

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

Rafael Schneider Flach

**ESTRUTURAS PARA TELHADOS:
ANÁLISE TÉCNICA DE SOLUÇÕES**

Porto Alegre
junho 2012

RAFAEL SCHNEIDER FLACH

**ESTRUTURAS PARA TELHADOS:
ANÁLISE TÉCNICA DE SOLUÇÕES**

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

Orientador: Ruy Alberto Cremonini

Porto Alegre
junho 2012

RAFAEL SCHNEIDER FLACH

**ESTRUTURAS PARA TELHADOS:
ANÁLISE TÉCNICA DE SOLUÇÕES**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2012

Prof. Ruy Alberto Cremonini
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Me. pela Universidade Federal de Santa Maria

Profa. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho a todas as pessoas que
buscam uma humanidade mais feliz.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha noiva, Joana Natália Dias, pela paciência e companheirismo.

Agradeço a minha mãe, Dalice Maria Schneider Flach, ao meu pai, Verno Flach, e a meu irmão, Eduardo Schneider Flach, pelo apoio.

Agradeço ao Prof. Ruy Alberto Cremonini, orientador deste trabalho pela ajuda em fazer este trabalho se tornar realidade.

Agradeço a todos que de alguma forma ajudaram nesta trajetória.

Não existe um caminho para felicidade.
A felicidade é o caminho.

Mohandas Karamchand Gandhi

RESUMO

As estruturas de telhado com madeira serrada são executadas no Brasil desde o período colonial e ainda são intensamente utilizadas nos mais variados tipos de projetos. Esta técnica tipicamente artesanal pode e deve ser modernizada visando atender os anseios de uma construção civil industrializada. A pré-fabricação de componentes, o uso de madeiras com maior grau de beneficiamento, como madeiras laminadas coladas e painéis, além do uso de outros materiais como concreto armado e aço devem ser estudados e analisados tecnicamente. Este trabalho identifica, descreve e analisa diversas soluções para estruturas de telhados em diferentes tipos de edificações – residenciais, comerciais e industriais –, utilizando além da madeira, o concreto armado e o aço. Abordam-se alguns tipos de estruturas com uso no País para cada material. Ao fim, a análise de cada método construtivo leva a um quadro resumo onde são demonstradas as soluções para estrutura de telhado, seus usos recomendados e suas vantagens e desvantagens.

Palavras-chave: Cobertura. Telhado. Estrutura de Telhado. Estrutura de Madeira. Estrutura de Aço. Estrutura de Concreto Armado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa	16
Figura 2 – Designações dos elementos da cobertura de telhado	20
Figura 3 – Formas de telhados em vista e em planta	21
Figura 4 – Madeiramento tradicional para telhas cerâmicas.....	26
Figura 5 – Madeiramento para telhas de fibrocimento e metálicas.....	27
Figura 6 – Intersecção entre eixos das barras concorrentes de uma tesoura	28
Figura 7 – Terminologia da tesoura	28
Figura 8 – Contraventamento vertical e horizontal em um telhado de duas águas	30
Figura 9 – Amarração do componente de ancoragem.....	31
Figura 10 – Fixação do componente de ancoragem	31
Figura 11 – Fixação da terça com chapuz.....	33
Figura 12 – Fixação da terça com cantoneira metálica	33
Figura 13 – Emenda da terça no sentido do momento fletor	34
Figura 14 – Emendas de caibros	35
Figura 15 – Terças apoiadas sobre pontaletes com contraventamento utilizando mãos francesas	37
Figura 16 – Terça de cumeeira apoiada sobre pontaletes e contraventamento dos pontaletes com diagonais	37
Figura 17 – Terças apoiadas sobre pontaletes fixos na laje e contraventamento com cabo de aço	38
Figura 18 – Igreja com estrutura do telhado de madeira laminada colada.....	40
Figura 19 – Painéis sobre estrutura descontínua para instalação de telhas <i>shingles</i>	42
Figura 20 – Estrutura de telhado de grande vão com tesouras pré-fabricadas.....	43
Figura 21 – Ligação entre peças com chapas de dentes estampados.....	44
Figura 22 – Montagem de estrutura por operários.....	44
Figura 23 – Telhado com folhas poliédricas.....	48
Figura 24 – Seções comerciais de folhas poliédricas.....	49
Figura 25 – Casa com estrutura do telhado utilizando sistema EcoLaje.....	50
Figura 26 – Estrutura do telhado utilizando sistema EcoLaje com saliências.....	51
Figura 27 – Viga de cobertura com banzo superior inclinado, substituindo a tesoura.....	53
Figura 28 – Estrutura de telhado totalmente de concreto pré-moldado.....	54
Figura 29 – Estrutura de telhado com sistema EcoTelhado.....	55
Figura 30 - Estrutura de telhado com sistema EcoTelhado.....	55
Figura 31 – Estrutura no sistema EcoTelhado içado por guindaste.....	56

Figura 32 – Estrutura de telhado com pontaletes e terças de concreto moldado no local	57
Figura 33 – Estrutura de telhado em laje contínua com ripas de argamassa sem cortes para ventilação.....	58
Figura 34 – Estrutura de telhado em laje inclinada com caibros e ripas de madeira.....	59
Figura 35 – Seções de perfis comumente utilizados em tesouras.....	63
Figura 36 – Viga treliçada em telhado de baixa inclinação.....	63
Figura 37 – Seções de perfis utilizados como terças.....	64
Figura 38 – Perfis U, Ue e omega.....	66
Figura 39 – Telhado de steel frame com caibros.....	67
Figura 40 – Telhado de steel frame com tesouras.....	69
Figura 41 – Ligações de perfis com chapas <i>Gusset</i>	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil no Estado de São Paulo em 2001.....	23
Tabela 2 – Dimensões das peças de madeira serrada.....	24

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões comerciais mais utilizadas.....	25
Quadro 2 – Aplicações, vantagens e desvantagens de estruturas para telhados.....	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	15
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	15
2.2.1 Objetivo principal	15
2.2.2 Objetivo secundário	15
2.3 PREMISSA	15
2.4 DELIMITAÇÕES	16
2.5 LIMITAÇÕES	16
2.6 DELINEAMENTO	16
3 COBERTURAS	18
3.1 FUNÇÕES DA COBERTURA	18
3.2 DEFINIÇÕES	18
3.3 CLASSIFICAÇÕES DAS ESTRUTURAS	21
4 ESTRUTURA DE MADEIRA	22
4.1 MADEIRA	22
4.2 ESTRUTURA DESCONTINUA DE MADEIRA SERRADA.....	25
4.2.1 Estrutura principal – Tesoura	27
4.2.1.1 Definições	27
4.2.1.2 Contraventamento	29
4.2.1.3 Apoios	30
4.2.1.4 Ligações	31
4.2.2 Estrutura Secundária – terças, caibros e ripas	32
4.2.2.1 Terças	32
4.2.2.2 Caibros	34
4.2.2.3 Ripas	35
4.2.2.4 Estrutura sem tesouras	36
4.3 ESTRUTURA PONTALETADA.....	36
4.4 ESTRUTURA DE MADEIRA LAMINADA COLADA.....	38
4.5 ESTRUTURA CONTÍNUA COM PAINÉIS.....	40
4.6 ESTRUTURA DE MADEIRA SERRADA PRÉ-FABRICADA.....	42
5 ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....	45
5.1 CONCRETO ARMADO.....	45

5.2 ESTRUTURA DE TELHADO.....	47
5.2.1 Estrutura de telhado – concreto armado pré-moldado.....	47
5.2.1.1 Estrutura contínua de concreto pré-moldado.....	48
5.2.1.2 Estrutura descontínua de concreto pré-moldado.....	52
5.2.2 Estrutura de telhado – concreto armado moldado no local.....	57
6 ESTRUTURA DE AÇO.....	60
6.1 AÇO.....	60
6.2 ESTRUTURA DESCONTÍNUA DE AÇO.....	62
6.2.1 Tesoura.....	62
6.2.2 Viga treliçada.....	63
6.2.3 Viga de alma cheia.....	64
6.2.4 Terças.....	64
6.2.5 Treliças espaciais.....	64
6.2.6 Montagem.....	65
6.3 ESTRUTURA DE <i>STEEL FRAME</i>	65
6.3.1 Estrutura com caibros.....	67
6.3.2 Estrutura com tesoura.....	68
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil brasileira tem historicamente um caráter artesanal. Na última década, porém, tem-se presenciado uma onda de crescimento e possibilidades de inovação no setor, devido à disponibilidade de crédito no mercado. A partir desta situação, abre-se espaço para inovações, visando aumento de produtividade e qualidade aliadas à diminuição dos custos.

Tradicionalmente os telhados de edificações no Brasil seguem as características dos telhados coloniais portugueses, com telhas cerâmicas apoiadas em estruturas descontínuas de madeira serrada. Porém, em muitos casos outros materiais e outros sistemas construtivos possuem características apropriadas e até melhores que a madeira para fazer a função de estrutura de apoio das telhas. Novas telhas, além da tradicional telha cerâmica portuguesa, também levaram a construção civil a desenvolver novas técnicas para a estrutura do telhado.

Neste trabalho procura-se analisar diversas soluções para estruturas de telhado. Estruturas mais leves, mais racionalizadas e adaptadas a um mercado com pouca mão de obra qualificada disponível e com prazos cada vez menores. Serão expostas as características construtivas de todas as soluções apresentadas, bem como uma análise das aplicações indicadas tendo em vista as características de cada material e sistema. O trabalho tem como premissa servir como orientação ao leitor sobre onde e como utilizar determinado sistema para estrutura de um telhado. A análise proposta foi realizada observando diversos tipos de edificações, como residências unifamiliares, residências multifamiliares e pavilhões industriais, utilizando materiais e sistemas já em uso no País e com fácil compatibilização com nossos métodos construtivos tradicionais.

Ao longo do trabalho descreve-se variadas soluções para estrutura de telhados e suas respectivas características, mas sabendo que “As atuais soluções estruturais para coberturas inclinadas [...] dependem dos materiais usados e do tipo de estrutura do edifício, mas refletem sempre, em termos de concepção, a herança das estruturas de madeira com grelhas sucessivas sobrepostas.” (CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO, 1998, p. 75).

Além da introdução apresentada nesse capítulo 1, compõe o trabalho o capítulo número 2, que disserta sobre as diretrizes da pesquisa, demonstrando seus objetivos, delimitações e limitações e explicitando de que forma se chegou ao resultado final aqui apresentado. No terceiro capítulo, são apresentadas as definições e características de uma cobertura genérica que serve de base para todo restante do trabalho. No quarto, quinto e sexto capítulos são descritas e analisadas as soluções utilizando a madeira, o concreto armado e o aço, respectivamente. O sétimo e último capítulo faz as considerações finais do trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: para as soluções técnicas descritas para estruturas de telhados, quais suas principais aplicações, vantagens e desvantagens?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a apresentação das principais aplicações para as estruturas de telhado apresentadas, indicando suas vantagens e desvantagens.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário é a identificação e descrição técnica de soluções técnicas para estruturas de telhados.

