Madeira da estrutura: Parajú (maçaranduba), aparentemente com algumas reformas feitas com o mesmo tipo de madeira.
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 8cm x 15cm; banzo inferior: 8cm x 15cm; pontalete: 8cm x 15cm; diagonal: 8cm x 8cm.
- g) Vão total da tesoura: 6,50m.
- h) Distância entre tesouras: 3,5m.
- i) Relatório fotográfico:



**Foto 6 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 7 - Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples.
Fonte: autora.**



Foto 8 - Ligação Banzos Superiores-Pontaleta com dente duplo apoiado em cunha de madeira no lado esquerdo.
Fonte: autora.



Foto 9 - Ligações Diagonais-Pontaleta com dente simples e Pontaleta-Banzo inferior com ausência de folga entre as peças.
Fonte: autora.

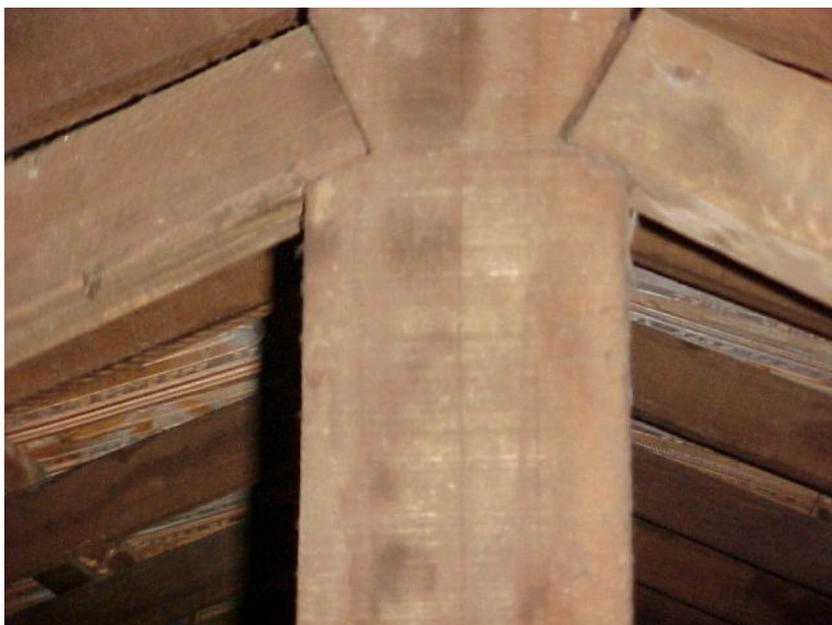
7.1.3 Edificação 3: Escola Estadual Afonso Pena de Ensino Fundamental

- a) Data da vistoria: 24/08/2005
- b) Histórico: a Escola Estadual Afonso Pena foi criada em **1907**, no governo João Pinheiro, foi uma das pioneiras na Capital. Situada na Avenida João Pinheiro, nº450, no bairro Funcionários, em Belo Horizonte, sua edificação, em exemplar da arquitetura neoclássica foi tombada em 1983 pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais, IEPHA⁶. A estrutura da tesoura não possui diagonais.
- c) Localização: Avenida João Pinheiro, 450 – Bairro Funcionários – Belo Horizonte.
- d) Telha: cerâmica do tipo francesa.
- e) Madeira da estrutura: Peroba do Campo
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 8cm x 8cm; banzo inferior: 8cm x 8cm; pontalete: 8cm x 20cm.
- g) Vão total da tesoura: 5,00m.
- h) Distância entre tesouras: 2,5m.
- i) Relatório fotográfico:

⁶ http://www.educacao.mg.gov.br/site/index.asp?format=show_hist&histID=10



**Foto 10 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 11 - Ligação Banzos Superiores-Pontaleta com dentes simples
sem chanfros nos dois lados.
Fonte: autora.**



**Foto 12 - Ligação Pontaete-Banzo Inferior sem folga entre as peças.
O banzo inferior está totalmente apoiado na laje de cobertura.
Fonte: autora.**

7.1.4 Edificação 4: Instituto de Educação

- a) Data da vistoria: 24/08/2005
- b) Histórico: edificação eclética construída na *primeira metade do século XX*, atualmente funcionando como escola fundamental (IEMG) e Faculdade de Educação (UEMG).
- c) Localização: Rua Paraíba, 178 – Bairro Funcionários – Belo Horizonte.
- d) Telha: cerâmica do tipo francesa.
- e) Madeira da estrutura: Peroba do Campo
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 8cm x 20cm; banzo inferior: 8cm x 20cm; pontalete: 8cm x 20cm; diagonais: 8cm x 14cm.
- g) Vão total da tesoura: 10,00m.
- h) Distância entre tesouras: 4,30m.
- i) Relatório fotográfico:



**Foto 13 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com ente simples e conector metálico do tipo grampo.
Fonte: autora.**



**Foto 14 - Ligação Diagonal-Banzo Superior com dente simples.
Fonte: autora.**



Foto 15 - Ligação Banzos Inferiores-Pontaleta com pinos metálicos.
Fonte: autora.



Foto 16 - Ligação Diagonais-Pontaleta com dente simples e Pontaleta-Banzo Inferior com sistema de respiga e mecha e abraçadeira metálica.
Fonte: autora.

7.1.5 Edificação 5: Residência na Pampulha

- a) Data da vistoria: 10/06/2005
- b) Histórico: residência construída em *meados de 1950*, com estrutura de pilares e vigas. Com laje de concreto e a estrutura do telhado apoiado diretamente nas vigas semi-invertidas.
- c) Localização: Avenida Portugal, 3060 – Pampulha – Belo Horizonte
- d) Telha: cerâmica do tipo colonial.
- e) Madeira da estrutura: Peroba Rosa
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 7,5cm x 15cm; banzo inferior: 7,5cm x 15cm; pontalete: 7,5cm x 15cm; diagonais: 7,5cm x 7,5cm.
- g) Vão total da tesoura: 11,2m.
- h) Distância entre tesouras: 3,00m.
- i) Relatório fotográfico:



**Foto 17 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples.
O banzo inferior é apoiado nas vigas da laje de cobertura.
Fonte: autora.**



**Foto 18 - Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 19 – Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 20 – Ligações Diagonais-Pontaletes com ente simples
e Pontaletes-Banzo Inferior sem folga entre as peças.
Fonte: autora.**

7.1.6 Edificação 6: Centro de Treinamento Fundação Cristiano Otoni (EEUFMG)

- a) Data da vistoria: 15/09/2005
- b) Histórico: construção da *década de 80*, pertencente ao grupo de edificações da Escola de Engenharia da UFMG, composta por salas de auditório.
- c) Localização: Rua Guaicurus, 200 – Centro – Belo Horizonte
- d) Telha: de fibro-cimento
- e) Madeira da estrutura: Peroba Rosa
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 8cm x 20cm; banzo inferior: 8cm x 20cm; pontalete: 8cm x 20cm; diagonais: 8cm x 8cm.
- g) Vão total da tesoura: 14m.
- h) Distância entre tesouras: 3,50m.
- i) Relatório fotográfico:



**Foto 21 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 22 - Ligação Banzo Superior-Pontaletes com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 23 - Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com
cobrejunta de madeira e cavilhas.
Fonte: autora.**



Foto 24 - Ligações Diagonais-Pontaletes com dente simples e Pontaletes-Banzo Inferior unidos por abraçadeira metálica.
Fonte: autora.

7.1.7 Edificação 7: Automóvel Clube

- a) Data da vistoria: 22/09/2005
- b) Histórico: o Automóvel Clube, inicialmente com o nome de Clube Central, foi fundado no dia 17 de dezembro de 1925 por nove respeitáveis cidadãos da sociedade de Belo Horizonte. O clube tinha a finalidade de desenvolver a prática do automobilismo no estado e entreter seus sócios. Em junho de 1926, o clube foi instalado no Palacete Dantas, na praça da Liberdade. Finalmente em 1929, o clube ganhou nova sede. No dia 19 de agosto de **1929** foi inaugurado o edifício na avenida Afonso Pena, agora já denominado Automóvel Clube de Minas Gerais. Com o tempo, o local foi sendo destinado somente a eventos sociais⁷.
- c) Localização: Avenida Afonso Pena, 1394 – Centro – Belo Horizonte.
- d) Telha: cerâmicas do tipo francesa.
- e) Madeira da estrutura: Peroba do Campo
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 12cm x 25cm; banzo inferior: 12cm x 25cm; pontalete: 12cm x 25cm; diagonais: 7,5cm x 15cm.
- g) Vão total da tesoura: 10m.
- h) Distância entre tesouras: 3,00m.
- i) Relatório fotográfico:

⁷ <http://www.revistaencontro.com.br/abril05/especial.asp>



Foto 25 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples e conector de segurança do tipo grampo.
Fonte: autora.



Foto 26 - Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples.
Fonte: autora.



