

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

Título do Trabalho: Perícia em estrutura de madeira – Análise de não conformidades e inadequações em sistema de cobertura.

RESUMO

A existência de supostas não conformidades graves em estrutura de madeira para sistema de cobertura motivou a realização, a pedido do CONTRATANTE, de intervenção posterior, pela própria CONSTRUTORA, baseada em LAUDO DE ENGENHARIA realizado por profissional independente. Contudo, e segundo alegado pela CONTRATANTE, embora realizada a intervenção, as não conformidades não foram totalmente sanadas, razão pela qual tornou-se necessária a completa reformulação do sistema de cobertura, através da contratação de outro empreiteiro. Para fazer frente a estas despesas, decidiu a CONTRATANTE reter o saldo de haveres da CONSTRUTORA, o que gerou da parte desta última o ingresso com Ação Monitória, visando o recebimento do numerário a que entendia fazer jus. Instalada a demanda, durante a fase de instrução houve determinação de PERÍCIA JUDICIAL, visando esclarecer os pontos controversos da lide. Este trabalho consiste em adaptação da referida perícia, onde o agente dificultador consistiu no fato da Prova Pericial ser realizada após o transcurso de cerca de 11 anos do ocorrido, já com descaracterização da estrutura original. Ainda assim e mediante análise criteriosa, tornou-se possível atestar que razão assistia à CONTRATANTE, posto que de fato a estrutura original possuía graves não conformidades, que remanesceram mesmo com a intervenção outrora realizada pela CONSTRUTORA.

PALAVRAS-CHAVE: *Treliças, Madeira, Estrutura, Cobertura, Não conformidade.*

1 EXPOSIÇÃO

Tendo em vista que o ponto central da demanda versa sobre matéria de natureza eminentemente técnica – **supostas deficiências na estrutura do sistema de cobertura, posteriormente refeito, cujo elemento estrutural principal seriam treliças em madeira** –, entendeu-se como imprescindível que se procedesse explanação relativa aos principais aspectos e conceitos envolvidos, através de uma breve revisão bibliográfica, no intuito de amenizar a aridez do tema e facilitar a compreensão.

1.1 Treliças

Treliças são elementos estruturais muito utilizados na construção civil quando se pretende vencer um vão livre, sendo que possuem particular relevância na confecção de sistemas de cobertura (telhados).

Em sua fabricação podem ser utilizados diversos materiais, sendo mais frequentes o aço e a madeira.

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

Por definição, treliças são constituídas por barras (tidas como indeformáveis), unidas entre si em articulações (consideradas perfeitas), estando sujeitas a cargas aplicadas somente nestas articulações (chamadas ‘nós’).

Em sendo assim, tem-se que as barras que a constituem estarão sujeitas exclusivamente a esforços normais – de tração ou compressão.

Tendo em vista que as treliças utilizadas no sistema de cobertura ora em análise foram confeccionadas em madeira do tipo serrada, restringiu-se este trabalho pericial a discorrer sobre este tipo particular de treliça.

A seguir e para melhor entendimento, encontra-se reproduzida gravura que descreve e nomina os vários elementos construtivos que compõe uma treliça típica de telhados, denominada “tesoura”.

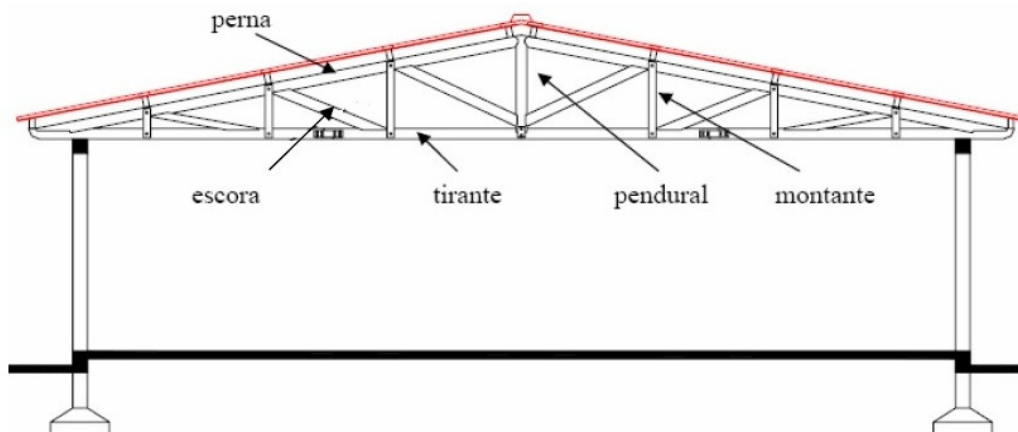


Figura 01 – Nomenclatura dos elementos construtivos de uma treliça típica.

1.2 A madeira serrada como material estrutural

Sendo a madeira serrada um material obtido diretamente da natureza, através do desdobro de toras, espera-se grande variabilidade em seu comportamento estrutural, em decorrência dos diversos fatores que a caracterizam e influenciam.

Assim, tem-se que a resistência das madeiras depende principalmente:

- Da espécie escolhida (Cambará, Angelim, etc.);
- Do tipo de esforço aplicado, sendo que a resistência à compressão difere significativamente daquela correspondente à tração;
- Do sentido de aplicação dos esforços (em relação às fibras da madeira), havendo maior resistência no sentido paralelo e menor no sentido perpendicular às fibras;
- Do teor de umidade, posto que este modifica profundamente o comportamento da madeira.

Tendo em vista que as treliças em madeira são compostas por várias barras conectadas entre si (em pontos denominados ‘nós’), tem-se ainda que o adequado comportamento estrutural deste conjunto depende sobretudo da eficiência destas conexões, tecnicamente chamadas de **ligações**.

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

A figura a seguir reproduzida ilustra um tipo de ligação (chamada estribo), bastante utilizada nas treliças em madeira.