2.3 PREMISSA

Apesar do uso tradicional da estrutura descontínua de madeira para telhados, devem ser estudadas outras soluções para essas estruturas de telhados, que possam ser mais adequadas e mais eficientes para determinados projetos.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a soluções de estruturas de telhados edificações residenciais, comerciais e industriais.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

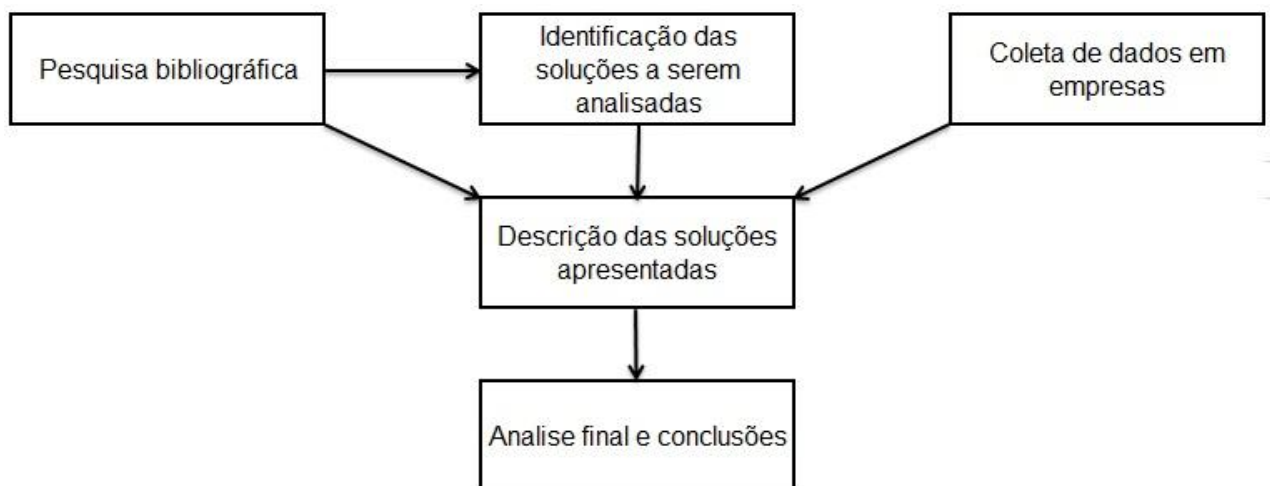
- a) estudo de soluções utilizando como material portante somente a madeira, concreto armado e aço;
- b) estudo de estruturas de telhados para telhas cerâmicas, de fibrocimento, metálicas e *shingles*.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) identificação das soluções a serem analisadas;
- c) coleta de dados em empresas;
- d) descrição das soluções apresentadas;
- e) análise final e conclusões.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Na **pesquisa bibliográfica** buscaram-se por referências sobre o assunto do trabalho em livros, dissertações, boletins técnicos, anais de congressos, além de artigos em revistas e documentos publicados por institutos tecnológicos ou órgãos governamentais ligados a construção civil. Publicações brasileiras e portuguesas foram utilizadas.

A partir do conhecimento adquirido na etapa anterior, foram **identificadas as soluções** mais citadas na bibliografia e mais comuns em edificações usuais ou com alguma característica tecnológica interessante para serem utilizadas no desenvolvimento da pesquisa. Foram escolhidas as seguintes soluções:

- a) estruturas de madeira serrada e de madeira industrializada;
- b) estruturas de concreto armado pré-moldado e de concreto moldado no local;
- c) estruturas de perfis e chapas dobradas de aço;

Para acrescentar ao conhecimento adquirido na primeira etapa, fez-se um levantamento junto a **empresas** que utilizam ou fornecem algum dos sistemas, mais dados referentes à execução e aplicação das soluções escolhidas na segunda etapa. Foram realizadas entrevistas focalizadas e entrevistas parcialmente estruturadas, além de questionários enviados e respondidos por email.

Na **descrição das soluções apresentadas**, foram compilados os principais conceitos e mostrado com clareza as características de todas as soluções, com seus materiais e métodos construtivos característicos, com base na bibliografia e nas informações obtidas junto às empresas.

Após a descrição dos sistemas é apresentada uma avaliação final dos métodos, identificando vantagens e desvantagens de cada um e demonstrando as aplicações mais adequadas para cada tipo de estrutura abordada.

3 COBERTURAS

Neste capítulo serão apresentadas as funções de uma cobertura, bem como a nomenclatura e as definições utilizadas neste trabalho.

3.1 FUNÇÕES DA COBERTURA

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 1) define a cobertura como “[...] parte superior da edificação que a protege das intempéries [...]”. Guerra et al. (2010, p. 15) acrescenta à cobertura a função de isolante térmico e acústico da edificação, visando o conforto do usuário, além das citar as funções estéticas e econômicas. Cardão (1981, p. 66-67) afirma que a cobertura “[...] deverá apresentar propriedades isolantes, principalmente de isolamento térmico, para que possa ser atingido o máximo de comodidade e conforto no interior dos edifícios.”. O autor também cita a função estética em prédios de menor altura, sendo a cobertura incorporada à arquitetura, ocupando um lugar de destaque.

A NBR 15575-5 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008b, p. 7) amplia as funções de um sistema de cobertura citando a preservação da saúde dos usuários da edificação, por meio da proteção contra a infiltração de umidade, além da proteção dos demais sistemas da edificação. A mesma Norma acrescenta a predominante influência da cobertura no conforto térmico e acústico do interior da edificação.

3.2 DEFINIÇÕES

Reis e Souza (2007, p. 4) identificaram uma falta de coerência nas definições utilizadas na literatura sobre coberturas. De acordo com Meneguetti¹ (2001 apud REIS; SOUZA, 2007, p. 4), muitas vezes os termos cobertura e telhado são utilizados de forma redundante, como se fossem sinônimos, tanto na linguagem leiga como na literatura técnica. Moliterno (2010, p. 1), Borges (2009, p. 151) e Azeredo (1997, p. 153) utilizam inclusive o termo cobertura para

¹O autor indica como fonte de informações a tese de doutorado em Engenharia Civil de Meneguetti, intitulada Diretrizes para Racionalização Construtivas em Coberturas com Telhado por Encaixe: proposta e aplicação, defendida em 2001 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, mas não apresenta demais informações desta obra.

definir o plano de vedação constituído por telhas, chamando todo o sistema de fechamento superior da edificação de telhado. Moliterno (2010, p. 1), porém, explica que “[...] nem todo sistema de proteção superior de um edifício, obrigatoriamente, constitui-se num telhado como, por exemplo, lajes com espelho d’água, terraços e jardins suspensos.”. Podem-se identificar ainda coberturas que diferem de telhados e lajes planas, como cúpulas e coberturas tensionadas com membranas.

No âmbito deste trabalho utilizam-se as seguintes definições, indicada em parte ou no todo por Cardoso et al. (2000), Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998), El Debs (2000), Guerra et al. (2010), NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008a), NBR 8039 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1983), NBR 13858-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997a), Reis e Souza (2007) e Rocha (2011):

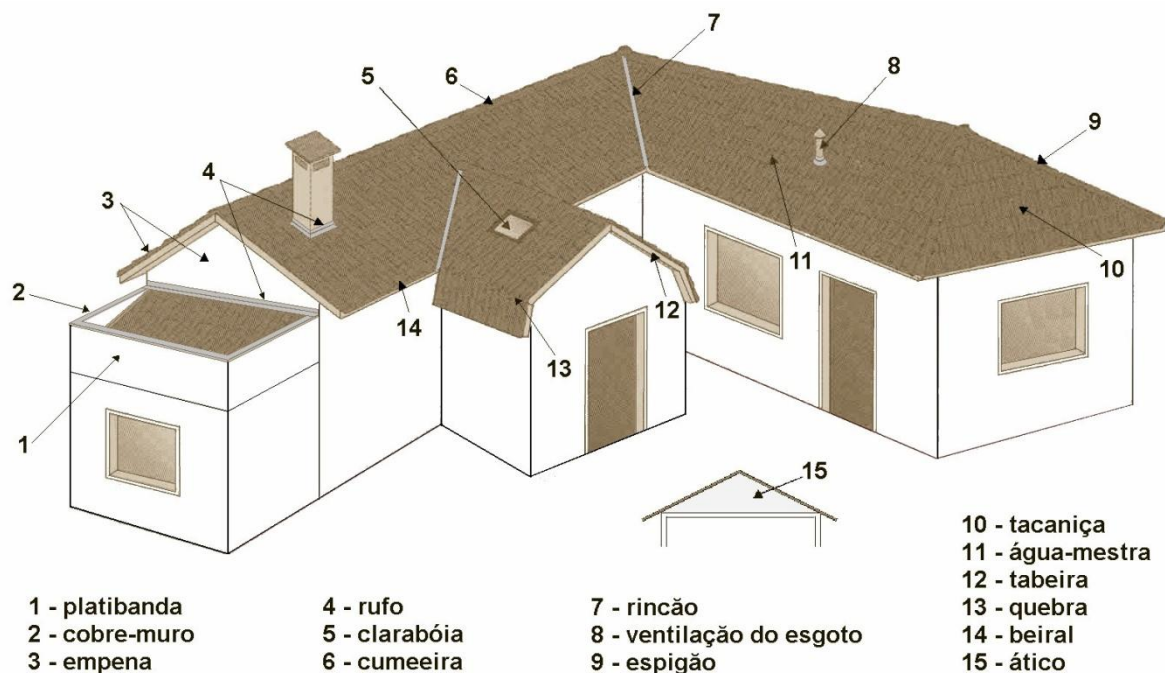
- a) cobertura: sistema de fechamento superior da edificação;
- b) telhado: elemento constituído por um conjunto de telhas de materiais diversos (cerâmica, fibrocimento, concreto, aço, metálica, cobre, vidro, etc.), estrutura de suporte e peças complementares;
- c) laje de cobertura: laje impermeabilizada com declividade menor ou igual a 5% responsável pelo fechamento superior da edificação;
- d) terraço: cobertura de ambientes habitáveis que disponibiliza sua área, em parte ou em todo, por meio de acesso, para desenvolvimento de atividades;
- e) cascas: elementos contínuos e curvos, podendo ser composta de domos e cúpulas;
- f) cobertura com membrana: coberturas leves que utilizam membranas plásticas tensionadas com ou sem estrutura de suporte.

Sendo o escopo deste trabalho as estruturas de telhados, não serão abordadas estruturas para os demais tipos de coberturas. Utilizam-se as seguintes definições para as partes constituintes de uma estrutura de telhado, indicadas em parte ou em todo por Cardoso et al. (2000), Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998), Guerra et al. (2010), NBR 15575-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008a) e Reis e Souza. (2007):

- a) estrutura principal ou de apoio: constituída geralmente por tesouras, oitões, pontaletes, vigas ou lajes, tendo a função de receber e distribuir adequadamente as cargas do telhado ao restante do edifício;
- b) estrutura secundária ou trama: constituída geralmente por terças, caibros e ripas, tendo como função a sustentação das telhas;

c) estrutura do telhado: conjunto formado pelas estruturas principal e secundária. A terminologia adotada quanto aos elementos da cobertura de telhado estão na figura 2, devendo-se destacar que também é utilizada a denominação oitão para empena (BORGES, 2009, p. 168).