**Foto 27 - Ligações Diagonais-Pontalete com dente simples e Pontalete-Banzo Inferior com abraçadeira metálica e folga entre as peças.
Fonte: autora.**

7.1.8 Edificação 8: 1º BBM (Batalhão do Corpo de Bombeiros)

- a) Data da vistoria: 23/09/2005
- b) Histórico: até no ano de 1920, a organização de Bombeiros teve sua sede anexa às dependências do Quartel do 1º Batalhão. Nesse ano, a maior parte da administração mudou para a esquina das ruas Aimorés com Rio Grande do Norte, ficando a garagem no Quartel do 1º Batalhão. O Centro de Ensino de Bombeiros, atualmente ocupa o casarão que foi sede de um convento construído por volta de **1913**⁸.
- c) Localização: Rua Piauí, 1815 – Bairro Cruzeiro – Belo Horizonte.
- d) Telha: cerâmicas do tipo francesa.
- e) Madeira da estrutura: Peroba do Campo
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 7cm x 22cm; banzo inferior: 7cm x 22cm; pontalete: 7cm x 22cm; diagonais: 6cm x 10cm.
- g) Vão total da tesoura: 10m.
- h) Distância entre tesouras: 3,00m.
- i) Relatório fotográfico:

⁸ <http://www.bombeiros.mg.gov.br/>



**Foto 28 - Ligação Banzo Superior-Diagonal com dente simples.
Fonte: autora.**



**Foto 29 - Ligação Banzo Superior-Pontaleta ligados através de pinos metálicos.
Fonte: autora.**



**Foto 30 - Ligações Diagonais-Pontalete com dente simples e Pontalete-Banzo Inferior com sistema de respiga e mecha e abraçadeira metálica.
Fonte: autora.**

7.1.9 Vistoria 9: Clube Recreativo Palmeiras

- a) Data da vistoria: 14/10/2005
- b) Histórico: construção destinada ao salão de jogos pertencente à associação recreativa Palmeiras construído em **1995**.
- c) Localização: Rua Grão-Pará, 589 – Bairro Santa Efigênia – Belo Horizonte.
- d) Telha: cerâmicas do tipo colonial.
- e) Madeira da estrutura: Pinus
- f) Dimensões das peças: banzos superiores: 8cm x 20cm; banzo inferior: 8cm x 20cm;
pontaletes: 8cm x 20cm;
- g) Vão total da tesoura: 5,00m.
- h) Distância entre tesouras: 3,50m.
- i) Relatório fotográfico:



Foto 31 - Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente simples e conector metálico em forma de grampo.
Fonte: autora.



Foto 32 - Ligação Banzos Superiores-Pontaletes com dente simples e conector metálico em forma de chapa.
Fonte: autora.



**Foto 33 - Ligação Pontaete-Banzo Inferior com sistema de abraçadeira metálica e folga entre as peças.
Fonte: autora.**

7.2 RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Os resultados da análise utilizam a numeração de 1 a 5 para designar as ligações, sendo:

Ligação 1 – Ligação BANZO INFERIOR-BANZO SUPERIOR

Ligação 2 – Ligação BANZO SUPERIOR-DIAGONAL

Ligação 3 – Ligação BANZO SUPERIOR-PONTALETE

Ligação 4 – Ligação DIAGONAL-PONTALETE

Ligação 5 – Ligação PONTALETE-BANZO INFERIOR

Serão calculadas as dimensões altura do dente e folga necessária, em todos os telhados das edificações vistoriadas para a verificação das ligações 1, 2, 3 e 4. Para a ligação 5, restará a verificação de sua situação em relação ao detalhamento correto devido aos deslocamentos atuantes nesta ligação.

7.2.1 Dimensionamento da altura do dente

O processo para o cálculo da altura do dente já foi detalhado no item 2.4, letra A. Seguindo as equações, foi definido para cada edificação o carregamento linear aplicado em cada tesoura em função do vão entre tesouras (Fig.59). Em seguida foram definidas as forças aplicadas em cada nó em função das áreas de influência (Fig.60). Em todos os telhados foi considerado o carregamento de 100kg/m^2 , carregamento este proveniente da combinação dos carregamentos permanentes (peso próprio das peças estruturais, cobertura, etc.) e dos carregamentos variáveis ou acidentais (efeitos do vento). Para o telhado da Escola de Engenharia o carregamento se reduz a 50kg/m^2 pelo fato dele apresentar cobertura em telhas de fibrocimento.

No processo utilizado, há uma aproximação da inclinação dos dentes e adoção de um carregamento médio para as coberturas. Isto se justifica pela imprecisão da medição da inclinação do dente em relação às fibras (peças com alto índice de “sujeira” em suas faces) e pelo objetivo deste trabalho, ser uma comparação entre as estruturas analisadas.

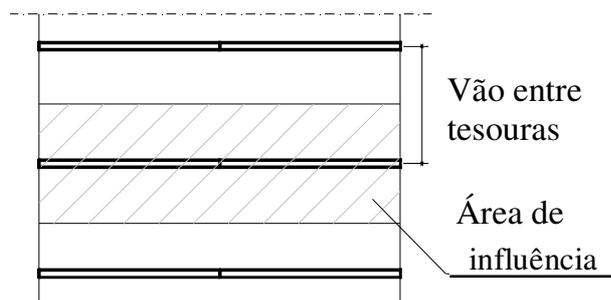


Figura 59 - Área de influência para carregamento distribuído nas tesouras
Fonte: elaboração própria

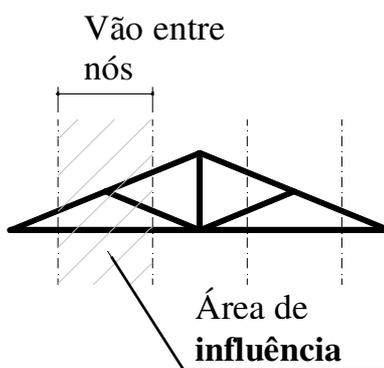


Figura 60 - Área de influência para carregamento concentrado nos nós
Fonte: elaboração própria.

As forças obtidas acima nos nós de cada estrutura analisada, juntamente com as informações de coordenadas nodais e de condições dos apoios foram inseridas no pré-processador para o programa TP.EXE versão 2.0. O programa (TP.EXE) teve como resultado as forças aplicadas em cada barra, utilizadas no dimensionamento das ligações. Por questões de simplificação, os modelos das treliças seguiram o padrão da Fig.61, onde se desconsiderou as distâncias entre as diagonais e o banzo inferior e as distâncias entre as ligações e o restante das barras nas extremidades.

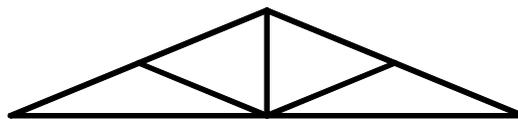


Figura 61 - Forma padrão da treliça utilizada para a obtenção das cargas nas barras.
Fonte: elaboração própria.

As resistências são específicas para cada tipo de madeira. Outra simplificação em relação a variedade de espécies encontradas será executada: a comparação entre os telhados será realizada com a utilização das propriedades mecânicas da espécie de madeira Peroba do Campo (Nome científico: *Paratecoma peroba*). Os valores de compressão inclinada dependem da inclinação entre as peças ligadas.

Para obter as resistências de cálculo da Peroba do Campo foram utilizados os valores médios de resistência para umidade igual a 12% encontrados na Tab.4 extraída do site <http://www.ipt.br/areas/ctfloresta/lmpd/madeiras/consulta/?madeira=71>.

Como pode ser visto no equacionamento no item 2.4, a altura do dente depende da resistência à compressão inclinada às fibras, cujo valor é intermediário entre a resistência à compressão normal às fibras e a compressão paralela às fibras. Sua obtenção se dá através da fórmula de Hankison:

$$f_{\alpha,d} = \frac{f_{c0,d} \times f_{c90,d}}{(f_{c0,d} \times \text{sen}^2 \gamma) + (f_{c90,d} \times \text{cos}^2 \gamma)} \quad (\text{Eq.23})$$

Os dentes são cortes que diminuem a seção resistente das peças. Assim há um limite inferior e superior para estes cortes que devem ser obedecidos. O limite inferior evita o escorregamento da peça e o limite superior evita que esforços de cisalhamento presentes enfraqueçam mais ainda a seção resistente. Estes limites são:

$$\frac{h}{8} \leq e \leq \frac{h}{4}. \quad (\text{Eq.24})$$

Quando o limite máximo de $h/4$ for ultrapassado devem ser construídos dois dentes dividindo a altura obtida anteriormente por 2. Se os dentes continuarem a ultrapassar o limite máximo então é preciso construir outro artifício, como por exemplo uma cobrejunta, para resistir ao esforço restante e garantir a integridade estrutural do conjunto. As cobrejuntas também garantem a indeslocabilidade lateral das ligações.