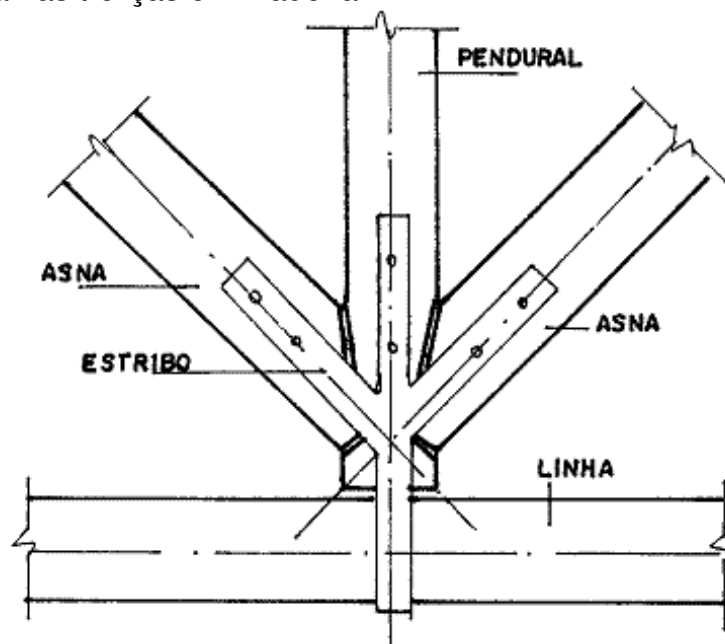


Figura 02 – Detalhe da ligação entre a linha, asnas e pendural. Fonte: Google *apud* MOLITERNO (1986).

1.2.1 Ligações entre peças estruturais de madeira

Segundo MOLITERNO (1986), as ligações nas estruturas de madeira constituem-se nos pontos mais perigosos, posto que a falha de uma única conexão pode ocasionar o colapso de todo o conjunto.

Enumera o citado autor os vários aspectos que influenciam na eficiência das ligações, sendo especialmente relevantes:

- a) O comportamento elasto-plástico da madeira;
- b) A qualidade do projeto e mão de obra, sendo as sambladuras (entalhes), parafusos, cavilhas, tarugos e pregos os tipos de ligações mais usuais;
- c) O tipo de ligação utilizada, sendo que aquelas pregadas apresentam menor eficiência entre todas as usualmente empregadas, sofrendo maiores deformações.

A figura a seguir apresentada demonstra o comportamento dos vários tipos de ligações.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**

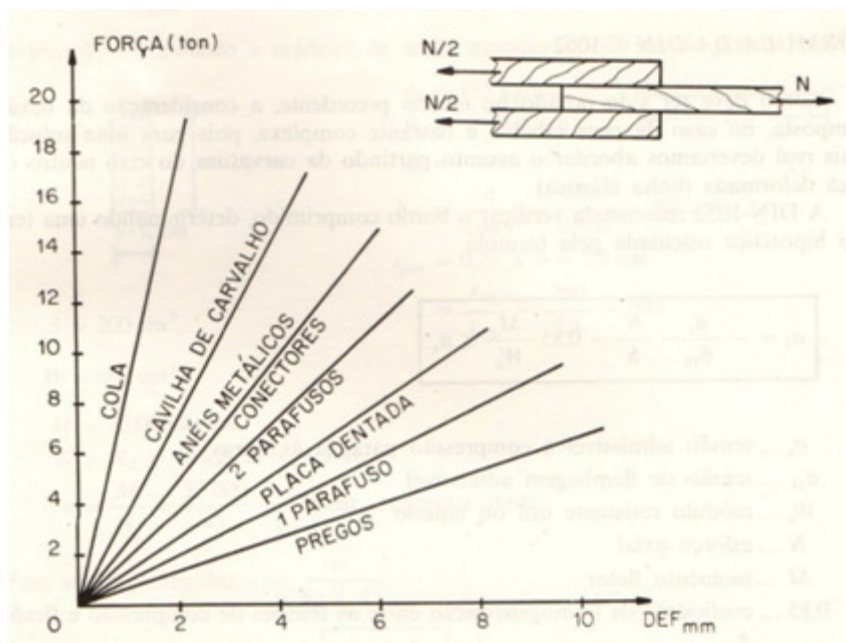


Figura 03 – Força aplicada x deformação observada. Fonte: MOLITERNO (1986) *apud* Prof. Arcangeli (da obra *La Cienza dele Construzioni*).

1.2.2 Umidade da madeira

Segundo BERTOLINI (2010), a madeira é um material higroscópico que pode absorver umidade tanto da água líquida quanto diretamente da atmosfera. Depois do corte, a umidade da madeira 'verde' diminui até chegar a um valor de equilíbrio com o meio.

Sendo assim e quando em uso, a umidade da madeira não é uma constante, sofrendo variações em função principalmente da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente, o que ocasiona alterações importantes em seu comportamento.

O gráfico a seguir ilustra o discorrido.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**

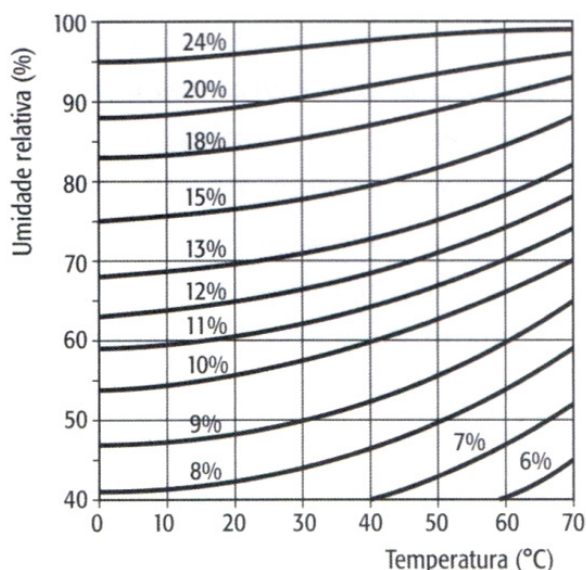


Figura 04 – Umidade na madeira em equilíbrio com um ambiente em função da temperatura e da umidade relativa do ar. Fonte: BERTOLINI (2010) *apud* TSUOMIS, (1991).