Figura 2 – Designações dos elementos da cobertura de telhado



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008a, p. 6)

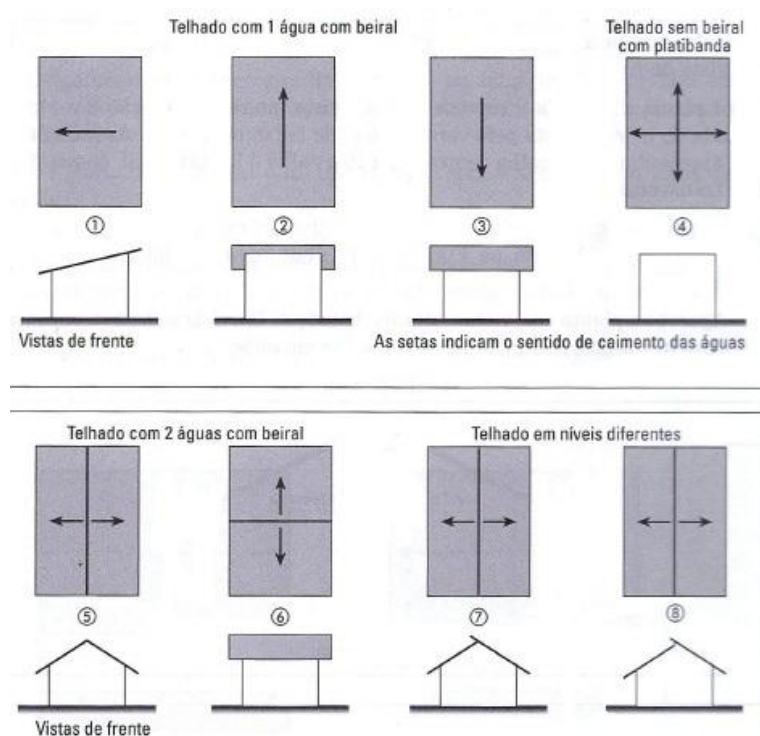
Quanto à forma os telhados podem ser classificados como (GUERRA et al., 2010, p. 96):

- a) simples ou de uma água: estas coberturas possuem um só pendente, ou vertente (água), que cobre uma pequena área edificada, ou estendendo-se para proteger entradas (alpendre), formando um plano inclinado, que encaminha a água para uma das fachadas. Neste tipo de cobertura existem empenas;
- b) cobertura de duas águas: esta cobertura inclinada é composta por duas superfícies planas, com declividades iguais ou distintas, unidas por uma linha central denominada cumeeira ou distanciadas por uma elevação (tipo americano);
- c) cobertura de quatro águas: cobertura inclinada de quatro águas é caracterizada por coberturas de edificações quadriláteras, de formas regulares ou irregulares, cujas vertentes se intersectam definindo uma cumeeira e quatro rincões;
- d) múltiplas águas: nestas coberturas as plantas são determinadas por superfícies poligonais quaisquer, onde a determinação do número de águas é definida pelo processo do triângulo auxiliar;
- e) pavilhão: a cobertura do tipo pavilhão é uma forma particular da cobertura de quatro águas, em que as vertentes se intersectam definindo apenas quatro rincões que concorrem num ponto. Designa-se geralmente por pavilhão a cobertura de

quatro águas constituída por quatro vertentes iguais, correspondente a uma planta quadrada.

Na figura 3, podem-se observar as principais configurações dos telhados de uma e duas águas, que geralmente são soluções mais adotadas, pois necessitam de estruturas de apoio mais simples, do ponto de vista construtivo e de projeto.

Figura 3 – Formas de telhados em vista e em planta



(fonte: BORGES, 2009, p. 169)

3.3 CLASSIFICAÇÕES DAS ESTRUTURAS

Nos próximos capítulos serão abordados os tipos de estrutura de acordo com seu material. Além desta divisão por material, distingue-se a estrutura do telhado em contínua e descontínua, conforme Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998):

- descontínua: sistema de grelhas sucessivas, em que o espaçamento e a resistência das peças lineares diminuem à medida que aumenta o nível;
- contínua: elemento único, resistente, com a inclinação da cobertura, geralmente constituído por uma laje.

4. ESTRUTURA DE MADEIRA

Este capítulo apresentará as características da madeira utilizada em estruturas de telhado, bem como descreverá e analisará as soluções técnicas utilizando este material.

4.1 MADEIRA

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, devido a sua disponibilidade na natureza em quase todo o planeta. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2004a, p. 1):

O setor florestal tem na construção civil o principal mercado para seus produtos, no entanto esta participação está concentrada nos produtos de acabamento, esquadrias, molduras, pisos e estruturas de telhados. No caso de habitações a participação é irrisória quando comparada com países europeus e norte-americanos. Esta limitação é em decorrência da cultura brasileira e do conceito que casas de madeira não são de boa qualidade. Como consequência, observa-se que a madeira não é utilizada pela construção civil como um elemento da engenharia, mas sim como um produto de acabamento.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2003, p. 12) reforça o uso concentrado nas atividades de acabamento, além de formas para estruturas de concreto e estruturas de telhados. Porém, o mesmo o autor demonstra na tabela 1, que 50% da madeira serrada amazônica utilizada pela construção civil no Estado de São Paulo em 2001 são utilizadas em estruturas de telhados.

Historicamente a madeira utilizada na construção civil brasileira tem origem nas florestas tropicais, sendo as espécies nativas pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) e peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*) as espécies mais exploradas. Com o corte descontrolado das florestas e o gradual desaparecimento das mesmas, o corte e uso de espécies nativas vem diminuindo e gradativamente sendo substituído por espécies de reflorestamento, como o pinus (*Pinus spp.*) e eucalipto (*Eucalyptus spp.*) (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003, p. 12). Moliterno (2010, p. 11) cita o uso de espécies botânicas nobres, como a peroba, como as mais recomendadas para uso em estruturas de telhado.

Tabela 1 – Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil no Estado de São Paulo em 2001

Uso na construção civil	Consumo	
	1000 m ³	%
Estruturas de cobertura	891,7	50
Andaimes e fôrmas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
Total	1783,3	100

(fonte: SOBRAL² et al., 2002 apud INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003, p. 12)

Também se pode caracterizar a madeira de acordo com seu beneficiamento. O mais comum é o corte das toras cilíndricas em peças quadrangulares ou retangulares, gerando a madeira serrada. A qualidade da peça é diretamente ligada aos equipamentos utilizados e à direção do corte da tora em relação a suas fibras (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003, p. 14). Conforme Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (2004a, p. 1) a obtenção de madeira serrada representa uma transformação primária da madeira bruta. E ainda citam que:

Nos dias atuais a maior parcela da madeira serrada produzida no país é baseada em espécies de folhosas tropicais (Região Amazônica). No entanto as espécies oriundas de reflorestamentos, (*Pinus* e *Eucalyptus*), detêm parcela expressiva dos volumes de produção no Brasil e têm crescido continuamente.

Além da madeira serrada, outros tipos de beneficiamento dão novas características ao material. Como produto deste beneficiamento, podem-se citar como principais – levando em conta o uso em estruturas de telhado – os painéis e a madeira laminada colada que serão descritos posteriormente.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 5), as madeiras utilizadas na estrutura do telhado devem ser naturalmente resistentes ao apodrecimento e ao ataque de insetos, ou serem previamente tratadas para adquirirem esta resistência. Quando as superfícies das peças de madeira são expostas ao ambiente exterior, estas devem ser tratadas com pintura impermeabilizante, como tintas a óleo ou esmaltes. Conforme o mesmo Instituto não se deve empregar na estrutura peças que:

² SOBRAL, L. et. al. **Acertando o alvo 2**: consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo. Belém: Imazon, 2002.

- a) sofreram esmagamentos ou outros danos que possam comprometer a segurança da estrutura;
- b) apresentam alto teor de umidade, isto é, madeiras verdes;
- c) apresentam defeitos como nós soltos, nós que abrangem grande parte da seção transversal da peça, fendas exageradas, arqueamento acentuado, etc.;
- d) não se adaptam perfeitamente nas ligações;
- e) apresentam sinais de deterioração, por ataque de fungos ou insetos.

Em estruturas de madeira serrada, Borges (2009, p. 147) recomenda utilizar seções comerciais, para não encarecer a estrutura do telhado. A NBR 14807 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, 2002, p. 2) define as dimensões e identificação das peças de madeira serrada (tabela 2). Na prática observa-se que há uma grande variação na nomenclatura utilizada, tanto no comércio de madeiras como entre autores. Gonzaga (2006, p. 42) demonstra no quadro 1 um exemplo de nomenclaturas utilizadas comercialmente.

Tabela 2 – Dimensões das peças de madeira serrada

Nome da peça	Dimensões em milímetros	
	Espessura	Largura
Pranchão	De 71 a 161	161 e acima
Prancha	De 39 a 70	161 e acima
Pranchinha	38	100 e acima
Viga	De 40 a 80	De 81 a 160
Caibro	De 40 a 80	De 50 a 80
Tábua	De 10 a 37	100 e acima
Sarrafo	De 21 a 39	De 20 a 99
Ripa	De 10 a 20	De 20 a 50
Ripão	De 15 a 20	De 51 a 70
Pontalete	De 70 a 80	De 70 a 80
Quadrado	25	25
Quadrado	Lado: 100 e acima	
NOTAS		
1 Para os efeitos de utilização desta tabela, as casas decimais, porventura obtidas nas medidas, devem ser desprezadas.		
2 Um pontalete é sempre de seção quadrada.		

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, 2002, p. 2)

Quadro 1 – Dimensões comerciais mais utilizadas

Pranchão	15,0 x 23,0 – 10,0 x 20,0 – 7,5 x 23,0
Prancha	5,0 x 20,0 – 5,0 x 30,0 – 4,0 x 20,0* 4,0 x 30,0
Viga	15,0 x 15,0 – 7,5 x 15,0 – 7,5 x 11,5 6,0 x 16,0* – 5,0 x 20,0
Barrote	8,0 x 16,00**
Vigota	5,0 x 15,0 – 6,0 x 12,0*
Caibro	6,0 x 8,0 – 5,0 x 7,5 – 5,0 x 7,0 5,0 x 6,0* – 5,0 x 10,00**
Sarrafo	3,8 x 7,5 – 2,2 x 7,5 – 2,5 x 5,0* – 2,5 x 4,0**
Tábua	2,5 x 30,0* – 2,5 x 15,0* – 2,5 x 20,0* 2,5 x 25,0* – 2,5 x 10,0 – 1,0 x 15,0
Ripa	1,2 x 5,0* – 2,0 x 5,0 – 1,5 x 5,0 – 2,0 x 4,0**
Cordão	1,5 x 1,5
Pontalete	7,5 x 7,5 – 10 x 10 – 5 x 5

* Mais utilizadas comercialmente em São Paulo.

** Medidas adotadas na Região Sul.

(fonte: GONZAGA, 2006, p. 42)

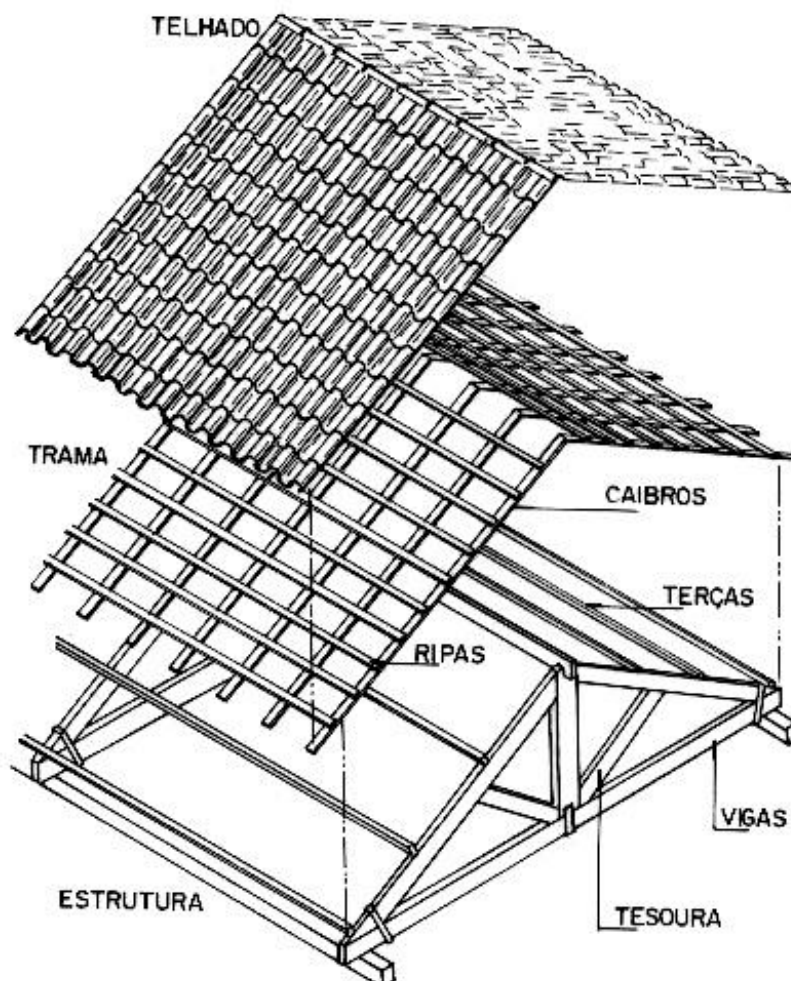
4.2 ESTRUTURA DESCONTÍNUA DE MADEIRA SERRADA

A estrutura de telhado tradicional utilizada no Brasil tem sua origem nos telhado de telhas cerâmicas portuguesas. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 1), esta estrutura descontínua de madeira serrada é formada pela estrutura principal – tesouras – e pela estrutura secundária constituída por ripas, caibros e terças (figura 4). No caso de uso de telhas de maior dimensão, como as de fibrocimento os caibros e ripas são dispensados (figura 5). As figuras 4 e 5 ilustram bem os telhados mais tradicionais utilizando estruturas de madeira serrada, mas possuem um erro construtivo. Por se tratar de uma tesoura, as terças devem ser apoiadas diretamente nos nós da estrutura principal, o que não ocorre nas figuras. O Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 76) cita que as estruturas de madeira mais tradicionais são apenas apoiadas nas paredes exteriores utilizando tesouras como estrutura principal.