Sendo assim a próxima tabela apresenta os valores dos dentes para cada telhado vistoriado, além da presença ou não de cobrejuntas.

Tabela 5 - Altura dos dentes de acordo com o dimensionamento proposto

Edificação	Lig.	N _d (N)	f _{ca,d} (N/m ²)	e (cm)	Dentes lim.		Análise	Conclusão
					Mín.	Máx.		
Arq. Mín.	1	63714	5707,23	12,90	2,5	5	e>h/4	2 dentes de 5,00cm + Cobrejunta
	2	21238	2136,68	8,80			e>h/4	1 dente de 5,00cm + Cobrejunta
	3	42476	1312,05	15,50			e>h/4	2 dentes de 5,00cm + Cobrejunta
	4	21238	1312,05	7,75			e>h/4	2 dentes de 3,87cm
Yara Rest.	1	34482	6514,04	6,21	1,88	3,75	e>h/4	2 dentes de 3,10cm
	2	11494	2474,30	4,41			e>h/4	1 dente de 3,75cm + Cobrejunta
	3	22988	1275,66	7,82			e>h/4	2 dentes de 3,75cm + Cobrejunta
	4	11494	1275,66	3,91			e>h/4	2 dentes de 1,95cm
E.E. A.Pena	1	11774	5940,12	2,30	1	2	e>h/4	2 dentes de 1,15cm
	3	11774	1300,31	4,21	2,5	5	h/8 < e < h/4	1 dente de 4,21cm
Inst. Educ.	1	56056	5305,44	12,09	2,5	5	e>h/4	2 dentes de 5,00cm + Cobrejunta
	2	18690	1981,22	7,97			e>h/4	1 dente de 5,00cm + Cobrejunta
	3	37366	1335,33	14,11			e>h/4	2 dentes de 5,00cm + Cobrejunta
	4	18690	1335,33	7,06			e>h/4	2 dentes de 3,53cm
Res. Pamp.	1	32179	6856,75	5,90	1,88	3,75	e>h/4	2 dentes de 2,95cm
	2	10727	2626,87	4,24			e>h/4	1 dente de 3,75cm + Cobrejunta
	3	21454	1263,27	7,55			e>h/4	2 dentes de 3,75cm
	4	10727	1263,27	3,77			h/8 < e < h/4	1 dente de 3,75cm
E. Eng.	1	133938	11823,82	13,90	2,5	5	e>h/4	2 dentes de 5,00cm + Cobrejunta
	2	44646	5818,64	8,88			e>h/4	1 dente de 5,00cm + Cobrejunta
	3	89292	1172,30	18,35			e>h/4	2 dentes de 5,00cm + Cobrejunta
	4	44646	1172,30	9,17			e>h/4	2 dentes de 4,59cm
Aut. Clube	1	47684	6921,20	5,42	3,13	6,25	h/8 < e < h/4	2 dentes de 5,42cm
	2	15904	2656,44	3,90			h/8 < e < h/4	1 dente de 3,90cm
	3	31794	1261,11	6,95			e>h/4	2 dentes de 3,48cm
	4	15904	1261,11	3,48			h/8 < e < h/4	1 dente de 3,48
C. Bomb.	1	35000	4505,16	9,91	2,75	5,5	e>h/4	2 dentes de 4,96cm
	2	11662	1695,32	5,85			e>h/4	1 dente de 5,50cm + Cobrejunta
	3	23324	1397,91	10,74			e>h/4	2 dentes de 5,37cm
	4	11662	1397,91	5,37			h/8 < e < h/4	1 dente de 5,37cm
Palmeiras	1	16492	5940,12	3,44	1,88	3,75	h/8 < e < h/4	1 dente de 3,44cm
	3	16492	1300,31	6,29			e>h/4	2 dentes de 3,14cm

7.2.2 Dimensionamento da folga necessária resistente ao cisalhamento

O processo para o cálculo da folga necessária ao cisalhamento também já foi detalhado no item 2.4, letra B.

A folga necessária ao cisalhamento depende da resistência máxima ao cisalhamento $f_{v,d}$ (somente ocorre em planos paralelo às fibras) da peça que é recortada para o encaixe de outra peça. Este valor também depende da inclinação entre as peças a serem ligadas. Somente é calculada a folga para as ligações extremas (1, 3 e 4).

A resistência ao cisalhamento é característica específica para cada tipo de madeira, assim como as outras resistências. E mais uma vez, por simplificação, será utilizada para o cálculo a resistência ao cisalhamento da Peroba do Campo (*Paratecoma peroba*) também obtida na Tab.4.

Quando a peça possui apenas um dente a folga necessária é medida a partir da extremidade do dente da peça apoiada e vai até a extremidade da peça de apoio. Quando são dois dentes, a folga necessária é medida a partir do segundo dente (dente mais distante da extremidade da peça de apoio). O primeiro dente fica distanciado da extremidade com a metade da folga (Fig.62).

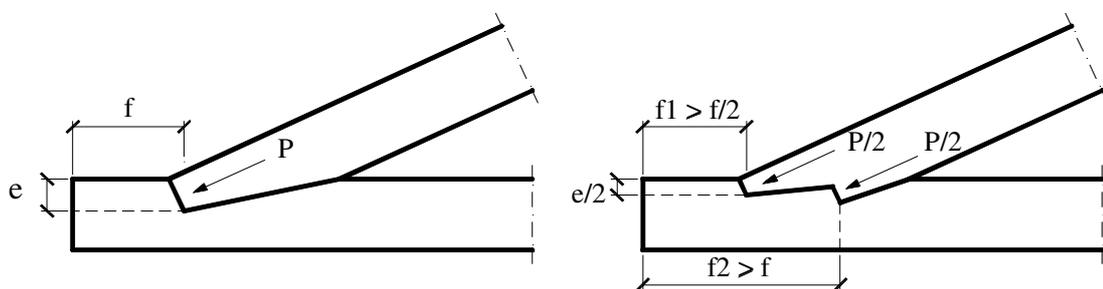


Figura 62 - Distância da folga necessária para 1 e 2 dentes
 Fonte: elaboração própria a partir de CARRASCO (2004)

Tabela 6 – Valores mínimos para a folga necessária

Edificação	Ligação	N _d (N)	f _{v0,d} (N/m ²)	f (cm)	f ₁ (cm)	f ₂ (cm)
Arq. Min.	1	63714	3400800	21,64	10,82	21,64
	3	42476	3400800	5,98	2,99	5,98
	4	21238	3400800	2,99	1,49	2,99
Yara Rest.	1	34482	3400800	11,89	5,95	11,89
	3	22988	3400800	2,93	1,47	2,93
	4	11494	3400800	1,47	0,73	1,47
E.E. A.Pena	1	11774	3400800	4,02	2,01	4,02
	3	11774	3400800	1,61	-	-
Inst. Educ.	1	56056	3400800	18,86	9,43	18,86
	3	37366	3400800	5,54	2,77	5,54
	4	18690	3400800	2,77	1,39	2,77
Res. Pamp.	1	32179	3400800	11,90	5,95	11,90
	3	21454	3400800	2,80	1,40	2,80
	4	10727	3400800	1,40	-	-
E. Eng.	1	133938	3400800	48,32	24,16	48,32
	3	89292	3400800	6,32	3,16	6,32
	4	44646	3400800	3,16	1,58	3,16
Aut. Clube	1	47684	3400800	11,03	5,51	11,03
	3	31794	3400800	2,58	1,29	2,58
	4	15904	3400800	1,29	-	-
C. Bomb.	1	35000	3400800	13,13	6,57	13,13
	3	23324	3400800	4,41	2,21	4,41
	4	11662	3400800	2,21	-	-
Palmeiras	1	16492	3400800	6,00	-	-
	3	16492	3400800	2,40	1,20	2,40

7.2.3 Determinação do deslocamento do pontalete

Esta ligação está presente em todos os telhados vistoriados. Neste tipo de ligação não há dentes e nem folga necessária ao cisalhamento. A verificação cabe observar se existe espaço suficiente para o deslocamento da extremidade livre inferior do pontalete, uma vez que esta peça encontra-se tracionada pelos banzos superiores e pelas diagonais. (Fig.63).