1.2.3 Comportamento da madeira, em função dos efeitos da umidade

As variações de umidade tendem a gerar variações dimensionais nas madeiras serradas.

Conforme CALIL JR., LAHR e BRAZOLIN (2007), as peculiaridades anatômicas da madeira, as quais levam em consideração as três direções principais - Transversal, Radial e Tangencial -, requerem que o processo de secagem seja cuidadosamente realizado, inclusive no que diz respeito ao armazenamento do material já serrado.

Deficiências na secagem ou falta de cuidado no armazenamento das peças serradas provocam uma série de defeitos, os quais restringem ou até mesmo inviabilizam o seu aproveitamento.

A figura apresentada a seguir ilustra os defeitos mais frequentes, observados em peças de madeira serrada.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**

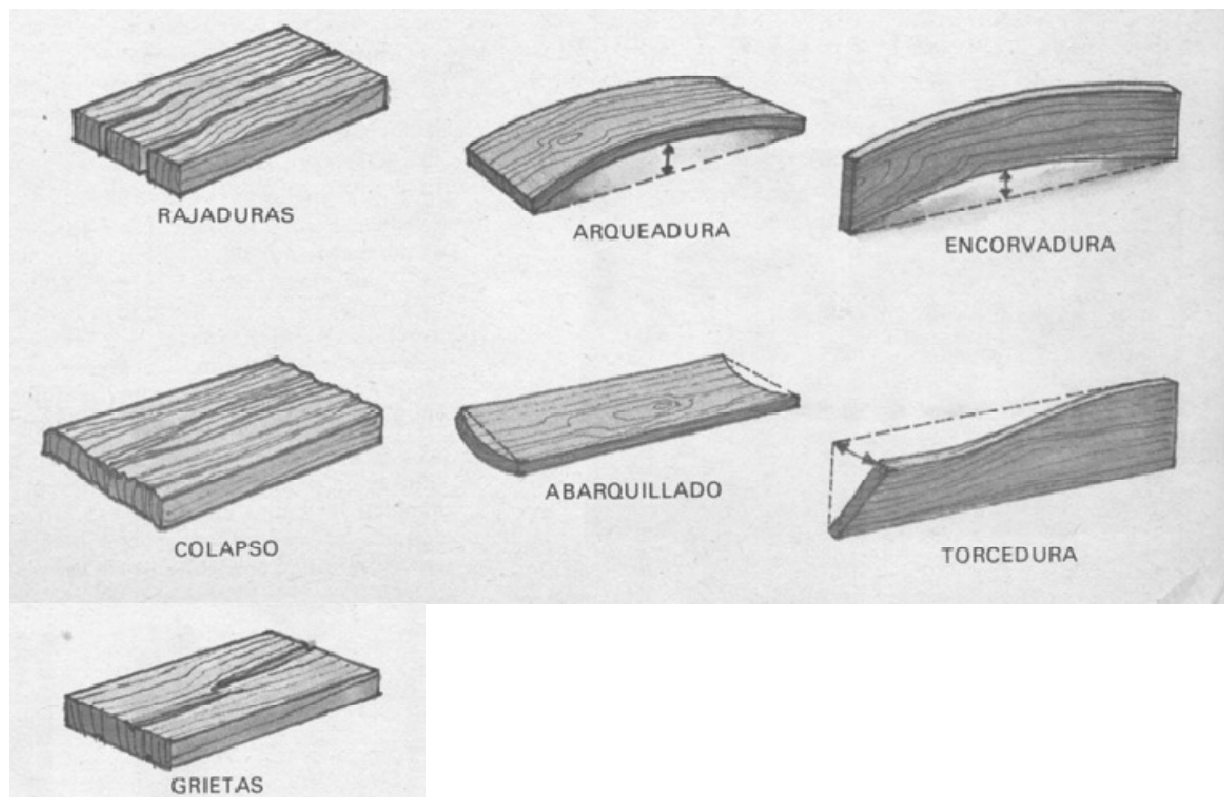


Figura 05 – Principais tipos de defeitos em peças de madeira serrada, após secagem. Fonte: CALIL JR., LAHR e BRAZOLIN (2007) *apud Junta Del Acuerdo de Cartagena* (1980).

Ainda segundo os mesmos autores, a diferença entre as percentagens de retração radial (R) e tangencial (T) é o fator responsável pelas trincas, rachaduras, empenamentos, encanoamentos, torcimentos e outros defeitos, no transcurso dos processos de secagem da madeira.

As espécies com baixa relação T/R e baixos valores absolutos de T e R são as de melhor estabilidade dimensional.

No quadro a seguir apresentado pode ser observado que o Cambará, o Eucalipto Tereticornis e o Goiabão são as espécies menos estáveis, dentre as descritas.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**

ESPÉCIE	R (%)	T (%)	RELAÇÃO R/T
Angelim Pedra	4,3	4,0	1,6
Cambará	3,6	8,7	2,4
Castanheira	4,7	9,4	2,0
Cedro	4,0	5,3	1,3
Cupiúba	4,3	7,1	1,7
Eucalipto Citriodora	6,5	9,6	1,5
Eucalipto Tereticornis	7,3	16,7	2,3
Freijó	6,3	11,7	1,9
Goiabão	8,9	18,8	2,1
Ipê	5,1	7,8	1,5
Jatobá	3,6	6,9	1,9
Louro Preto	4,2	8,0	1,9
Mandioqueira	4,7	9,3	2,0
Mogno	3,0	4,1	1,4
Sucupira	5,9	7,3	1,2
Tatajuba	4,1	5,9	1,4

Tabela 01 – Comportamento dimensional da madeira serrada, em função da variação de umidade. Fonte: CALIL JR., LAHR e BRAZOLIN (2007).