A execução desta estrutura é normalmente realizada por um carpinteiro ou por uma equipe de carpinteiros que a monta de forma artesanal a partir de peças de madeira serrada de comprimento padrão. Nenhum tipo de pré-fabricação é utilizada e muitas vezes nem o projeto da estrutura foi feito por um profissional habilitado, sendo a construção da estrutura do

telhado totalmente dependente do conhecimento do executor. Em contrapartida, este método construtivo possibilita grande flexibilidade perante modificações a serem realizadas no canteiro de obras.

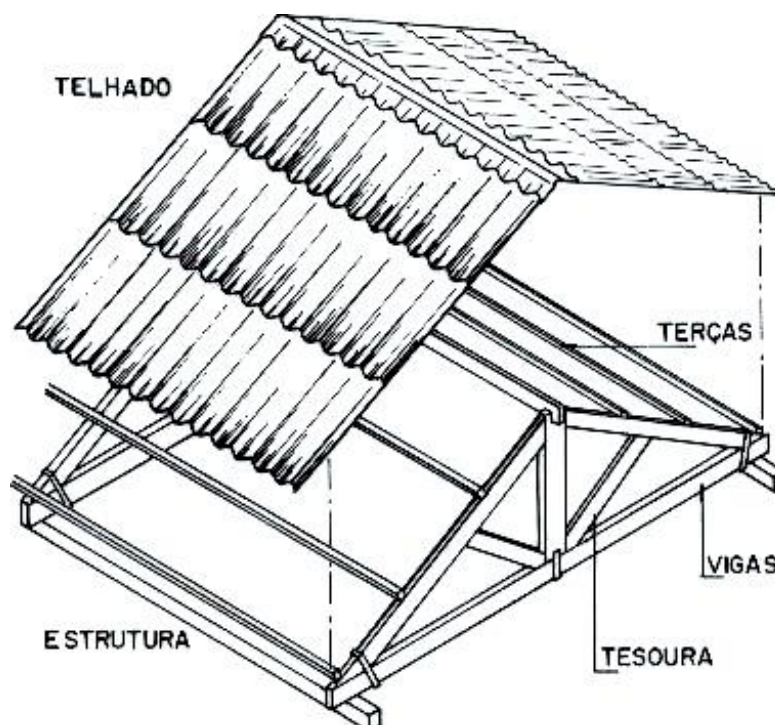
Figura 4 – Madeiramento tradicional para telhas cerâmicas



(fonte: RODRIGUES, 2006, p. 185)

Nos próximos itens serão detalhadas as partes constituintes da estrutura descontínua de madeira serrada.

Figura 5 – Madeiramento para telhas de fibrocimento e metálicas



(fonte: RODRIGUES, 2006, p. 185)

4.2.1. Estrutura Principal – Tesoura

Este item apresentará as definições e terminologia de uma tesoura de madeira, bem como aspectos construtivos da mesma.

4.2.1.1 Definições

Moliterno (2010, p. 8) define uma tesoura como “[...] viga principal em treliça [...], que serve para transferir o carregamento do telhado aos pilares ou paredes da edificação.”. Segundo Cardão (1981, p. 18):

As cargas da cobertura e as naturais sobrecargas provenientes da pressão do vento, são transmitidas às tesouras por meio deste vigamento secundário [trama], descarregando em pontos chamados nós.

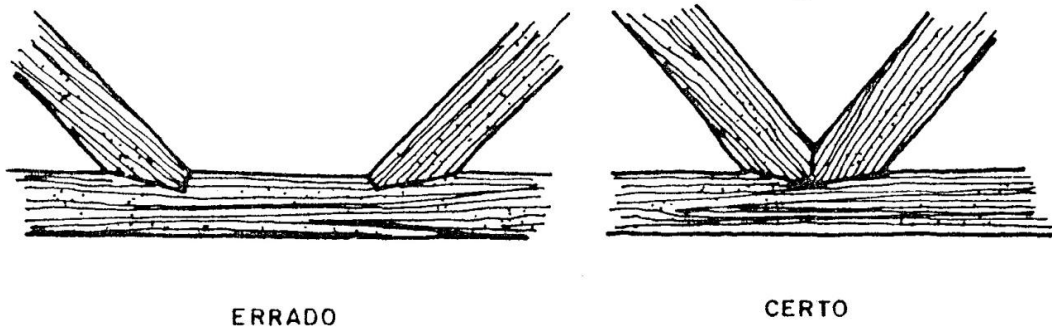
Desta forma os esforços a que estarão sujeitos seus componentes serão simplesmente compressão e extensão [tração].

É vedado que as peças trabalhem à flexão, evitando-se assim o emprego de grandes secções, diminuindo consideravelmente o custo das tesouras.

Para trabalharem como uma treliça, “Os eixos geométricos das barras devem pertencer ao mesmo plano e as intersecções entre eixos de três ou mais barras devem ocorrer num único

ponto [...]” (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 22), conforme a figura 6.

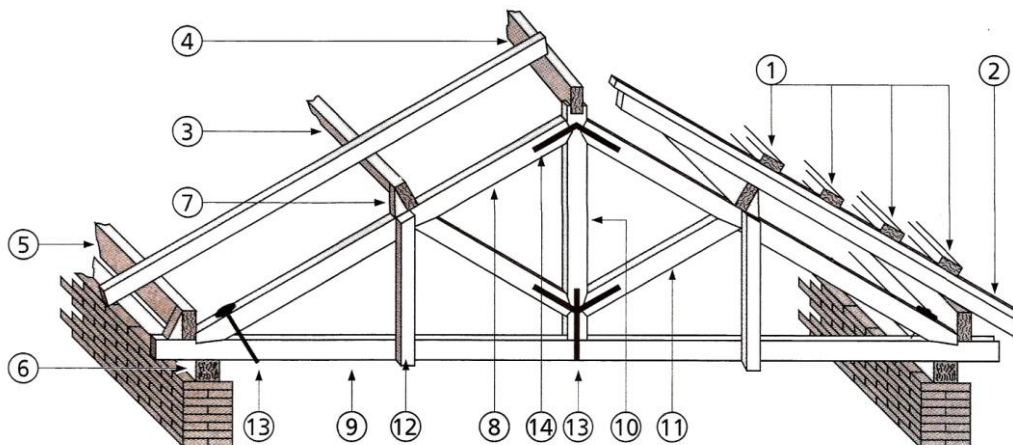
Figura 6 – Intersecção entre eixos das barras concorrentes de uma tesoura



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 22)

A nomenclatura de cada barra da treliça é bastante variada e às vezes controversa entre autores. Na figura 7, têm-se a terminologia definida por Moliterno (2010, p. 3), devendo-se destacar que o autor também utiliza banzo superior e banzo inferior para se referir a perna e a linha, respectivamente. Pode-se citar como comum também o uso no termo montante para o pendural central e diagonal para a escora.

Figura 7 – Terminologia da tesoura



1 a 5) **Trama**, é o conjunto formado pelas ripas, caibros e terças, que servem de lastro ao material da cobertura. 6) **Frechal**. 7) **Chapuz**, pedaço de madeira, geralmente de forma triangular, pregado na asna da tesoura, destinado a sustentar ou apoiar a terça. **Conjunto de peças** 8 a 12 – Tesoura, viga em treliça plana vertical, formada de barras dispostas de maneira a compor uma rede de triângulos, tornando o sistema estrutural indelocável. 8) **Asna, perna, empena ou membrura superior**. 9) **Linha, rochante, tirante, tensor, olivel ou membrura inferior**. 10) **Pendural ou pendural central**. 11) **Escora**. 12) **Pontalete, montante, suspensório ou pendural**. 13) **Ferragens ou estribos**. 14) **Ferragem ou cobrejunta**.

(fonte: MOLITERNO, 2010, p. 3)

4.2.1.2 Contraventamento

A NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b, p. 26) determina que:

As estruturas formadas por um sistema principal de elementos estruturais, dispostos com sua maior rigidez em planos paralelos entre si, devem ser contraventados por outros elementos estruturais, dispostos com sua maior rigidez em planos ortogonais aos primeiros, de modo a impedir deslocamentos transversais excessivos do sistema principal e garantir a estabilidade global do conjunto.

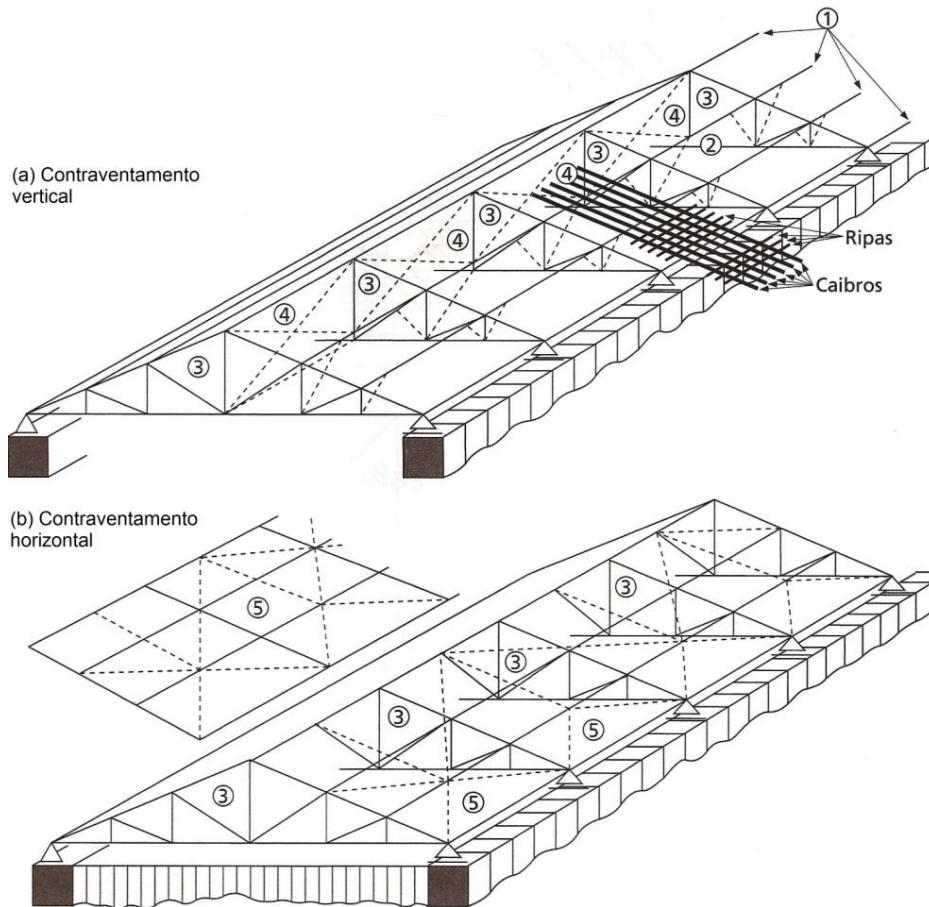
Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 22), “As tesouras devem ser contraventadas, de modo a obter-se um conjunto estrutural rígido.”. Na literatura técnica encontram-se várias formas de executar este contraventamento. O mesmo autor recomenda que “O contraventamento pode ser realizado com mãos francesas e diagonais cruzadas entre tesouras centrais (telhado de duas águas) [...] ou com diagonais cruzadas entre todas as tesouras.”.