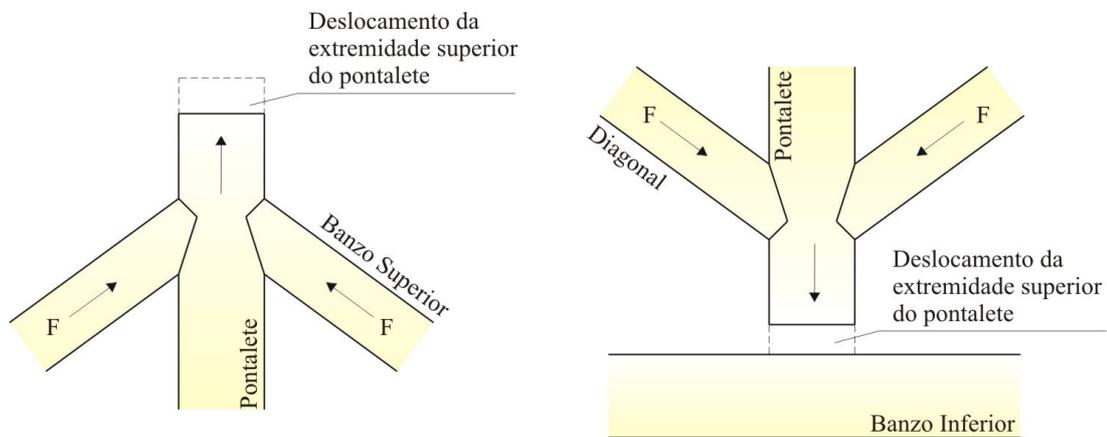


Figura 63 - Possíveis deslocamentos das extremidades do pontalete.
Fonte: elaboração própria.

Quanto à extremidade superior não há problemas em relação ao deslocamento que é contido pelo peso próprio da cumeeira e da cobertura em si, porém a extremidade inferior, a ligação Banzo inferior / Pontalete (ligação 5), pode aplicar carga vertical no banzo inferior, se não existir espaço suficiente para este deslocamento.

Os deslocamentos das extremidades também foram obtidos através do programa TP.EXE versão 2.0, juntamente com as outras informações das forças nas barras. Estas medidas serão comparadas com as distâncias reais obtidas através das vistorias.

Os deslocamentos possuem sinais negativos porque encontram-se na direção contrária do sentido positivo do eixo coordenado Y (positivo para cima).

Tabela 7 – Valores dos deslocamentos na ligação Banzo Inferior-Pontalete

Edificação	Deslocamento (cm)
Arquivo Público	-0,7044
Yara Restaurações	-0,3148
E. E. Afonso Pena	-0,1560
Instituto de Educação	-0,5072
Residência Pampulha	-0,3414
Escola de Engenharia	-1,8000
Automóvel Clube	-0,2800
Corpo de Bombeiros	-0,2919
Palmeiras	-0,1243

7.2.4 Comparação dos resultados do Dimensionamento com as Vistorias

7.2.4.1 Altura do dente

a) Arquivo Público

Tabela 8 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Arquivo Público

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 5,00	3,00
2	5,00	3,00
3	2 x 5,00	3,20
4	2 x 3,87	2,00

b) Yara Restaurações

Tabela 9 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Yara Restaurações

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 3,10	2,00
2	3,75	2,50
3	2 x 3,75	2 x 2,50
4	2 X 1,95	2,00

c) E. E. Afonso Pena

Tabela 10 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) E. E. Afonso Pena

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 1,15	1,00
3	4,21	3,50

d) Instituto de Educação

Tabela 11 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Instituto de Educação

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 5,00	2,20
2	5,00	2,40
3	2 x 5,00	-
4	2 x 3,53	2,00

e) Residência na Pampulha

Tabela 12 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Residência Pampulha

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 2,95	2,50
2	3,75	2,00
3	2 x 3,75	1,50
4	3,75	2,50

f) Escola de Engenharia

Tabela 13 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Escola de Engenharia

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 5,00	2,00
2	5,00	1,80
3	2 x 5,00	-
4	2 x 4,59	2,50

g) Automóvel Clube

Tabela 14 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Automóvel Clube

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 5,42	3,00
2	3,90	2,50
3	2 x 3,48	3,00
4	3,48	2,50

h) Batalhão do Corpo de Bombeiros

Tabela 15 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Corpo de bombeiros

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	2 x 4,96	2,00
2	5,50	1,80
3	2 x 5,37	-
4	5,37	2,50

i) Associação Recreativa Palmeiras

Tabela 16 - Comparação da altura do dente (dimensionamento / vistoria) Clube Recreat. Palmeiras

Ligação	Altura do dente (cm)	
	Cálculo	Vistoria
1	3,44	3,00
3	2 x 3,14	6,00

j) Comparação geral: altura dos dentes

Em relação às medidas das alturas dos dentes, *as dimensões corretas* devem obedecer aos valores entre os limites mínimos e máximos, além da quantidade de dentes definida por estes limites estipulados pelas colunas 6 e 7 da tabela 4. Estes valores são comparados com as dimensões e quantidades dos dentes existentes nas vistorias.

Tabela 17 - Resultado da altura dos dentes nas ligações

Edificação	Ligação	Altura do dente (cm)		Limites	Quantid.	Det. Correto
		Calculado	Existente			
Arq. Min.	1	2 x 5,00	3	S	N	
	2	1 x 5,00	3	S	S	X
	3	2 x 5,00	3,2	S	N	
	4	3,87	1,8	N	S	
Yara Rest.	1	2 x 3,10	2	S	N	
	2	3,75	1,5	N	S	
	3	2 x 3,75	2 x 2,50	S	S	X
	4	3,75	2 x 1,50	N	N	
E.E.A.Pena	1	2 x 1,15	1	S	N	
	3	4,21	3,5	S	S	X
Inst. Educ.	1	2 x 5,00	2,2	N	N	
	2	5	2,4	N	S	
	3	2 x 5,00	-	N	N	
	4	3,53	2	N	S	
Resid. Pamp.	1	2 x 2,95	2,5	S	N	
	2	3,75	2	S	S	X
	3	2 x 3,75	1,5	N	N	
	4	3,75	2,5	S	S	X
E. Eng.	1	2 x 5,00	2	N	N	
	2	5	1,8	N	S	
	3	2 x 5,00	-	N	N	
	4	2 x 4,59	2,5	S	N	
Autom. Clube	1	2 x 5,42	3	N	N	
	2	3,9	2,5	N	S	
	3	2 x 3,48	3	N	N	
	4	3,48	2,5	N	S	
Bombeiros	1	2 x 4,96	2	N	N	
	2	5,5	1,8	N	S	
	3	2 x 5,37	-	N	N	
	4	5,37	2,5	N	S	
Palmeiras	1	3,44	3	S	S	X
	3	2 x 3,14	6	N	N	

X = Ligação executada corretamente

A quantidade total de ligações envolvidas nesta análise foi de 32, na qual 9 são ligações do tipo 1 (Banzo Inferior-Banzo Superior), 7 do tipo 2 (Banzo Superior-Diagonal), 9 do tipo 3 (Banzo Superior-Pontaletes) e 7 do tipo 4 (Diagonal-Pontaletes). A adequação das ligações em relação à altura do dente pode ser conferida através da tabela 26.

Nenhum telhado apresentou todas as suas ligações construídas corretamente em relação a altura dos dentes.

O telhado com maior número de ligações construídas adequadamente aos cálculos é o telhado da *Redidência na Pampulha* (Ligações 2 e 4).

Quatro edificações apresentaram uma de suas ligações detalhadas adequadamente. Sendo eles o telhado do *Arquivo Mineiro* (Ligação 2), o telhado da *Yara Restaurações* (Ligação 3), o telhado da cantina da *E. E. Afonso Pena* (Ligação 3) e o telhado do *Clube Recreativo Palmeiras* (Ligação 1).

E quatro dos nove telhados analisados não apresentaram nenhuma das ligações construídas de maneira adequada. São eles o telhado do *Instituto de Educação*, o telhado da *Escola de Engenharia*, o telhado do *Automóvel Clube* e o telhado do *Corpo de Bombeiros*.

A taxa de ligações construídas corretamente segundo os critérios de altura dos dentes estabelecidos neste trabalho são: das 32 ligações, apenas 6 foram detalhadas corretamente, resultando num total de mais de 80% de ligações incorretas em relação ao critério da altura dos dentes. Destas 3% das ligações do tipo 1 e do tipo 3 são corretas e 6% das ligações do tipo 2 e do tipo 4 são corretas.