1.3 Projeto e dimensionamento de estruturas de madeira

Tendo em vista o comportamento característico da madeira, a Norma Técnica aplicável *ABNT: NBR 7190/1997 – Projeto de Estruturas de Madeira* estabelece uma série de procedimentos a serem seguidos quando da elaboração de projetos, de modo a contemplar os diversos fatores influenciadores e verem-se atendidos os requisitos de desempenho e segurança exigíveis e necessários.

Em face do teor de umidade ter influência direta nas propriedades mecânicas da madeira, a referida norma técnica adota como referência o teor de umidade igual a 12%, indicando procedimento de correção para valores diversos.

Para tanto, foram definidas classes de umidade nas quais o teor de umidade da madeira é uma função da umidade relativa do ambiente (U_{amb}), em seu valor médio anual, conforme demonstra o quadro a seguir apresentado.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**

CLASSES DE UMIDADE	UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE (U_{amb})	UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA $U_{(equil)}$
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	$\geq 25\%$

Tabela 02 – Classes de umidade. Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

A resistência estrutural da madeira a ser considerada em projeto é expressa pela seguinte equação:

$$X_d = k_{mod} (X_k / \gamma W) \text{ (NBR7190/ 1997 – item 6.4.3)}$$

Onde:

X_d = Resistência de projeto

k_{mod} = Coeficiente de modificação das resistências ($k_{mod1} \times k_{mod2} \times k_{mod3}$)

X_k = Resistência característica da madeira

γW = Coeficiente de minoração da resistência

Os valores de k_{mod1} , que levam em consideração a duração do carregamento, estão relacionados no quadro a seguir:

CLASSES DE CARREGAMENTO	TIPOS DE MADEIRA	
	Madeira serrada - Madeira colada - Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	0,01

Tabela 03 – Valores de k_{mod1} . Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

Os valores de k_{mod2} modificam a resistência para emprego em ambientes onde o teor de umidade é diferente da condição padrão de referência (12%) e estão relacionados no quadro a seguir apresentado.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**

CLASSES DE UMIDADE	Madeira serrada - Madeira colada - Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,00	1,00
(3) e (4)	0,80	0,90

Tabela 04 – Valores de k_{mod2} . Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

Os valores de k_{mod3} corresponderão a 1,0 quando se tratar de madeira de 1ª categoria (peças isentas de defeitos).

Já peças com pequenos defeitos (situação usual) são enquadradas como de 2ª categoria, com $k_{mod3} = 0,8$.

O valor de X_k (resistência característica da madeira) é obtido a partir da resistência média tabelada e aferida em ensaios para cada espécie (X_m), considerando seu tratamento estatístico.

Assim, adota-se $X_k = 0,70X_m$ (NBR 7190/1997 – item 6.4.7)

O valor do coeficiente γ_w é função do tipo de solicitação aplicada, sendo usuais os seguintes valores:

TIPOS DE SOLICITAÇÃO (Quando paralelas às fibras)	VALORES DE γ_w
Resistência a compressão γ_{wc}	1,4
Resistência a tração γ_{wt}	1,8
Resistência ao cisalhamento γ_{wv}	1,8

Tabela 05 – Valores de γ_w . Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

Quanto à aceitação das estruturas de madeira, estabelece, ainda, a NBR 7190/1997:

“4.1.4 Aceitação da estrutura

Satisfeitas as condições de projeto e de execução desta Norma, a estrutura poderá ser aceita automaticamente por seu proprietário. Quando não houver a aceitação automática, a decisão a ser tomada será baseada na revisão do projeto e, eventualmente, em ensaios dos materiais empregados ou da própria estrutura.” (grifos nossos)

1.4 Inspeção

No dia 17 de julho de 2014 foi realizada a PROVA PERICIAL (instalação da perícia), estando presentes os representantes das partes envolvidas no processo.

Na ocasião foi requerido às partes que disponibilizassem documentação técnica complementar relacionada (fotografias, projetos, etc.) para que então fosse procedida inspeção detalhada, em data a ser agendada.

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

Após análise da documentação técnica complementar disponibilizada, foi agendada e realizada INSPEÇÃO DETALHADA no dia 08 de agosto de 2014, também na presença dos representantes.

Naquela oportunidade pode-se constatar que houve refeitura completa do sistema de cobertura, com inclusão de trecho em laje sobre o vão originalmente existente junto à Recepção da Clínica e com adaptações diversas no madeiramento, embora reaproveitadas as telhas cerâmicas originais.

Sob o sistema de cobertura foi ainda possível identificar a preservação das treliças como originalmente executadas pela CONSTRUTORA, embora atualmente sem função.

As fotografias a seguir apresentadas ilustram os aspectos descritos.



Fotografia 01 – INSPEÇÃO DETALHADA. Vista externa parcial do sistema de cobertura atualmente existente.



Fotografia 02 – INSPEÇÃO DETALHADA. Notar desalinhamento das telhas cerâmicas.



Fotografia 03 – INSPEÇÃO DETALHADA. Vista parcial do interior da clínica (Hall e Recepção).