Moliterno (2010, p. 8) divide o contraventamento em horizontal e vertical:

- a) contraventamento vertical: estrutura plana formada por barras cruzadas, dispostas perpendicularmente ao plano das tesouras. Estas barras servem de sustentação para a ação das forças que atuam em seu plano, travando as tesouras, de maneira a impedir a rotação e deslocamento, principalmente contra a ação do vento, como também sendo elemento de vinculação do banzo inferior contra a flambagem lateral;
- b) contraventamento horizontal: estrutura formada por barras cruzadas colocadas no plano abaixo da cobertura, para amarração do conjunto formado pelas tesouras e terças. Essas barras servem para transferir a ação do vento, atuando na direção esconsa ao edifício para as tesouras e ao contraventamento vertical.

Na figura 8, podem-se ver estes dois tipos de contraventamento, sendo: (1) terças, (2) mãos-francesas, (3) tesoura, (4) contraventamento vertical e (5) contraventamento horizontal.

Figura 8 – Contraventamento vertical e horizontal em um telhado de duas águas



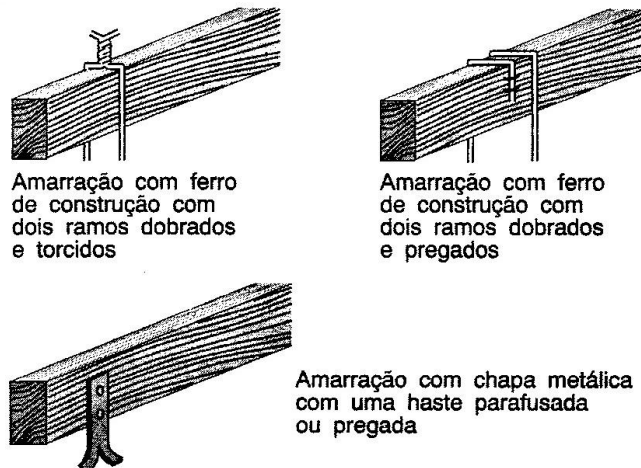
(fonte: MOLITERNO, 2010, p. 9)

4.2.1.3 Apoios

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 22), “As tesouras não devem ser apoiadas diretamente sobre a alvenaria, mas sim sobre coxins, cintas de amarração ou frechais.”. Moliterno (2010, p. 4) define frechal como “[...] viga de madeira colocada em todo o perímetro superior da parede de alvenaria de tijolos (respaldo), para amarração e distribuição da carga concentrada da tesoura.”. Segundo o mesmo Instituto, o frechal de madeira é geralmente substituído por cintas de amarração de concreto.

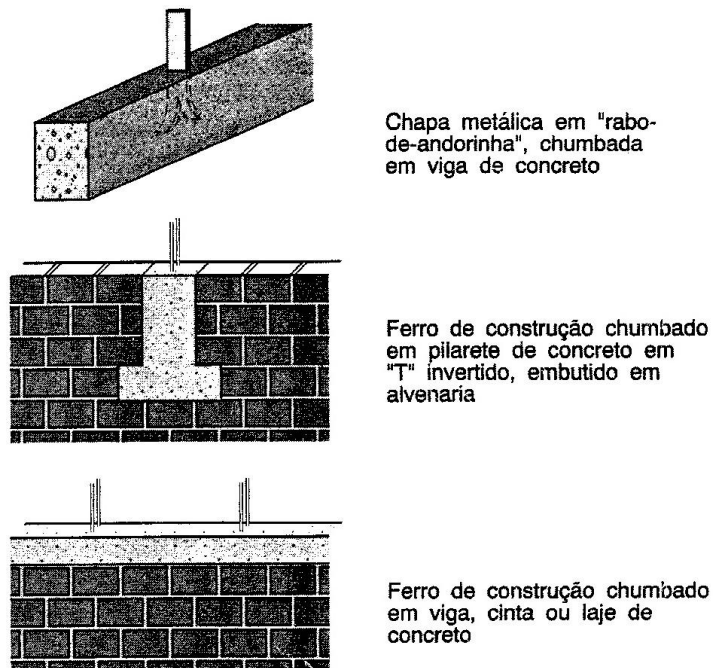
O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 37) também indica que a estrutura principal seja também ancorada no corpo da edificação. Em geral, utilizam-se peças metálicas fixadas em concreto para esta ancoragem (figuras 9 e 10).

Figura 9 – Amarração do componente de ancoragem



(fonte: MITIDIÉRI FILHO; HACHICH, 1994, p. 50)

Figura 10 – Fixação do componente de ancoragem



(fonte: MITIDIÉRI FILHO; HACHICH, 1994, p. 50)

4.2.1.4 Ligações

Segundo o Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 79), as ligações em uma tesoura de madeira são de particular importância e devem ser calculadas ou verificadas ainda em projeto. A NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b) cita três tipos de ligações em estruturas de madeira:

- a) pinos metálicos: pregos ou parafusos;

- b) cavilhas: pinos de madeira torneados;
- c) conectores: anéis metálicos ou chapas dentadas.

Particularmente nas tesouras são utilizados os entalhes – também chamados de sambladuras – para o devido encaixe das peças (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 34).

4.2.2 Estrutura Secundária – Terças, Caibros e Ripas

Este item apresentará as definições dos componentes da estrutura secundária, bem como aspectos construtivos de cada um. Abordará também a possibilidade de execução de uma estrutura de telhado utilizando apenas a trama.

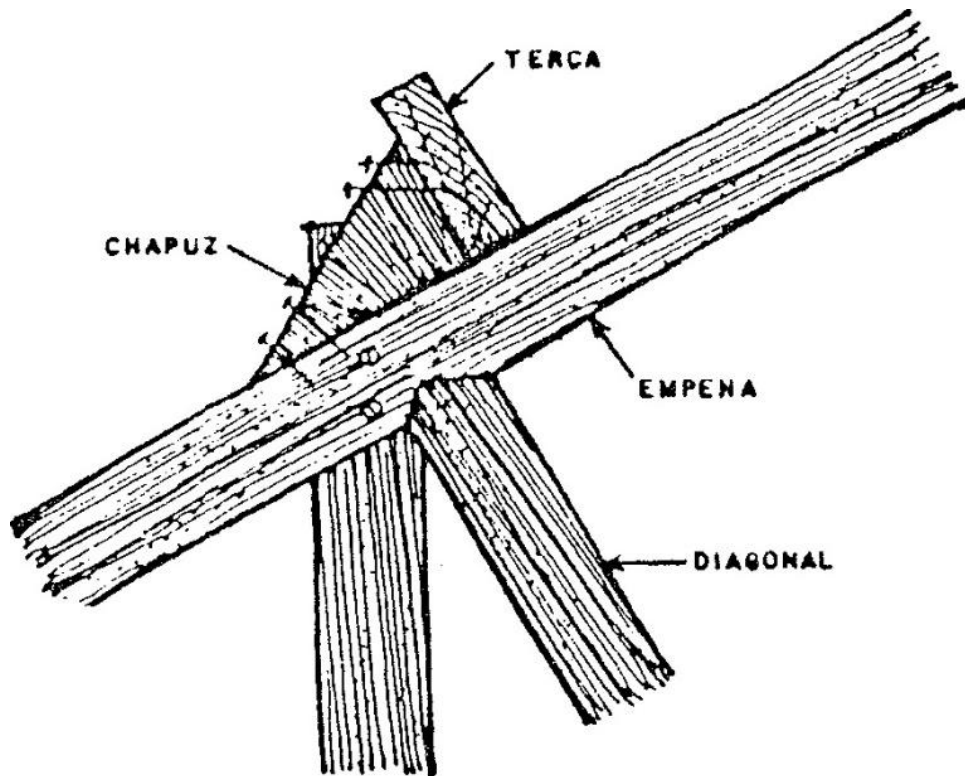
4.2.2.1 Terças

Moliterno (2010, p. 3) e Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 82) definem a terça como uma viga horizontal, paralela ao beiral, que se apoia nas tesouras e dá sustentação aos caibros. Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 82) também nomeia a terça colocada no ponto mais alto da cobertura de cumeeira.

As terças devem ser apoiadas o mais próximas possível dos nós das tesouras, para que esta trabalhe como uma treliça. Elas devem ser fixadas às empenas das tesouras mediante chapuzes de madeira – espécie de calço –, cantoneiras metálicas, tarugos de madeira, parafusos passantes ou quaisquer outros dispositivos que executem a função (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 25). Nas figuras 11 e 12, podem-se ver exemplos destas ligações.

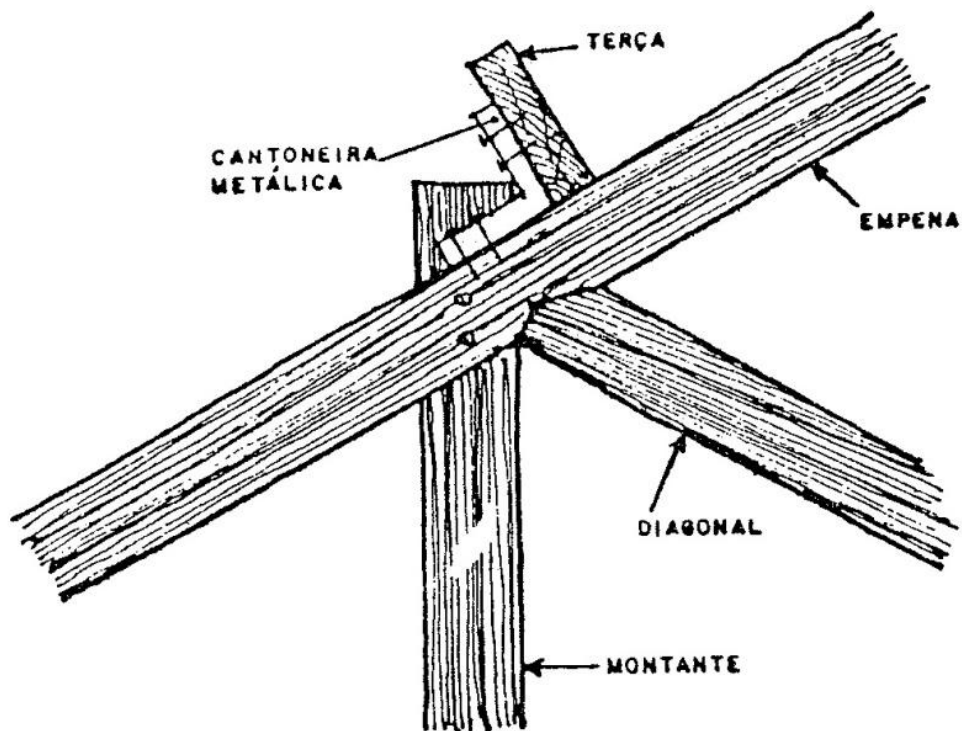
Como a terça é uma viga contínua, na maioria das vezes é necessário executar emendas na peça para obter o comprimento desejado. Esta emenda deve ser executada onde o momento fletor é nulo, aproximadamente a $\frac{1}{4}$ do vão, com chanfros a 45° e sempre no sentido do momento fletor (AZEREDO, 1997, p. 150). Na figura 13, pode-se observar esse tipo de emenda.