7.2.4.2 Folga necessária ao cisalhamento

a) Arquivo Público

Tabela 18 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Arquivo Público

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	21,64	10,82	21,64	25,00	-	-
2	5,98	2,99	5,98	9,00	-	-
3	2,99	1,49	2,99	9,10	-	-

b) Yara Restaurações

Tabela 19 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Yara Restaurações

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	11,89	5,95	11,89	15,00	-	-
2	2,93	1,47	2,93	-	7,50	9,00
3	1,47	0,73	1,74	20,00	-	-

c) E. E. Afonso Pena

Tabela 20 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) E. E. Afonso Pena

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	4,02	2,01	4,02	38,00	-	-
3	1,61	-	-	8,00	-	-

d) Instituto de Educação

Tabela 21 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Instituto de Educação

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	18,86	9,43	18,86	20,00	-	-
2	5,54	2,77	5,54	-	-	-
3	2,77	1,39	2,77	25,00	-	-

e) Residência na Pampulha

Tabela 22 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Residência Pampulha

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	11,90	5,95	11,90	25,00	-	-
2	2,80	1,40	2,80	15,00	-	-
3	1,40	-	-	17,00	-	-

f) Escola de Engenharia

Tabela 23 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Escola de Engenharia

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	48,32	24,16	48,32	26,00	-	-
2	6,32	3,16	6,32	-	-	-
3	3,16	1,58	3,16	34,00	-	-

g) Automóvel Clube

Tabela 24 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Automóvel Clube

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	11,03	-	-	15,00	-	-
2	2,58	-	-	9,00	-	-
3	1,29	-	-	22,00	-	-

h) Batalhão do Corpo de Bombeiros

Tabela 25 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Corpo de bombeiros

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	13,13	6,57	13,13	20,00	-	-
2	4,41	2,21	4,41	-	-	-
3	2,21	-	-	20,00	-	-

i) Associação Recreativa Palmeiras

Tabela 26 - Comparação da folga necessária (dimensionamento / vistoria) Clube Recreat. Palmeiras

Ligação	Folga Necessária (cm)					
	Cálculo			Vistoria		
	f	f ₁	F ₂	f	f ₁	f ₂
1	6,00	-	-	40,00	-	-
3	2,40	1,20	2,40	15,00	-	-

j) Comparação geral: folga necessária ao cisalhamento

Os *valores corretos* para as folgas necessárias são aqueles *maiores* que os encontrados nos cálculos, independente da quantidade de dentes. A análise é feita através dos resultados apresentados na tabela 27. Estes resultados foram conferidos em relação à medida mínima da folga para evitar o cisalhamento da peça de apoio.

Tabela 27 - Resultado da folga necessária ao cisalhamento nas ligações

Edificação	Ligação	Folga Ideal (cm)	Folga Real (cm)	Valor Mín resp.	Ligações Corretas
Arquivo Público	1	10,82/21,64	25,00	S	X
	3	2,99/5,98	9,00	S	X
	4	2,99	9,10	S	X
Yara Restaur.	1	5,95/11,89	15,00	S	X
	3	1,47/2,93	7,50/9,00	S	X
	4	0,73/1,47	20,00	S	X
E.E.A.Pena	1	2,01/4,02	38,00	S	X
	3	1,61	8,00	S	X
Instituto Educ.	1	9,43/18,86	20,00	S	X
	3	2,77/5,54	-	N	
	4	1,39/2,77	25,00	S	X
Residência Pampulha	1	5,95/11,90	25,00	S	X
	3	1,40/2,80	15,00	S	X
	4	1,40	17,00	S	X
Escola Engenhar.	1	24,16/48,32	26,00	N	
	3	3,16/6,32	-	N	
	4	1,58/3,16	34,00	S	X
Automóvel Clube	1	11,03	15,00	S	X
	3	2,58	9,00	S	X
	4	1,29	22,00	S	X
Corpo Bombeiros	1	6,57/13,13	20,00	S	X
	3	2,21/4,41	-	N	
	4	2,21	20,00	S	X
Palmeiras	1	6,00	40,00	S	X
	3	1,20/2,40	15,00	S	X

X = Ligação executada corretamente

Neste critério, poucos são os detalhes construídos de forma incorreta, pois foram construídos com folgas, na maioria das vezes, muito maiores que as necessárias para resistir ao esforço de cisalhamento. Foram ao todo 26 ligações analisadas, das quais 9 são do tipo 1 (Banzo Inferior-Banzo Superior), 7 do tipo 3 (Banzo Superior-Pontaleta) e 9 do tipo 4 (Diagonal-Pontaleta).

Todas as ligações das estruturas dos telhados do *Arquivo Público*, da *Yara Restaurações*, da *Escola Estadual Afonso Pena*, da *Residência na Pampulha*, do *Automóvel Clube* e da *Associação Recreativa Palmeiras* foram construídas corretamente, com as medidas das folgas maiores que as necessárias.

Os telhados das edificações do *Instituto de Educação* e do *Corpo de Bombeiros*, apresentam as ligações do tipo 1 e do tipo 4 construídas corretamente, apresentando falha apenas na ligação do tipo 3. Nestas ligações as peças são interligadas com pregos e não contam com a folga necessária estabelecida pela distância do dente à extremidade da peça de apoio, porque não possuem dentes.

O telhado da Escola de Engenharia apresentou apenas a ligação do tipo 4 construída corretamente. Sua ligação do tipo 1 apresentou dimensões menores que a folga mínima e a ligação do tipo 3 foi executada com pregos e por isso não há como comparar a medida da folga existente.

Em conclusão à folga necessária: das 26 ligações vistoriadas, 22 foram encontradas construídas corretamente, na qual todas as ligações do tipo 4 foram construídas corretamente (aproveitamento de 100%), enquanto 88% das ligações do tipo 1 foram construídas corretamente e 77% das ligações do tipo 3 foram construídas corretamente.

7.2.4.3 Deslocamento do pontalete

Em relação aos deslocamentos dos pontaletes é preciso que a distância entre a extremidade inferior desta peça seja maior que o deslocamento previsto, com a finalidade de não haver transferência de esforço para o banzo inferior causando flexão desta peça. De acordo com os cálculos é possível concluir que na maioria dos telhados este espaço para o deslocamento é permitido, porém pode haver impedimento deste deslocamento se a abraçadeira estiver aparafusada no pontalete e no banzo inferior ao mesmo tempo ou se a abraçadeira estiver justa. Algumas ligações deste tipo, além da

abraçadeira também possuem respiga e mecha, sem as devidas folgas entre suas paredes.

O espaço para o pontalete se deslocar somente não será adequado nas estruturas em que o mesmo se encontra apoiado no banzo inferior, uma vez que a deformação do pontalete já ocorreu na estrutura construída.

Tabela 28 – Comparação do deslocamento do pontalete (dimens. / vistoria)

Edificação	Deslocamento calculado (cm)	Deslocamento real (cm)	Ligações Corretas
Arquivo Público	-0,7044	-1,4000	X
Yara Restaurações	-0,3148	-0,5000	X
E. E. Afonso Pena	-0,1560	0,0000	
Instituto de Educação	-0,5072	-1,2000	X
Residência Pampulha	-0,3414	0,0000	
Escola de Engenharia	-1,8000	-0,4000	X
Automóvel Clube	-0,2800	-1,8000	X
Corpo de Bombeiros	-0,2919	-0,5000	X
Palmeiras	-0,1243	-1,7000	X

X = Ligação executada corretamente

7.2.4.4 Comparação final dos resultados

Tabela 29 - Comparação entre altura do dente, folga necessária e deslocamento do pontalete.

Edificações	Ligações	Dentes adequados	Folga adequada	Desl. Pontal. Adequado	Total adequação
Arquivo Público	1		X	-	
	2	X		-	
	3		X	-	
	4		X	-	
	5	-	-	X	X
Yara Restaur.	1		X	-	
	2			-	
	3	X	X	-	X
	4		X	-	
	5	-	-	X	X
E.E.A.Pena	1		X	-	
	3	X	X	-	X
	5	-	-		
Instituto Educ.	1		X	-	
	2			-	
	3			-	
	4		X	-	
	5	-	-	X	X
Residência Pampulha	1		X	-	X
	2	X		-	
	3		X	-	
	4	X	X	-	X
	5	-	-		
Escola Engenhar.	1			-	
	2			-	
	3			-	
	4		X	-	
	5	-	-	X	X
Automóvel Clube	1		X	-	
	2			-	
	3		X	-	
	4		X	-	
	5	-	-	X	X
Corpo Bombeiros	1		X	-	
	2			-	
	3			-	
	4		X	-	
	5	-	-	X	X
Palmeiras	1	X	X	-	X
	3		X	-	
	5	-	-	X	X

X = Ligação executada corretamente

8

CONCLUSÃO

Os resultados (capítulo 8) foram apresentados em ordem cronológica das vistorias, diferentemente da ordem cronológica de construção dos edifícios. A conclusão aqui apresenta também aspectos comparativos em relação à importância (ou não) histórica da evolução das estruturas no que diz respeito aos aspectos normativos expostos neste trabalho (NBR 7190/97).

Foram analisadas ao todo 41 ligações, sendo 9 ligações do tipo 1, 7 ligações do tipo 2, 9 ligações do tipo 3, 7 ligações do tipo 4 e 9 ligações do tipo 5. De todas as ligações apenas 17 foram construídas de maneira adequada (41% adequadas no total).

Destas, no conjunto das dimensões em relação à altura dos dentes, da quantidade de dentes e das folgas necessárias, das ligações do tipo 1 (Ligação banzo inferior/banzo superior), 2 foram construídas corretamente, sendo 22,2% de ligações adequadas.

Nenhuma ligação do tipo 2 (banzo superior/diagonal) foi encontrada construída corretamente em relação ao conjunto dos aspectos analisados, na qual 0% das ligações são adequadas.