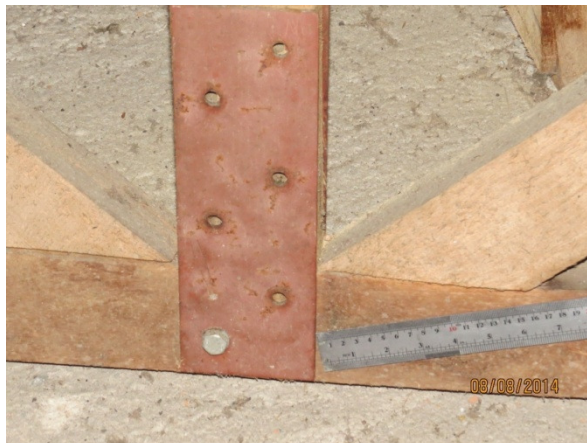


Fotografia 04 – INSPEÇÃO DETALHADA. Vista interna geral do sistema de cobertura atual.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**



Fotografia 05 – INSPEÇÃO DETALHADA. Observar a preservação das treliças originais, sob o sistema de cobertura atual.



Fotografia 06 – INSPEÇÃO DETALHADA. No detalhe da treliça, ligação por meio de chapa metálica e parafuso único.



Fotografia 07 – INSPEÇÃO DETALHADA. No detalhe, aferição de medidas de uma das treliças remanescentes.



Fotografia 08 – INSPEÇÃO DETALHADA. Na treliça, observar ligação típica, executada por uso de pregos.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**



Fotografia 09 – INSPEÇÃO DETALHADA. No detalhe, treliça comum de suas ligações típicas, executada por uso de pregos.



Fotografia 10 – INSPEÇÃO DETALHADA. No detalhe, a utilização indevida de uma das treliças como elemento de apoio aos pontaltes do sistema de cobertura atual.



Fotografia 11 – INSPEÇÃO DETALHADA. Notar que o sistema de cobertura atual utiliza-se de pontaltes apoiados diretamente sobre a laje.



Fotografia 12 – INSPEÇÃO DETALHADA. No detalhe, caibro do sistema de cobertura atual apresentando desalinhamento/deslocamento importante.

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015



Fotografia 13 – INSPEÇÃO DETALHADA. No detalhe, observar deslocamento e desalinhamento em caibro do sistema de cobertura atual.



Fotografia 14 – INSPEÇÃO DETALHADA. Vista parcial do sistema de cobertura atual mostrando as telhas cerâmicas, ripas e caibros.



Fotografia 15 – INSPEÇÃO DETALHADA. Vista parcial do madeiramento que compõe o sistema de cobertura atual.



Fotografia 16 – INSPEÇÃO DETALHADA. No detalhe, observar no sistema de cobertura atual o uso de peças de madeira com diferentes bitolas, unidas de maneira inadequada.

1.5 Análise das informações obtidas e disponibilizadas

Tendo em vista o transcurso de cerca de 11 anos do ocorrido e dado fato que o sistema de cobertura atual se encontra bastante modificado em relação àquele originalmente executado, a linha de investigação e análise adotada nos trabalhos periciais baseou-se nos seguintes elementos probatórios:

a) **Contratos firmados e documentos de ART – Anotação de Responsabilidade Técnica**, como instrumentos que definem e delimitam a participação dos diversos profissionais envolvidos;

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

b) **Relatos e fotografias contidas nos Autos** (e não impugnados), em especial o Laudo de Vistoria elaborado à época por engenheiro independente, como elementos representativos da situação fática, à época dos fatos;

c) **Treliças**, conhecidas durante a INSPEÇÃO DETALHADA, as quais ainda remanescem sob o atual sistema de cobertura, de maneira a registrar os principais aspectos e características construtivas do principal elemento estrutural do telhado;

d) **Memorial de Cálculo disponibilizado pela CONSTRUTORA**, cuja análise terá por objetivo checar os critérios de projeto adotados, bem como sua adequação e conformidade às normas técnicas e às recomendações da boa técnica construtiva aplicáveis.

A seguir será discorrido sobre cada um dos elementos probatórios analisados.

1.5.1 Dos contratos firmados e dos responsáveis técnicos pelos serviços

A partir da documentação técnica constante dos Autos, complementada por elementos adicionais disponibilizados pelas partes e/ou obtidos junto ao CREA-SC, foi possível identificar a participação e responsabilidade técnica dos diversos profissionais envolvidos.

1.5.2 Do Laudo de Vistoria, elaborado por engenheiro independente

Em suma, extrai-se do referido Laudo que as treliças em análise apresentavam-se deficientes, mostrando deformações excessivas com comportamento progressivo.

A origem do problema estaria supostamente na utilização de madeira 'verde' (com teor de umidade elevado) e no comportamento inadequado das ligações das barras que compõe as treliças.

Segundo relatado e após realizada inspeção na presença dos representantes das partes e do próprio signatário daquele Laudo, restou acordado que a CONSTRUTORA corrigiria os problemas apontados.

Embora tendo sido realizadas correções, estes procedimentos teriam se mostrado insuficientes, permanecendo os problemas inicialmente apontados.

Diante deste fato, o signatário daquele Laudo Técnico entendeu por bem recomendar a completa reforma e adequação do sistema de cobertura, inclusive com adoção de peças de madeira em bitola superior.

A seguir encontram-se reproduzidas algumas das fotografias mais relevantes contidas no referido Laudo, para melhor entendimento e visualização.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**



Fotografia 17 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Vista geral. Fonte: Laudo de Vistoria elaborado por engenheiro independente.



Fotografia 18 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Vista parcial. Notar existência de ligação por braçadeiras metálicas, junto ao banzo inferior. Fonte: Laudo de Vistoria elaborado por engenheiro independente.



Fotografia 19 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Observar ligação composta por chapa metálica e parafusos. Fonte: Laudo de Vistoria elaborado por engenheiro independente.



Fotografia 20 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Observar que o apoio da treliça de cumeeira ocorre fora do 'nó'. Fonte: Laudo de Vistoria elaborado por engenheiro independente.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**



Fotografia 21 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar presença de ligação por chapas metálicas e parafusos, uso de 'calço' de madeira e apoio indevido da treliça superior, fora do 'nó'. Fonte: Laudo de Vistoria elaborado por engenheiro independente.