Figura 11 – Fixação da terça com chapuz



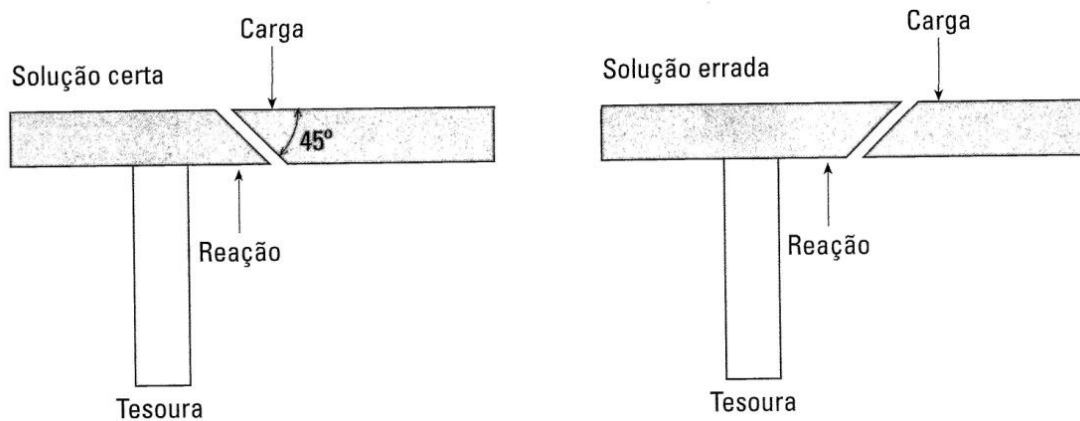
(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 26)

Figura 12 – Fixação da terça com cantoneira metálica



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 26)

Figura 13 – Emenda da terça no sentido do momento fletor



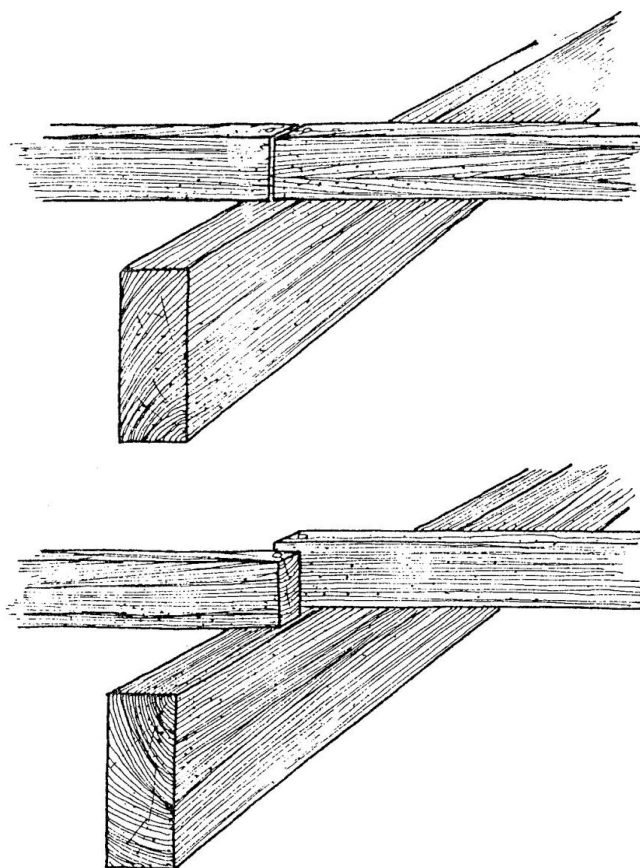
(fonte: BORGES, 2009, p. 150)

4.2.2.2 Caibros

Moliterno (2010, p. 3) e o Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 83) definem os caibros como peças de madeira de pequena seção transversal na direção da vertente, que se apoiam nas terças e dão sustentação às ripas. Segundo Borges (2009, p. 148), o declive dos caibros determina o caimento do telhado.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 29), “Os caibros devem ser pregados as terças, sendo que a penetração do prego na terça deve equivaler no mínimo a metade do comprimento do prego [...]”. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 30) recomenda que “Sempre que possível deve-se evitar emendas nos caibros; quando houver esta necessidade, a emenda entre caibros deve ser feita sobre a terça [...]”. Na figura 14, podem-se ver as duas maneiras de executar esta emenda.

Figura 14 – Emendas em caibros



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 30)

4.2.2.3 Ripas

Moliterno (2010, p. 2) e o Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 83) definem as ripas como peças de madeira de pequena esquadria paralelas ao beiral, que se apoiam nos caibros. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 32), “As ripas são simplesmente pregadas nos caibros, sendo que a penetração do prego no caibro deve ser pelo menos igual à metade do seu comprimento.”.

Borges (2009, p. 148) cita que o espaçamento entre duas ripas – também chamada de galga – depende da telha utilizada. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 30) e Borges (2009, p. 148) recomendam construir uma guia para o ripamento utilizando as dimensões da telha a ser empregado. Em telhas padronizadas as guias podem ser obtidas na literatura técnica ou com fabricantes. Quando as telhas não são padronizadas ou para simples conferência da informação, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 31) demonstra um método de obter o valor da galga:

- a) posicionar 12 telhas com a face inferior voltada para cima, sobre uma superfície plana;
- b) afastar o máximo possível as telhas, de maneira que permaneçam encaixadas, e medir a distância máxima entre a primeira e a décima telhas, encontrando L_1 em centímetros;
- c) em seguida, juntar o máximo possível as telhas (utilizando a folga existente) de maneira que permaneçam encaixadas, e efetuar novamente a medida, encontrando-se o valor L_2 em centímetros;
- d) o valor da galga é dado pela fórmula: $(L_1 + L_2) / 2$.

4.2.2.4 Estrutura sem tesoura

Em pequenos telhados, de uma ou duas águas, nos quais as paredes são pouco espaçadas, as terças podem se apoiar diretamente sobre as paredes (CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO, 1998, p. 82). O apoio e a ancoragem das terças devem seguir as mesmas recomendações do item 4.2.1..3. Segundo Borges (2009, p. 150), esta solução é facilmente obtida em casas e é a solução mais econômica, pois reduz o madeiramento, reduzindo assim os custos da estrutura.

4.3 ESTRUTURA PONTALETADA

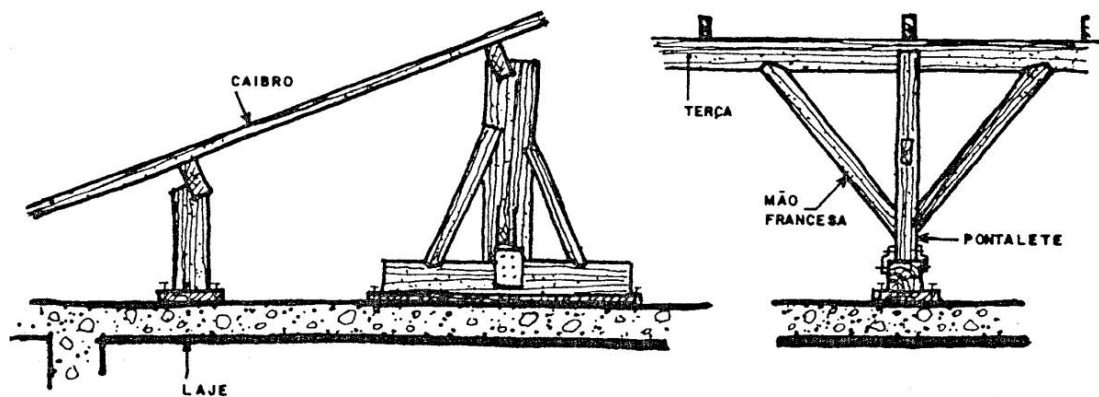
Além do uso de tesouras como estrutura principal, outra solução utilizando madeira serrada largamente difundida no Brasil é a estrutura pontaletada. Segundo Gonzaga (2006, p. 93), “O pontalete substitui a clássica tesoura quando há laje de cobertura, com grande vantagem e economia de madeira.”.

Nesta solução, as terças são apoiadas em pontaletes, que se apoiam na laje do forro (REIS; SOUZA, 2007, p. 11). O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 21), recomenda, porém, que os pontaletes não devam ser apoiados diretamente sobre laje do forro, mas sim sobre placas de apoio para distribuição da carga. De qualquer forma, a laje deve ser corretamente dimensionada prevendo as cargas pontuais dos pontaletes. O mesmo Instituto também recomenda “[...] que o apoio da peça de madeira [...] sobre o pontalete seja feito por encaixe; podem-se empregar ainda talas laterais de madeira, fitas ou chapas de aço [...]”.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 19), as terças e os pontaletes devem ser contraventados com mãos francesas (figura 15) ou diagonais (figura

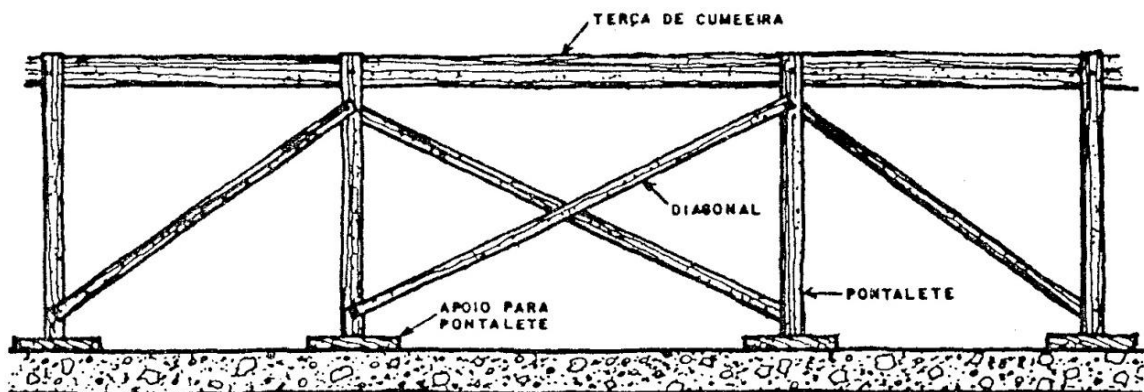
16), sendo recomendável que o pontalete seja contraventado nas duas direções, ou seja, na direção da vertente e perpendicular a esta.

Figura 15 – Terças apoiadas sobre pontaletes com contraventamento utilizando mãos francesas



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 19)

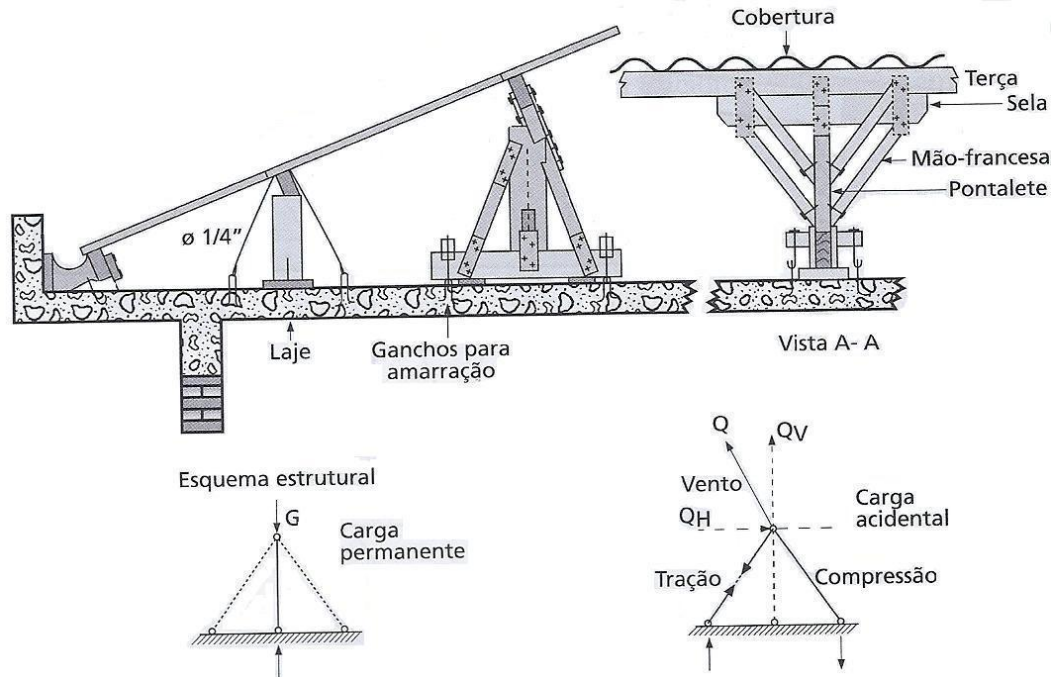
Figura 16 – Terça de cumeeira apoiada sobre pontaletes e contraventamento dos pontaletes com diagonais



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 20)

Moliterno (2010, p. 105) chama a atenção ao fato dos pontaletes terem alturas variáveis formando, em um alinhamento, a inclinação do telhado. O mesmo autor demonstra, na figura 17, a necessidade da estrutura do pontalete ser fixa na laje de forro por meio de ganchos fixos no concreto e o contraventamento executado com cabo de aço fixo na laje de forro. Este contraventamento, da mesma forma que as mãos francesas e diagonais, deve ser executado nas duas direções.