Para a ligação do tipo 3 (banzo superior/pontalete), das 9 ligações analisadas, 2 foram construídas corretamente, totalizando 22,2% de ligações adequadas.

Das ligações do tipo 4 (diagonal/pontalete), 1 foram construídas de maneira correta em relação as 7 ligações deste tipo, na qual 14,28% das ligações são adequadas.

E finalmente, das 9 ligações do tipo 5 (banzo inferior/pontalete), 7 foram detalhadas e construídas adequadamente em relação à existência da folga necessária entre as peças interligadas, totalizando 78% de ligações adequadas.

Estas conclusões acima podem ser visualizadas na tabela seguinte:

Tabela 30 - Porcentagem de ligações construídas corretamente

Tipo de Ligação	Número de ligações analisadas	Ligações adequadas (quantitativo)	Ligações adequadas (%)
1	9	5	22,20
2	7	0	0
3	9	3	22,20
4	7	2	14,28
5	9	7	78,00

O fator histórico não foi decisivo na relação entre os telhados das edificações antigas e recentes, isto é, não houve necessariamente adequação, nem evolução do detalhamento destas ligações ao longo do tempo. Pôde-se perceber que o detalhamento correto de qualquer ligação dependeu mais da habilidade do carpinteiro do que da tecnologia aplicada.

Há uma grande porcentagem de ligações construídas de forma inadequada, principalmente as ligações do tipo 2 (Banzo Superior-Diagonal), do tipo 3 (Banzo Superior-Pontalete) e do tipo 4 (Diagonal-Pontalete), podendo ser conseqüência de falta de mão-de-obra qualificada, de ausência de projetos para as estruturas Howe com vãos até 12 metros, além de descaso com a construção de telhados para edificações de pequeno porte.

Porém a falta de adequação, nestes 9 casos vistoriados, não levou nenhuma estrutura ao colapso, podendo-se concluir também que, a norma NBR 7190/97 pode ser considerada uma norma conservadora, em relação aos coeficientes de segurança adotados para a minoração das resistências das madeiras empregadas nas estruturas dos telhados.

A quantidade de ligações construídas de forma incorreta mostra que é preciso aliar à prática de carpintaria, um projeto de detalhamento, acompanhado dos cálculos corretos com a finalidade de promover o correto funcionamento das estruturas de tesouras Howe, assim como para qualquer estrutura que utiliza a sambladura nas suas ligações.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 7190/97. **Projeto de execução de Estruturas de madeira**, Rio de Janeiro, 1997.
- BAIÃO, LUSCINIA MARIA RIBEIRO; CHAHUD, EDUARDO; UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Contribuição ao estudo de ligações em estruturas de madeira**. 1997 153 f., enc. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais.
- BALLARIN, A. W. **Ensino de engenharia florestal: formação ou formatação**. 2003. (Apresentação de Trabalho/Conferência ou palestra).
- CALIL JR, Carlito; DIAS, Antônio Alves. **Utilização da madeira em construções rurais**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v. I, p.71-77, 1997.
- CARDÃO, Celso. **Técnica da construção**. 2. ed. Belo Horizonte: 1969. 2v. ((Coleções engenharia e arquitetura))
- CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla. **Estruturas de madeira (fascículo 1): propriedades físicas e mecânicas**. Belo Horizonte: EEUFMG, 19--? 1 v.
- CARRASCO, Edgar Vladimiro Mantilla. **Estruturas usuais em madeira: propriedades físicas e mecânicas**. Belo Horizonte: EEUFMG, 2004 1 v.
- COSTA, ANTONIO FERREIRA DA. **Detalhando a arquitetura III e IV (telhados e escadas)**. 2.ed. Rio de Janeiro: Do autor, 1997. 146p.+ vol. 34 no. 9, September 1999.
- CRUZ, JULIO R. B. **Avaliação da Integridade de Componentes Estruturais**. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. Disponível em: <<http://ctjovem.mct.gov.br/index.php>>. Acesso em: 10 de abril de 2006.
- DAMIANI, Andressa Ferraz; AZUMA, Márcia Lissa. **Madeiras**. Setor Tecnológico da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.
- DEMARZO, MAURO AUGUSTO. **Ligação tipo Sambladura**. 2000. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostilas).
- DUARTE, RENATA DE SOUZA; CARRASCO, EDGAR VLADIMIRO MANTILLA; UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Avaliação do comportamento de ligações com parafusos auto-atarraxantes em vigas de MLC**. 2004 230 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnología da madeira: retratibilidade** Santa Maria, CEPEF/FATEC, 1992. 33 p. (Série Técnica, 10)

- GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.
- GESUALDO, F. A. ROMERO. **Estruturas de Madeira: Notas de aula**. Uberlândia: FECIV-UVU, 2003.
- GOMES, A. N. , LEITE, H. G. e ALVES, J. C. Z. O. **Teor de umidade da madeira em função do tempo de secagem**. Viçosa: UFV.
- GREEN, D. W.; EVANS, J. W.; PELLERIN, R. (1991). **Moisture content and the flexural properties of lumber: species differences**. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, London. *Proceedings*. London, England.
- HELLMEISTER, J. C. (1983). **Madeiras e suas características**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1., São Carlos, SP.1983. ANAIS: CARACTERÍSTICAS. São Carlos, USP-EESC-SET-LaMEM.
- HISTÓRIA da arte. São Paulo: Salvat, 1978, vol.2.
- KARLSEN, G. G.; BOLSHAKOV, V. V.; KAGAN, M. Y.; SVENTSITSKY, G. V.; ALEKSANDROVSKY, K. V.; BOCHKARYOV, I. V.; FOLOMIN, A. I. (1967). **Wooden Structures**. Moscow, Mir Publishers. 638p.
- KOLLMAN, F.F.P. e CÔTE, Jr.W.A. **Principles of wood science and technology I. solid wood**. Berlim, Springer-verlag, 1968, 552p.
- KRECH, H. (1960). **Größe und zeitlicher Ablauf von Kraft und Durchbiegung beim Schlagbiegeversuch na Holz und ihr Zusammenhang mit der Bruchschlagarbeit**.
- LIMA, J. T.; DELLA LUCIA, R. M.; VITAL, B. R. (1986). **Influência do teor de umidade nas propriedades mecânicas de *Eucalyptus Saligna***. Revista *Árvore*, v.10, n.1, p.27-43.
- LOGSTON, Norman Barros; CALIL JR., Carlito. **Influência da Umidade nas Propriedades de Resistência e Rigidez da madeira**. *Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 18, p. 77-107, 2002*
- LOGSDON, Norman Barros – **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2002.
- MADSEN, B. **Structural behaviour of timber**. North Vancouver, British Columbia. Canada, Timber Engineering Ltd, 1992.
- MARQUES, MAURO CAVALCANTI. **Arquitetura, um segmento: glossário de cobertura**. [Belo Horizonte]: 1990. 121p.

- MOLITERNO, ANTONIO. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira.** São Paulo: E. Blucher, 1981. 419p.
- MORETTI FILHO, JUSTO. **Contribuição para o estudo de tesouros dos telhados: madeira.** Piracicaba, 1952. 151p.
- MONTEIRO, JONATHAS DA COSTA REGO. **Tesouras de telhado.** Rio de Janeiro: Interciência, 1976. 120p.
- PALAZZO, Pedro P. **High-Tech ou Low-Tech?** Brasília: Unieuro, 2004. Disponível em: http://palazzo.arq.br/index.php?option=com_content&task=view&id=14 & Itemid=26. Acesso em: 01 ago. 2006
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 4.ed. New York: Mc-Graw-Hill, 1980. PEREZ, FERNANDO CASSINELO. **Construcción - Carpinteria.** Madri: Editorial Rueda, 1973.
- PONCE, Reinaldo Herrero. **Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas.** In: *Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria.* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – DPTF/IBF – São Paulo, 1995. p.50-58.
- SEGURADO, JOÃO EMÍLIO DOS SANTOS. **Trabalhos de Carpintaria Civil.**
- STEIN, Fabiano da Rocha. **Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira.** Orientador: José Lívio Gomide. Conselheiros: Helio Garcia Leite e José Márcio Cardoso. Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2003.
- TSOUMIS, G. **Science and Technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p. VASCONCELOS, SYLVIO. **Arquitetura no Brasil - Sistemas Construtivos.** Edições Escola de Arquitetura, 1958.
- VASCONCELOS, SYLVIO. **Arquitetura. Dois Estudos.** Instituto Estadual do Livro. Porto Alegre, 1960.
- VITAL, Benedito Rocha, MACIEL, Antônio da Silva, DELLA LUCIA, Ricardo Marius. **Efeito de ciclos de umidade relativa e temperatura do ar na resistência de juntas coladas com lâminas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus saligna* Smith e chapas de fibra de densidade média (MDF).** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.801-807, 2005

REFERÊNCIAS NA INTERNET

<http://www.lobocanyon.com/pics/2003-07-30/garage-roof.jpg>
Acesso em: 20 set. 2005.