Fotografia 22 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar manchamento generalizado, indicativo de umidade excessiva. Fonte: Laudo de Vistoria elaborado por engenheiro independente.

1.5.3 Das treliças que ainda remanescem sob o sistema de cobertura atual

Conforme pode ser observado durante a realização da INSPEÇÃO DETALHADA, remanescem no local as treliças que correspondiam ao principal elemento estrutural do sistema de cobertura originalmente, executado pela CONSTRUTORA.

Sendo assim tornou-se possível perceber os seus seguintes e mais relevantes aspectos:

- .i- A madeira utilizada possuía aspecto e características compatíveis com o Cambará, de 2ª. qualidade (dada presença de alguns nós), em bitola de 5 x 10cm;
- .ii- As ligações entre as barras se constituíam predominantemente por pregos, à exceção de algumas poucas delas – que se compunham por chapas metálicas e parafusos -, as quais teriam sido objeto de retrabalho posterior, também realizado pela CONSTRUTORA.

As fotografias apresentadas a seguir ilustram o ocorrido.

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015



Fotografia 23 – VISTA PARCIAL. Notar a presença das treliças.



Fotografia 24 – TRELIXA. No detalhe, verificação da bitola das peças (largura de 5cm).



Fotografia 25 – TRELIXA. No detalhe, verificação da bitola das peças (altura de 10cm).



Fotografia 26 – TRELIXA. Notar tipologia construtiva adotada.

1.5.4 Do Memorial de Cálculo, disponibilizado pela CONSTRUTORA

A CONSTRUTORA disponibilizou Memorial de Cálculo por ela elaborado, relativo ao projeto estrutural do sistema de cobertura da edificação (treliças).

Deste Memorial extraem-se as seguintes e mais relevantes considerações:

a) Na falta de dados específicos da madeira de Cambará, adotou a CONSTRUTORA como referência a espécie *Eucalipto dunnii* (supostamente “inferior” à efetivamente utilizada), com as seguintes características:

- .1 Peso específico de 690kg/m^3 ;
- .2 “Tensão de flexão simples”, correspondente a $139,20\text{ kgf/cm}^2$;
- .3 “Tensão de cisalhamento”, correspondente a $9,8\text{ kgf/cm}^2$;

b) No cômputo das cargas e esforços atuantes sobre as treliças foram considerados:

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

- .1 Vão livre de 8,30m;
- .2 Cargas atuantes exclusivamente nos 'nós';
- .3 Cargas permanentes decorrentes das telhas, do madeiramento e do forro em gesso;
- .4 Cargas acidentais decorrentes da montagem e da ação do vento (havendo sucção e sobrepressão);
 - c) Verificadas dimensões, considerando que as peças estão "OK";
 - d) Após as verificações realizadas, conclui a CONSTRUTORA que "... o conjunto treliça adotado para o vão bem como a madeira utilizada no processo atendem as necessidades estruturais da cobertura".

2 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

2.1 Conclusões

Diante de todo o anteriormente percorrido e ainda que com as dificuldades e limitações enfrentadas – em face da realização da Prova Pericial após transcurso de cerca de 11 anos do ocorrido e após, inclusive, a completa alteração do sistema de cobertura originalmente construído -, os elementos probatórios obtidos e analisados se mostraram robustos e permitiram análise tecnicamente adequada do caso, restando estabelecidas as seguintes conclusões:

a) Os Contratos firmados e ART's – Anotações de Responsabilidade Técnica estabelecem, de maneira inequívoca, a responsabilidade da CONSTRUTORA tanto pelo projeto quanto pela execução da estrutura de madeira do sistema de cobertura;

b) O Laudo de Vistoria elaborado por engenheiro independente apresenta diversas fotografias da época -nenhuma objeto de impugnação - as quais denotam deficiências importantes das treliças, compatíveis com os problemas relatados naquele documento técnico, sendo especialmente relevantes:

.1- Ocorrência de deformações pronunciadas no centro do vão (com ordem de grandeza estimada em 5cm), excedendo ao valor-limite estabelecido por norma técnica (3,6cm, correspondente a 1/200 do vão efetivo (7,15m) – NBR 7190/1997 – item 9.2.1);

.2- Evidências de manchamento escurecido em diversas peças de madeira, indicativo compatível com umidade excessiva (madeira 'verde');

.3- Adoção de ligações frágeis e muito deformáveis, compostas essencialmente por pequeno número de pregos;

.4- Aplicação de cargas importantes fora dos 'nós', impondo esforços imprevistos a algumas das barras que compõe as treliças (flexo-tração ou flexo-compressão).

A seguir apresentam-se fotografias editadas, de modo a registrar as principais anomalias presentes e relatadas.

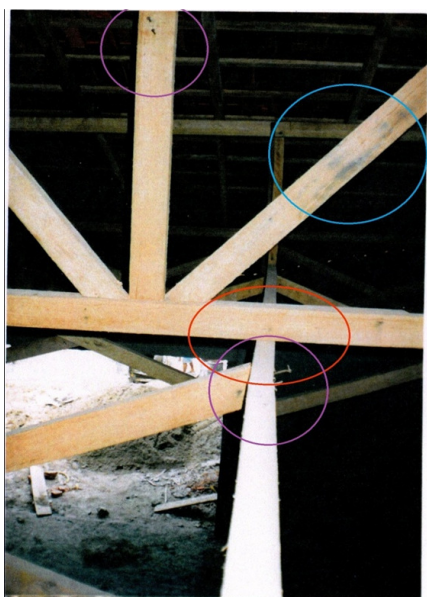
**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**



Fotografia 27 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar deformação expressiva, no centro do vão, com ordem de grandeza de aprox. 5cm (linha/círculo amarelo). Observar ainda a aplicação indevida de cargas, fora dos 'nós' (círculos vermelhos).