Figura 17 – Terças apoiadas sobre pontaletes fixos na laje e contraventamento com cabo de aço



(fonte: MOLITERNO, 2010, p. 106)

Uma estrutura descontínua apoiada sobre uma laje contínua horizontal é uma solução rotineiramente utilizada principalmente devido à melhora do desempenho térmico da cobertura, se comparado com uma estrutura de tesouras com forro abaixo. Segundo Vittorino e Akutsu (2000), isto ocorre quando se utilizam elementos de maior resistência e inércia térmica, como é o caso de laje de concreto comparando-a com um forro plástico ou de madeira.

Não há restrição ao uso de outras soluções, inclusive com outros materiais além da madeira, de estruturas descontínuas sobre laje de concreto. Nos próximos capítulos serão vistas outras soluções descontínuas com diferentes materiais que também podem ser utilizados sobre uma laje.

4.4 ESTRUTURA DE MADEIRA LAMINADA COLADA

A madeira laminada colada consiste em tábuas unidas longitudinalmente e coladas umas as outras, ampliando o comprimento e a espessura da peça final (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003, p. 20). De acordo com Fiorelli (2005, p. 16):

O termo madeira laminada colada, quando aplicada a elementos estruturais, refere-se ao material obtido a partir da colagem de topo e de face de pequenas peças de madeira, na forma reta ou curva, com as fibras de todas as lâminas paralelas ao eixo da peça. As lâminas, de comprimento suficientemente grande, são obtidas através de emenda longitudinal de tábuas e podem ser coladas face a face e borda a borda para obtenção de altura e largura desejada, podendo ainda ser arqueadas para obter uma forma curva durante a colagem.

Fiorelli (2005, p. 16) e Teles (2009, p. 5) divergem quanto à origem e data de criação da técnica – Alemanha, início do século XX e Suíça, final do século XIX, respectivamente. Concordam, porém, na identificação do criador – *Otto Karl Frederich Hetzer* – que obteve patente da técnica. A técnica logo foi disseminada na Europa e posteriormente nos Estados Unidos na América. Hoje ela é bastante difundida nos países europeus, principalmente os nórdicos, e na América do Norte, mas no Brasil seu uso ainda é incipiente.

Góes e Dias³ (2002 apud TELES, 2009, p. 5) afirmam que o uso de peças compostas de madeira apresentam características que permitem o emprego em diversos tipos de construções, tendo destaque para a possibilidade de atingir grandes vãos, um maior aproveitamento da tora, melhor adaptação às condições climáticas, redução da possibilidade de defeitos, entre outros. Szücs et al. (2008) cita como principais aplicações o uso em igrejas, escolas e coberturas com grandes vãos. O autor cita como exemplo as obras do *Hall de Tours*, na França, com 98 metros de vão livre, e o *Palais d'Exposition d'Avignon*, também na França, que tem mais de 100 metros de vão livre. O uso da madeira laminada colada em coberturas é o mais difundido, sendo estas estruturas relacionadas a telhados com alto valor arquitetônico, nos quais toda a estrutura fica aparente, tendo assim um grande apelo estético (figura 18).

Segundo Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente (2004b, p. 3), “Sua principal vantagem é a versatilidade de formatos, além do mais é resistente a incêndios, não apresenta problemas de deterioração quando aplicada ao meio corrosivo e responde melhor a impactos por ser um material mais flexível.”. Segundo Teles (2009, p. 7-8) as principais vantagens são a versatilidade de dimensões, aliada a possibilidade de uso em grandes vãos, a diminuição dos defeitos da peça e a conseqüentemente melhora na qualidade da mesma, além da boa resistência ao fogo e a agentes corrosivos.

³ GÓES, J. L. N. ; DIAS, A. A. . Avaliação experimental de vigas de madeira com seção composta. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: EBRAMEM, 2002.

Figura 18 – Igreja com estrutura do telhado de madeira laminada colada



(fonte: TECMAMADEIRA, 2012)

Scücz et al. (2008, p. 169) cita que:

A produção de elementos de MLC [madeira laminada colada] de alta qualidade necessita de uma indústria especialmente organizada para tal finalidade. Por outro lado, desde que não sejam muitos os elementos a serem produzidos e que não sejam de grandes dimensões, é também possível a sua composição de forma artesanal.

Dependendo do tamanho e peso das peças, a montagem pode ser realizada com auxílio de equipamentos ou de forma manual. Em geral, utiliza-se mão de obra especializada e treinada na montagem destas estruturas.

4.5 ESTRUTURA CONTÍNUA COM PAINÉIS

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2003, p. 17):

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar as variações dimensionais da madeira maciça, diminuir seu peso e custo e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Adicionalmente, suprem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliam a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões (a largura), para, assim, otimizar a sua aplicação.

Os painéis mais comuns e com grande utilização na construção civil principalmente em formas de concreto armado são os compensados. Surgiram no início do século XX e tiveram o

seu uso difundido no Brasil em meados dos anos 70. As chapas são compostas por lâminas de madeira coladas entre si utilizando resinas sintéticas, que determinam se o uso será interno ou externo. As lâminas, sempre em número ímpar, são cruzadas para possibilitar maior estabilidade dimensional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2003, p. 1). Há no mercado três tipos de compensado de acordo com sua construção (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003, p. 17):

- a) laminados: são produzidos com finas lâminas de madeira prensada;
- b) sarrafeado: o miolo é formado por vários sarrafos de madeira colados lado a lado;
- c) multissarrafeado: é considerado o mais estável. O miolo é composto de lâminas prensadas e coladas na vertical, formando uma espécie de sanduiche.

Há também no mercado os painéis de aglomerado de madeira, MDF, chapa de fibra e OSB. Este último é formado por camadas de feixes de madeira que são orientados em uma mesma direção e prensados para sua consolidação. Seu uso na construção civil brasileira vem crescendo com aplicações em pisos, divisórias, telhados e obras temporárias (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2003, p. 19).

O uso de painéis em estruturas de telhados resume-se a coberturas com revestimento em telhas *shingles*. Com uso ainda pequeno no Brasil, mas em expansão, este tipo de telha é composto por um material estruturante – em geral fibra de vidro ou feltro orgânico –, asfalto e grânulos minerais (METALICA, 2009). Segundo Rolim Jr. (2005), o material estruturante tem a função de dar resistência mecânica e estabilidade dimensional à peça, o asfalto a função de garantir a maleabilidade e durabilidade e os grânulos a função de proteger os demais componentes, além de proporcionar o acabamento final. A instalação deste tipo de telhas requer uma superfície de apoio plana (figura 19). Normalmente são utilizados painéis de compensado OSB de 12mm pregados ou aparafusados sobre uma estrutura descontínua de madeira ou aço. Sobre este plano de madeira, as telhas *shingles* são pregadas com pregos de cabeça chata com 3,4mm de diâmetro (ROLIM JR., 2005).

Figura 19 – Painéis sobre estrutura descontínua para instalação de telhas *shingles*



(fonte:LP BRASIL, 2012)

4.6 ESTRUTURA DE MADEIRA SERRADA PRÉ-FABRICADA

A estrutura de telhado tradicional de madeira serrada é executada de forma artesanal, quando um carpinteiro constrói a estrutura a partir de peças de madeira de comprimento qualquer, sem qualquer modulação ou pré-fabricação. Em muitos casos, nem sequer é feito um projeto da estrutura, apenas o conhecimento adquirido ao longo da vida do profissional é utilizado na sua concepção. A NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b, p. 41) inclusive cita a presença imprescindível de um mestre carpinteiro na execução de uma estrutura de telhado de madeira.

Buscando uma maior industrialização do processo de execução de estrutura de telhado de madeira serrada, técnicas de pré-fabricação são utilizadas. A empresa Sudoeste Paulista Madeiras de Itapeva, São Paulo, tem como um de seus produtos a execução de estrutura de telhado de madeira serrada pré-fabricada (figura 20).

A técnica consiste primeiramente em um projeto específico para estrutura do telhado, seguindo conceitos da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997b), elaborado por engenheiros, visando à otimização da estrutura. As tesouras são montadas na fábrica onde há condições específicas para montagem e

movimentação das peças e condições de trabalho mais adequadas para os trabalhadores. As ligações entre as partes da tesoura são executadas com chapas de dentes estampados popularmente chamados de chapas *gang-nail* que são prensadas na madeira com uma prensa apropriada no ambiente industrial (figura 21). O material utilizado nas estruturas é madeira de reflorestamento do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. A técnica pode ser utilizada em qualquer tipo de tipologia arquitetônica e para qualquer tipo de telha.

Figura 20 – Estrutura de telhado de grande vão com tesouras pré-fabricadas



(fonte: SUDOESTE PAULISTA MADEIRAS, 2012)

No canteiro de obras, as tesouras são colocadas no local correto por meio de guindastes – se o peso da peça for elevada – ou manualmente – no caso de peças leves (figura 22). Profissionais treinados montam a estrutura de acordo com o projeto detalhado desenvolvido anteriormente. Segundo a Sudoeste Paulista Madeiras, pode-se executar até duas casas por dia, com dois operários, considerando uma estrutura de um telhado de duas águas de uma casa de aproximadamente 40 m².

A Empresa cita como grandes vantagens do sistema em relação à estrutura tradicional, a rapidez da montagem na obra, o dimensionamento estrutural correto, a grande durabilidade dos materiais e a utilização de material renovável, sendo a técnica sustentável. Em relação a

custo, a empresa diz que é equivalente ao convencional, desde que corretamente dimensionado.

Figura 21 – Ligações entre peças com chapas de dentes estampados



(fonte: SUDOESTE PAULISTA MADEIRAS, 2012)

Figura 22 – Montagem de estrutura por operários



(fonte: SUDOESTE PAULISTA MADEIRAS, 2012)

5 ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Neste capítulo serão descritas as características do concreto armado, bem como as soluções construtivas utilizando este material para estruturas de telhados.

5.1 CONCRETO ARMADO

Com as primeiras experiências com concreto armado datadas do século XIX, o uso deste material como estrutura se popularizou no início do século XX. Tradicionalmente a moldagem do concreto armado é feita no seu local definitivo com uso de formas, método utilizado até hoje em grande parte das construções de concreto armado. No entanto, visando uma maior industrialização e racionalização do processo construtivo, surgiram na Europa, na primeira metade do século XX, iniciativas de pré-moldagem e produção em série de peças de concreto armado. Após a IIª Guerra Mundial, uma grande demanda por habitações, escolas, hospitais e indústrias, levou a evolução do sistema construtivo com concreto pré-moldado, tornando-se uma das bases da construção da Europa pós-guerra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, 1986, p. 15).

Segundo El Debs (2000, p. 5) “[...] concreto pré-moldado corresponde ao emprego de elementos pré-moldados de concreto, ou seja, ao emprego de elementos de concreto moldados fora de sua posição definitiva de utilização na construção.”. O autor também cita o termo pré-fabricação como importante neste sistema construtivo. Ordóñez⁴ (1974 apud EL DEBS, 2000, p. 11) define pré-fabricação como “[...] um método industrial de construção em que elementos fabricados, em grandes séries, por métodos de produção em massa, são montados na obra, mediante equipamentos e dispositivos de elevação.”.