<http://www.capability.org.uk/projects.htm>

Acesso em: 20 set. 2005.

<http://www.huskylogwork.com/projects.php>

Acesso em: 20 set. 2005.

<http://www.thetimberframe.co.uk/dixonj1.shtml>

Acesso em: 20 set. 2005.

http://www.diydoctor.org.uk/projects/roof_trusses.htm

Acesso em: 20 set. 2005.

http://www.gallica.co.uk/villa/photos_high.htm

Acesso em: 20 set. 2005.

<http://www.csun.edu/~hcgeo007/raisingtrusses.html>

Acesso em: 20 set. 2005.

<http://www.hearthstonegeorgia.com/images/LandRoverTruss1.jpg>

Acesso em: 20 set. 2005.

<http://www.envmill.com/trusses/trusses5.htm>

Acesso em: 20 set. 2005.

http://www.edifique.arq.br/nova_pagina_9.htm

Acesso em: 20 set. 2005.

http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/Madeiras/estrut_cobert.html

Acesso em: 20 set. 2005.

http://planeta.terra.com.br/arte/campograndems/vista_frontal.html

Acesso em: 20 set. 2005.

<http://www.jet.com.br/Design/tecmedd/Produto/200835.jpg>

Acesso em: 05 out. 2005.

<http://www.woodworking-online.com/chapter7/1.html>

Acesso em: 05 out. 2005.

<http://www.tfguild.org/publications/queenposttrussTF71.pdf#search='Queenpost'>

Acesso em: 05 out. 2005.

<http://ths.sps.lane.edu/english/Period3/David%5FMarchant/>

Acesso em: 05 out. 2005.

http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/Coberturas2/vigam_sec_link.htm

Acesso em: 17 out. 2005.

<http://www.uepg.br/denge/aulas/Coberturas/conteudo.htm#6>

Acesso em 17 out. 2005.

http://www.arq.ufsc.br/~labcon/arq5661/Coberturas2/treli%E7a_link.htm
Acesso em: 06 fev. 2006.

<http://www.woodworking-online.com/chapter7/3.html>
Acesso em: 10 mar. 2006.

http://dendro.cnptia.embrapa.br/Agencia1/AG01/arvore/AG01_77_309200411814.html
Acesso: 27 mai. 2006

http://www.pegue.com/artes/arquitetura_gotica.htm
Acesso em: 01 ago. 2006

<http://www.pegue.com/artes/berco.htm>
Acesso em: 01 ago. 2006

http://pegue.com/artes/arquitetura_barroca.htm
Acesso em: 01 ago. 2006

http://www.cotianet.com.br/Turismo/Sitio_Padre_Inacio_A_.htm
Acesso em: 01 ago. 2006.

<http://www.arquidiocese-bh.org.br/inventario/default.asp>
Acesso em: 01 ago. 2006.

ANEXO A

GLOSSÁRIO DE TELHADOS

Este glossário apresenta termos (terminologia arquitetônica e estrutural) utilizados nos telhados, com seus sinônimos e significados:

ABRAÇADEIRA, FERRAGEM OU ESTRIBO: peça metálica ou de madeira, com seção retangular ou redonda, utilizada nas sambladuras ou nas ligações entre as peças, como reforço, principalmente na inversão de esforços.

ÁGUA: superfície plana inclinada, compreendida entre a cumeeira, beiral, empena ou tacaniça.

ÁGUA MESTRA: água com forma trapezoidal, utilizada em telhados de planta regular.

ALPENDRE: cobertura independente do telhado principal da edificação.

BANZO INFERIOR OU LINHA: nas tesouras, é a viga horizontal sujeita à esforços de tração (sob condições normais de carregamento). E apóia os banzos superiores.

BANZO SUPERIOR OU PERNA: peça inclinada apoiada diretamente no pontalete e no banzo inferior, sujeito a esforços de compressão (sob condições normais de carregamento). Recebe as terças e transmite os esforços da cobertura para as extremidades da tesoura e cumeeiras.

BEIRAL: porção do telhado cuja projeção horizontal está além do corpo da edificação.

BITOLA: medidas de uma peça tomada como referencia para a confecção de outras.

CAIBRO: peça de madeira que se apóia na cumeeira, terças e contra-frechal. Nele são pregadas as ripas.

CALHA: elemento de chapa galvanizada, de pvc, de concreto, etc; com seção semi-circular ou quadrada, que serve de recolhimento das águas pluviais do telhado.

CHAPUZ: peça de madeira de seção triangular fixada no banzo superior da tesoura, para apoio das terças em telhados com grandes inclinações.

CONTRA-FRECHAL: peça de madeira situada acima do frechal, paralela a ele, e apoiada sobre o banzo inferior de uma tesoura, no mesmo sentido do frechal.

CONTRAVENTAMENTO OU RETRANCA: estrutura auxiliar ou peça destinada a impedir o reviramento dos caibros. Sua função é resistir aos esforços do vento.

CONTRAVENTAMENTO VERTICAL: estrutura plana vertical formada por barras cruzada, dispostas perpendicularmente ao plano das tesouras. Estas barras servem de sustentação para a ação das forças que atuam no seu plano, travando as tesouras, de maneira de impedir sua rotação e deslocamento, principalmente contra a ação do vento, como também sendo elemento de vinculação do banzo inferior contra a flambagem lateral.

CONTRAVENTAMENTO HORIZONTAL: estrutura formada por barras tracionadas colocadas no plano abaixo da cobertura, para amarração do conjunto formado pelas tesouras e terças. Estas barras servem para transferir a ação do vento, atuando na direção esconsa ao edifício para as tesouras ao contraventamento vertical.

CUMEEIRA: parte mais alta de um telhado no encontro de duas águas mestras. É também a designação da peça que une o vértice superior da tesoura. Apóia-se nos pontaletes.

DIAGONAL OU ESCORA: peça em posição inclinada que vai aproximadamente do cento do banzo superior até a base do pontalete. Sob condições normais de carregamento, trabalha comprimida.

EMPENA: parte superior de uma parede com forma de um triângulo isósceles.

ENSAMBLAR: encaixar as peças de madeira umas nas outras de modo a tornar-se um conjunto perfeito e estável.

ESPIGÃO: nome da aresta inclinada e saliente no encontro de duas águas. É a interseção das águas mestras e das tacaniças.

FRECHAL: peça de madeira assentada diretamente sobre as paredes em todo o perímetro da edificação. Serve para apoiar o banzo inferior ou receber os banzos superiores e distribuir uniformemente sobre as paredes as cargas. Não é preciso seu uso, quando a edificação possui vigamento ou cintamento.

FRONTÃO: empena trabalhada, decorada, que coroa a parte central da edificação.

LANTERNIM: elevação do telhado, geralmente na cumeeira, que serve para iluminar e ventilar edificações. Utilizado em edificações de grande porte. Ex.: galpões.

MADEIRAMENTO OU TRAMA: designação do conjunto de peças que sustentam a cobertura.

MANSARDA: são telhados formados por duas águas com inclinações diferentes, constituindo-se de quatro planos inclinados dois a dois, na qual os superiores têm inclinações maiores.

MÃO-FRANCESA: nas tesouras, liga o pontalete à cumeeira, determinando um contraventamento no sentido transversal.

MEIA-ÁGUA: cobertura formada por apenas uma água.

NÓ OU JUNTA: Ponto de interseção de barras.

OITÃO: nome da parede lateral de uma construção que coincide com a divisão do terreno. Ou seja, é a parede que não contém a empena. Muitas vezes servem de apoio para as terças.

PAINEL: distância entre dois nós.

PONTALETE OU PENDURAL: peça situada no encontro de duas águas perpendicularmente ao banzo inferior da tesoura. Nele se apóiam a cumeeira, as diagonais e mãos-francesas. Normalmente trabalha tracionada. Sob condições usuais de carregamento, trabalha tracionado.

PLATIBANDA: mureta de alvenaria, ou concreto, na fachada da edificação, que serve para encobrir as águas dos telhados, arrematar terraços ou compor esteticamente a fachada.

PONTO: relação entre a altura e o comprimento da tesoura.

RINCÃO: canal formado pelo encontro de duas águas convergentes do telhado. É também a denominação da chapa galvanizada (ou de outro material) que escoar a água das chuvas para as calhas.

RIPA: peça que apóia diretamente as telhas. O afastamento entre estas peças depende da dimensão das telhas obtida em cada fabricante.

SAMBLADURA OU ENSAMBLADURA: nome que se dá a todo e qualquer corte ou entalhe feito na peça de madeira, e que são interligadas sem auxílio de pinos.

TACANIÇA: num telhado de três ou mais águas, é a água que possui a forma triangular.

TELHA: nome de cada uma das peças utilizadas para cobrir as edificações, protegendo-as principalmente das chuvas (material impermeável).