Fotografia 28 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar ligação frágil à tração (círculo verde) e aplicação indevida de carga, fora do 'nó' (círculo vermelho).



Fotografia 29 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar ligação frágil por pregos (círculo violeta), apoio indevido fora do 'nó' (círculo vermelho) e manchamento indicativo de umidade excessiva (círculo azul).



Fotografia 30 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar ligação em chapa metálica e parafusos (círculo verde) e apoios indevidos fora dos 'nós' (círculos vermelhos).

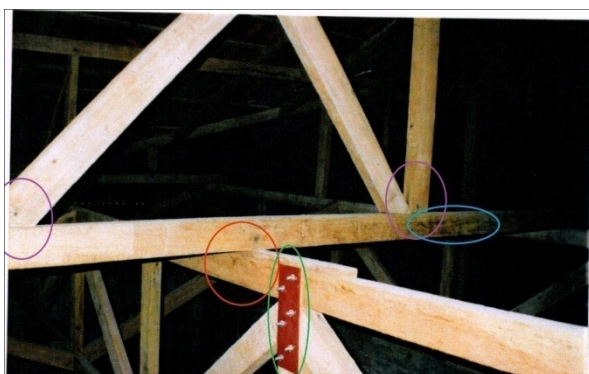
**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**



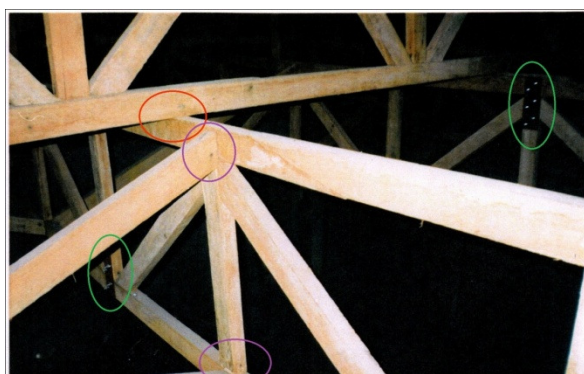
Fotografia 31 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar ligação frágil à tração, por uso de abraçadeiras (círculos verdes) e manchamento indicativo de umidade excessiva (círculo azul).



Fotografia 32 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar ligação em chapa metálica e parafusos (círculo verde), apoios indevidos fora dos 'nós' (círculos vermelhos) e manchamento indicativo de umidade elevada (círculos azuis).



Fotografia 33 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar ligação por chapa metálica e parafusos (círculo verde), ligações fráguas com pregos (círculos violetas), apoio indevido fora do 'nó' (círculo vermelho) e manchamento por umidade excessiva (círculo azul).



Fotografia 34 – TRELIÇAS ORIGINAIS. Notar apoio indevido, fora do 'nó' (círculo vermelho), ligações fráguas com uso de pregos (círculos violetas) e ligação por chapa metálica e parafusos (círculos verdes).

c) As treliças que remanescem sob o sistema atual de cobertura permanecem com deficiências graves - excessivamente deformáveis e fráguas -, posto que suas ligações são, em sua grande maioria, compostas apenas por alguns poucos pregos.

Mesmo aquelas ligações que foram reforçadas posteriormente pela CONSTRUTORA apresentam-se ainda inadequadas: as chapas metálicas não abrangem todas as barras que participam do 'nó' e algumas delas apresentam número insuficiente de parafusos.

As fotografias a seguir ilustram o relatado.

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**



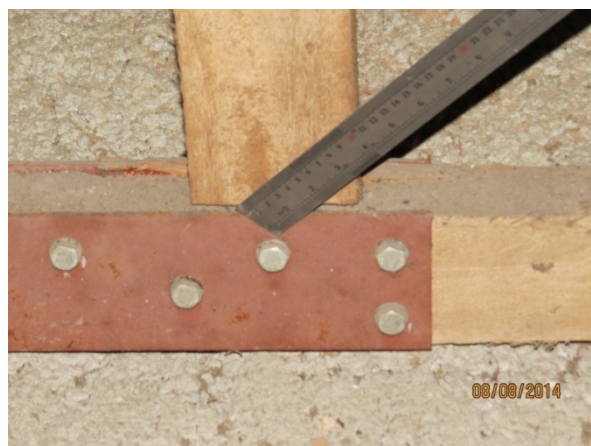
Fotografia 35 – TRELIÇAS REMANESCENTES. No detalhe, ligação por uso de chapa metálica e parafuso único. Notar ausência de diversos outros parafusos e o fato da chapa não abranger todas as barras do ‘nó’.



Fotografia 36 – TRELIÇAS REMANESCENTES. Notar ligação típica, por uso de pregos em pequeno número.



Fotografia 37 – TRELIÇAS REMANESCENTES. No detalhe ligação típica, executada somente por uso de alguns poucos pregos.



Fotografia 38 – TRELIÇAS REMANESCENTES. Notar ligação por chapa metálica e parafusos, a qual não abrange todas as barras que compõe o ‘nó’.

d) O Memorial de Cálculo apresentado pela CONSTRUTORA registra sérios equívocos técnicos, tanto no que diz respeito a preceitos normativos importantes quanto no tocante a aspectos conceituais estruturais básicos e fundamentais.

Não sendo objetivo deste trabalho pericial a realização de re-cálculo estrutural e correspondente detalhamento completo do sistema de cobertura em madeira, far-se-á apenas os pertinentes e necessários comentários a respeito do Memorial de Cálculo da CONSTRUTORA, quais sejam:

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

.1- Adota diretamente em seus cálculos os parâmetros de resistência relativos ao Eucalipto *dunni*, os quais se mostram, na verdade, bastante superiores àqueles correspondentes à madeira de Cambará utilizada (139,20Mpa do Eucalipto contra 80,2Mpa do Cambará, para resistência à tração paralela às fibras - Fonte: IPT).