TERRAÇO: área sem cobertura situada sobre uma edificação.

TERÇA: vigas de madeira localizadas entre o contra-frechal e a cumeeira. São paralelas a estes e servem de sustentação dos caibros.

TESOURA OU ASNA: estrutura principal que sustenta o telhado. Geralmente possui forma triangular ou acompanha a forma externa da cobertura.

APÊNDICE A

TELHADOS COM ESTRUTURAS NÃO CONVENCIONAIS

EDIFICAÇÃO A: TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE MINAS GERAIS

- a) Data da vistoria: 01/09/2005
- b) Data da obra: concluída em 1910.
- c) Localização: Avenida Afonso Pena, 1420 – Centro – Belo Horizonte.
- d) Relatório fotográfico:



Foto A1 - Tesoura com Banzo Intermediário em madeira e verticais em tirantes de aço.

Fonte: autora



Foto A2 - Detalhe do Banho Inferior atirantado ao Banho Intermediário.
Fonte: autora



Foto A3 - Ligação Banho Inferior-Banzo Superior.
Fonte: autora



Foto A4 - Ligação Banzo Intermediário-Banzo Superior.
Fonte: autora



Foto A5 - Detalhe da ligação do tirante com o Banzo Inferior.
Fonte: autora

EDIFICAÇÃO B: IGREJA DE LOURDES

- a) Data da vistoria: 19/10/2005
- b) Data da obra: 1916-1923.
- c) Localização: Rua da Bahia, 1596 – Lourdes – Belo Horizonte.
- d) Relatório fotográfico:



**Foto B1 - Tesoura com Banzo Intermediário e sem Banzo inferior.
Fonte: autora**



Foto B2 - Detalhe da terça apoiada no Banzo Superior. Ao fundo empena de alvenaria.
Fonte: autora



Foto B3 - Detalhe do escoramento do Banzo Intermediário ao Banzo Superior.
Fonte: autora



Foto B4 - Ligação dos Banzos Superiores-Pontaleta com dente simples e chapa metálica.
Fonte: autora



Foto B5 - Ligação Pontaleta-Banzo Inferior.
Fonte: autora

EDIFICAÇÃO C: CAPELA NOSSA SENHORA DO ROSÁRIO

- a) Data da vistoria: 26/10/2005
- b) Data da obra: 1895-1897.
- c) Localização: Rua São Paulo, 759 – Centro – Belo Horizonte.
- d) Relatório fotográfico:



**Foto C1 - Tesoura de madeira em forma de arco ogival.
Fonte: autora**



Foto C2 - Apoio do Banzo Superior (consolo de concreto).
Fonte: autora



Foto C3 - Fixação dos apoios do Banzo Superior nas laterais da capela.
Fonte: autora



Foto C4 - Tesoura sem Banzo Inferior em forma de arco ogival.
Fonte: autora



Foto C5 - Detalhe da ligação superior da tesoura ogival.
Fonte: autora

EDIFICAÇÃO D: IGREJA DE NOSSA SENHORA DA CONCEIÇÃO

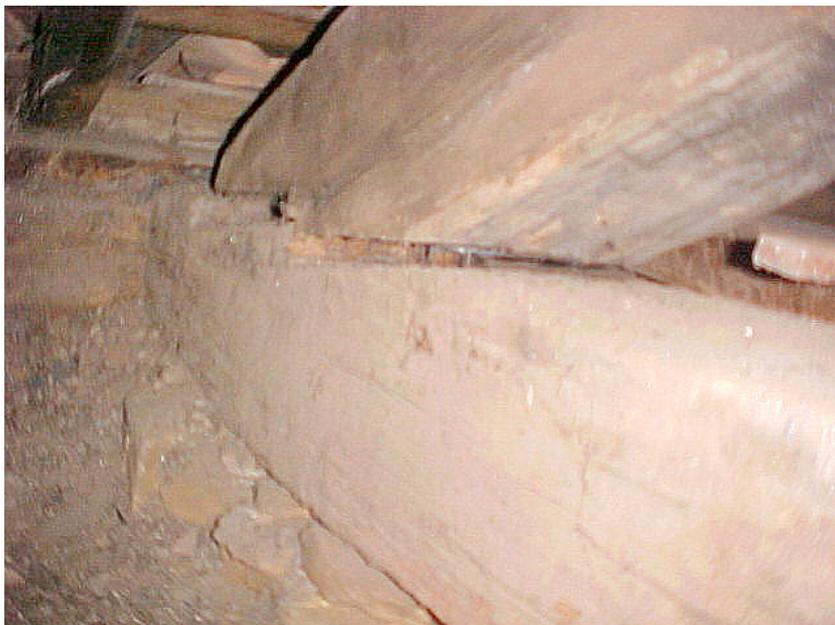
- a) Data da vistoria: 19/06/2006
- b) Data da obra: 1727-1760.
- c) Localização: Ouro Preto – MG.
- d) Relatório fotográfico:



**Foto D1 –Tesoura com Banzo Intermediário e verticais inclinadas.
Fonte: autora**



**Foto D2 – Peça vertical inclinada da tesoura.
Fonte: autora**



**Foto D3 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior com dente duplo.
Fonte: autora**

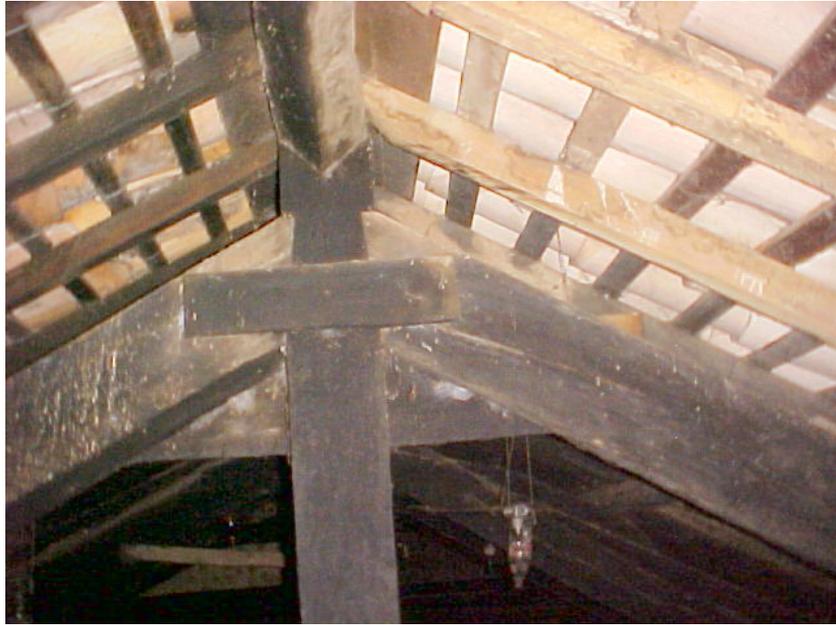


Foto D4 – Ligação Banzos Superiores-Pontaete com dente simples e chapa metálica.
Fonte: autora



Foto D5 – Ligação Pontaete-Banzo inferior (peça dupla), com abraçadeira metálica.
Fonte: autora

EDIFICAÇÃO E: IGREJA DE SÃO FRANCISCO

a) Data da vistoria: 19/06/2006

b) Data da obra: século XVIII

c) Localização: Ouro Preto – MG.

d) Relatório fotográfico:



**Foto E1 - Tesoura tipo "Aspa" (semelhante à Fig.22f)
Fonte: autora**

EDIFICAÇÃO F: IGREJA DE NOSSA SENHORA DAS MERCÊS E PERDÕES

- a) Data da vistoria: 19/06/2006
- b) Data da obra: século XVIII
- c) Localização: Ouro Preto – MG.
- d) Relatório fotográfico:



**Foto F1 - Tesoura sem pontaleta. Observar detalhe da ligação entre os Banzos Superiores.
Fonte: autora**



Foto F2 - Ligação Banzo inferior-Banzo superior
Fonte: autora



Foto F3 - Ligação entre os Banzos Superiores.
Fonte: autora

EDIFICAÇÃO G: CURRAL RIO DOCE

- a) Data da vistoria: 01/08/2006
- b) Data da obra: 2000
- c) Localização: Rio Doce – MG.
- d) Relatório fotográfico:



**Foto G1 – Tesoura Howe com duas terças.
Fonte: professor Sebastião Salvador Real Pereira**



**Foto G2 – Ligação entre Banzo Superior, Diagonal (peça dupla) e Montante (peça dupla).
Fonte: professor Sebastião Salvador Real Pereira**



**Foto G3 – Ligação entre Pontaleta, Diagonal e Banzo Inferior da tesoura principal com a meia tesoura.
Fonte: professor Sebastião Salvador Real Pereira**



Foto G4 – Ligação Banzo Inferior-Banzo Superior
Fonte: professor Sebastião Salvador Real Pereira