.2-Contraria e ignora importantes preceitos normativos aplicáveis (NBR7190/1997), principalmente aqueles relativos à necessária minoração das resistências da madeira, por uso dos coeficientes k_{mod} e γ_W .

No caso particular da cidade de Joinville-SC e a partir da publicação *Joinville em números 2012 – Fundação IPPUJ*, tem-se que a umidade relativa média anual corresponde a 78,35%, um valor expressivo que impõe, portanto, substancial redução na resistência das madeiras, quando comparadas com aquelas tabeladas e provenientes de ensaios (cuja umidade de referência corresponde a 12%).

.3- Considera, no cômputo de cargas acidentais, os efeitos do vento (sucção e sobrepressão).

Ocorre que, de acordo com a Norma técnica ABNT:NBR 6123/ 1988 – Forças devidas ao vento em edificações, não ocorrerão efeitos de sobrepressão mas apenas de sucção, dado fato do telhado possuir inclinação inferior a 30º.

Para maiores detalhes, vide Tabela 5, do referido texto normativo.

Para MOLITERNO (1986), em termos práticos e dado fato das telhas cerâmicas não se encontrarem amarradas à estrutura, o efeito de sucção provocaria destelhamento sem transmitir esforços à estrutura, podendo, portanto, ser desconsiderado no cômputo de cargas atuantes;

.4- Não demonstra o indispensável cálculo de esforços para cada uma das barras que compõe a treliça, procedimento imprescindível na determinação dos valores e da natureza dos esforços atuantes (se tração ou compressão).

Tendo em vista que na confecção das treliças, por simplificação construtiva, costuma-se padronizar a bitola de madeira utilizada, as barras mais carregadas (à tração e à compressão, respectivamente) costumam comandar o dimensionamento e assim, determinar a seção necessária, dependendo da espécie de madeira escolhida.

Outrossim, o conhecimento dos esforços em cada barra possibilitará o adequado dimensionamento das ligações entre estas barras;

.5- Não faz verificações nem traz indicações, recomendações ou detalhes construtivos relativos às ligações entre as barras, o que permite concluir que não houve dimensionamento destas ligações, embora sua importância capital para o correto e adequado comportamento estrutural das treliças.

Em suma, pode-se dizer que as treliças projetadas e executadas pela CONSTRUTORA mostraram-se inadequadas, tendo em vista a identificação de:

.i- **Equívocos capitais de projeto:** metodologia de cálculo incorreta, adoção de resistências inadequadas, desrespeito a prescrições normativas relevantes e ausência de detalhamento das ligações; e

.ii- **Erros construtivos graves:** uso de madeira com umidade excessiva e confecção de ligações frágeis e deformáveis, além da aplicação de cargas importantes fora dos 'nós'.

XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015

Embora, *a priori* e na bitola escolhida, a madeira de Cambará pudesse suportar as cargas atuantes, tem-se que a **combinação de umidade excessiva** (madeira ‘verde’ – o que promove redução significativa da resistência e, após secagem, promove grandes retrações nas peças da treliça) e a **confecção de ligações frágeis e deformáveis** (porque compostas por alguns poucos pregos) **comprometeu a estabilidade estrutural do sistema de cobertura.**

Considerando que houve tentativa de reparação pela CONSTRUTORA mas que este procedimento não se mostrou suficiente para sanar as deficiências registradas, entende-se como realmente necessária a completa desmontagem e readequação do sistema de cobertura, como indicado e realizado à época.

2.2 Recomendações

Cumprindo dever profissional e ainda que se mostrasse assunto alheio aos objetivos do trabalho, teve-se como necessário o alerta quanto à situação precária em que se mostra o sistema de cobertura atualmente existente.

Mesmo havendo laje em concreto sob todo o sistema de cobertura - o que fornece certo efeito protetor-, a precariedade dos componentes do telhado (caibros, terças e pontaltes) impõe situação de risco iminente aos usuários, com possibilidade real de ruína de todo o sistema.

Sendo assim, recomenda-se uma completa e urgente revisão geral do madeiramento do sistema de cobertura, procedimento a ser realizado sob a orientação e responsabilidade técnica de profissional habilitado (Eng. Civil ou Arquiteto).

3 BIBLIOGRAFIA

- Norma técnica ABNT – NBR 6123:1988 – **Forças devidas ao vento em Edificações**;
- Norma técnica ABNT – NBR 7190:1997 – **Projetos de Estruturas de Madeira**;
- Norma técnica ABNT – NBR 13.752:1996 – **Perícias de engenharia na construção civil**;
- BERTOLINI, Luca – **Materiais de Construção: patologia, reabilitação, prevenção; tradução Leda Maria Marques Dias Beck**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010;
- CALIL JR., Carlito; LAHR, Francisco A. Rocco e BRAZOLIN, Sérgio. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Cap. 34 – Madeiras na Construção Civil - Ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007. 2v;
- MOLITERNO, Antônio - **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. São Paulo: Edgar Blücher, 1981. 3ª. Reimpressão (1986);
- Fundação IPPUJ. **Publicação Joinville em números 2012**. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/arquivo/download/codigo/1143Joinville%2Bem%2BN%C3%BAmeros.html>>. Acesso em 20 de agosto de 2014;

**XVIII COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS – IBAPE/SC – 2015**

- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. **Informações sobre madeiras.**
Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/9.htm>. Acesso em 20 de agosto de 2014;
- Laudo de Vistoria. Elaborado por engenheiro independente e constante nos autos;
- Memorial de Cálculo de comportamento de treliça. Elaborado e disponibilizado pela CONSTRUTORA.