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 3) faz a diferenciação de elemento pré-moldado e pré-fabricado de acordo com o local de moldagem e a qualidade de execução da peça. Para ser considerada uma peça pré-fabricada, o elemento deve ser “[...] executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim [...]” e estar de acordo com rigoroso processo de qualidade descrito pela Norma. Além de vantagens na qualidade, elementos pré-fabricados podem diminuir o uso de materiais

⁴ ORDÓÑES, J. A. F. (Ed.). **Prefabricación**: teoría y práctica. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974. 2 v.

em comparação a elementos simplesmente pré-moldados. Segundo a NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 30) o coeficiente de minoração da resistência do concreto pode ser reduzido de 1,4 para 1,3 devido ao maior controle na fabricação dos elementos.

Sobre as características do concreto utilizado, a NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) determina que:

Aplica-se o disposto na ABNT NBR 6118 com relação à trabalhabilidade, à durabilidade, ao diagrama tensão-deformação, ao módulo de deformação longitudinal à compressão, ao módulo de deformação transversal, ao coeficiente de Poisson, ao coeficiente de dilatação térmica, à retração e à fluência.

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), por sua vez, determina, entre outros parâmetros, as classes de resistência do concreto (de 20 MPa até 50 MPa), a massa específica (2400 kg/m³ para concreto simples e 2500 kg/m³ para concreto armado) e o coeficiente de dilatação térmica (10⁻⁵ °C). Estes mesmos parâmetros devem ser utilizados para elementos pré-moldados.

Segundo Melo (2004, p. 26), “O concreto utilizado na construção pré-fabricada é de alta resistência inicial, com traço muito rico. Conseqüentemente, ele atinge também valores de resistência final altos, na maioria das peças $f_{ck} > 40$ MPa.”. Isto se deve principalmente ao fato do elemento de concreto pré-moldado necessitar ser transportado já em pequenas idades. Melo (2004, p. 117) também cita o exemplo das telhas de concreto no formato W que na sua fabricação utiliza-se concreto com abatimento de tronco de cone 20 mm, relação água/cimento menor que 0,6 e consumo de cimento maior que 340 kg/m³.

El Debs (2000, p. 23) chama a atenção que:

O projeto das estruturas de concreto pré-moldado diferencia-se do projeto de estruturas de concreto moldado no local quanto à análise estrutural, basicamente, pelas seguintes razões:

- a) necessidade de considerar outras situações de cálculo além da situação final da estrutura;
- b) necessidade de considerar particularidades das ligações entre os elementos pré-moldados que formam a estrutura.

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) determina quais são as outras situações de cálculo citadas por El Debs (2000). O manuseio, transporte e

montagem dos elementos, devem ser verificados estruturalmente, bem como a verificação da estrutura em situação de incêndio. A mesma norma desenvolve um capítulo específico sobre as ligações possíveis entre elementos pré-moldados e estes com concreto moldado no local, descrevendo como estas ligações devem funcionar e em que situações seu uso deve ser considerado. O uso de ligações não descritas na Norma, só será aceito se comprovadas, por cálculos analíticos documentados ou por ensaios conclusivos de casos análogos, a eficácia, a durabilidade e a qualidade da ligação.

A NBR 9062 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) relaciona diversos tipos de ligações entre peças pré-moldadas, separando-as por solicitação atuante e por componente estrutural. Entre as mais correntes, pode-se citar a junta a seco, junta com dispositivos metálicos (grapas ou parafusos), almofadas elastoméricas, resinas adesivas e chumbadores mecânicos e consoles.

5.2 ESTRUTURA DE TELHADO

Nos próximos itens serão abordadas as características de diferentes sistemas de estrutura de telhado utilizando como material o concreto armado pré-moldado e concreto armado moldado no local.

5.2.1 Estrutura de telhado – concreto armado pré-moldado

El Debs (2000, p. 301) cita a forte ligação que as coberturas de concreto pré-moldado têm com construções de um pavimento com grandes vãos, como galpões e ginásios. Segundo o autor elementos pré-moldados de concreto são comumente utilizados em estruturas de telhado como:

- a) elementos que formam cobertura semelhante ao das cascas e folhas poliédricas;
- b) elementos que formam arcos ou pórticos, que necessitam ainda de estrutura secundária e telhas ou outro material de vedação.

O primeiro item refere-se a uma estrutura de telhado contínua em que o material possui geometria para escoar as águas pluviais, portanto é ao mesmo tempo o material de vedação do telhado e a estrutura do telhado. O segundo item refere-se a estruturas de telhado descontínuas, que tem sua configuração oriunda dos telhados com estrutura de madeira.

5.2.1.1 Estrutura contínua de concreto pré-moldado

Pires (1998, p. 74-75) verifica “[...] uma tendência para a utilização de coberturas com estruturas indiferenciadas [contínuas], ou seja, aquelas onde o elemento estrutural de suporte é contínuo e constitui por si só o próprio revestimento, cumprindo simultaneamente várias funções [...]”. Para este tipo de estrutura, podem-se citar dois tipos básicos: as cascas e as folhas poliédricas. As cascas, por não se caracterizarem como telhado e constituírem um sistema de cobertura a parte, não fazem parte do escopo deste trabalho.

Segundo El Debs (2000, p. 301) as estruturas contínuas possuem uma grande riqueza de forma, sendo, portanto, o concreto um material apropriado para execução destas coberturas, devido à facilidade de moldagem. Contudo, o autor acrescenta que geralmente a montagem da forma para moldagem destas estruturas é de difícil execução, constituindo-se então a pré-moldagem como forte opção.

A forma mais comum de uso das folhas poliédricas é como um elemento linear em forma de viga (figura 23). El Debs (2000, p. 311) ainda cita que “Neste caso, os elementos pré-moldados são apoiados em estrutura de suporte, com ou sem balanços.”, que podem ser a própria estrutura da edificação ou em pórticos específicos para sustentar a cobertura.

Figura 23 – Telhado com folhas poliédricas



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, 1986, p. 110)

A denominação de folhas poliédricas varia dependendo do autor consultado. El Debs (2000, p. 311) determina para folhas poliédricas em forma de vigas a denominação de telhas de

concreto pré-moldado, mesma denominação utilizada por Melo (2004, p. 117). Pires (1998, p. 75), nomeia este de solução como painéis de concreto armado e protendido ou até como cascas de concreto protendidas. Já Associação Brasileira de Construção Industrializada (1986, p. 77) chama estes elementos de vigas-telhas. Há no mercado várias seções transversais para estes elementos (figura 24).

Figura 24 – Seções comerciais de folhas poliédricas

Tipos	Secções
Viga-Telha “W”	
Viga-Telha “Y”	
Viga-Telha “Shed Y”	
Viga-Telha “Y” com aba	
Viga-Telha “V”	
Viga-Telha “HP”	
Viga-Telha “MH”	

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, 1986, p. 78)

Segundo El Debs (2000, p. 311), “Em geral, os elementos são empregados apenas justapostos para formar a cobertura.”. Porém isto pode variar dependendo do fabricante e da forma do telhado. Associação Brasileira da Construção Industrializada (1986, p. 77) recomenda que “[...] as juntas devem ser impermeabilizadas para garantir a estanqueidade da cobertura.”. Já Melo (2004, p. 117) descreve a solução com seção no formato W “[...] que devem ser solidarizadas, por solda, quando montadas, formando um pano rígido que trabalha em conjunto.”.

Apesar de pouco comum, a utilização de estruturas contínuas de concreto armado pré-moldado em pequenas edificações é tecnicamente possível e praticada no mercado da construção civil brasileira. A empresa mato-grossense APS – Tecnologia, Projetos e Consultoria (2012) desenvolveu um sistema denominado EcoLaje, com registro de patente solicitada no INPI, onde lajes maciças de concreto pré-moldado são utilizadas como estruturas de telhados em casas populares (figura 25).

Figura 25 – Casa com estrutura do telhado utilizando sistema EcoLaje



(fonte: APS – TECNOLOGIA, PROJETOS E CONSULTORIA, 2012)

Segundo a APS – Tecnologia, Projetos e Consultoria (2012), a estrutura da laje é calculada por meio do software TQS[®] utilizando o modelo de uma laje maciça e seguindo as determinações de dimensionamento da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) e NBR 9061 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). Nas primeiras versões da EcoLaje, saliências eram executadas na moldagem para apoio das telhas, como pode-se ver na figura 26 que retrata o protótipo da solução. Atualmente, a laje é lisa e as telhas são simplesmente apoiadas na laje inclinada. A empresa garante que “Apesar de ficarem sobre uma laje plana, cada telha é travada pela outra justaposta, formando um lençol monolítico.” (APS – TECNOLOGIA, PROJETOS E CONSULTORIA, 2012). Ressalta-se que o simples apoio das telhas pode funcionar em áreas com ventos de baixa intensidade, como são os ventos no Mato Grosso. Em áreas com ventos de maior velocidade, como no Rio Grande do Sul, recomenda-se utilizar uma forma de apoio ou fixação que vise resistir aos esforços do vento. A laje possui 7 cm de espessura e é apoiada diretamente sobre as paredes da edificação, que devem ser executadas com o caimento do telhado nas regiões de apoio. Antes da montagem da laje é colocada uma camada de argamassa com um aditivo que aumenta a aderência entre os materiais em todas as paredes com contato com a laje (a Empresa não especificou o aditivo). Para aumentar a segurança do sistema, o ângulo de inclinação do telhado é de apenas 20°, favorecendo a estabilidade do

sistema. A empresa resalta que mais de 2000 casas foram executadas utilizando esta técnica e nunca houve problemas com a estabilidade estrutural.

A moldagem destas estruturas é feita no próprio canteiro de obras sobre piso polido, com o intuito de deixar a parte inferior da laje lisa e pronta para receber o revestimento de tinta, sem a necessidade de uma camada de regularização. No perímetro da laje são utilizadas formas metálicas ou de madeira. Os materiais utilizados são aço CA-50 e CA-60 e concreto convencional com $f_{ck} = 25$ MPa. Um dia após a moldagem, a laje é retirada da forma e estocada por mais sete dias para realização do processo de cura do concreto, que consiste apenas na aspersão de água sobre a laje de três a quatro vezes por dia. Após este período, a estrutura é movimentada com um guindaste com capacidade mínima de 35 toneladas e içado até a sua posição final. Segundo a empresa é possível montar até 15 telhados de duas águas de casas populares em um dia.

Figura 26 – Estrutura de telhado utilizando sistema EcoLaje com saliências



(fonte: APS – TECNOLOGIA, PROJETOS E CONSULTORIA, 2012)

Além da alta produtividade, a APS – Tecnologia, Projetos e Consultoria (2012) cita como vantagem do sistema a não utilização de madeiramento na estrutura do telhado, a dispensa de

revestimento na parte inferior da laje, a redução da mão-de-obra e a melhora do conforto térmico da edificação. Segunda a APS – Tecnologia, Projetos e Consultoria (2012):

Ao contrário do que se imagina, o ambiente não fica mais quente pelo fato do sistema eliminar o bolsão de ar que ficaria entre o telhado e a laje no sistema convencional. A edificação ganha um pé-direito mais alto, e o ar quente é afunilado pelo fato do teto ficar inclinado, escoando-se mais rapidamente até o ponto mais alto.

Apesar da citação da empresa, pode-se questionar esta afirmação. A justificativa do afunilamento do ar só seria válida se houvesse uma abertura superior que possibilitasse a saída deste ar, formando uma ventilação natural na edificação. Para um melhor desempenho térmico seria ideal a colocação de um forro horizontal sobre a laje, formando assim um bolsão de ar, que serviria como isolamento. Além deste ponto, o apelo ecológico dado pela Empresa ao sistema por meio de seu nome comercial não apresenta justificativa, pois a simples substituição da madeira por outro material não torna o sistema sustentável.

5.2.1.2 Estrutura descontínua de concreto pré-moldado

Segundo Pires (1998, p. 74), nas coberturas de grandes vãos, os sistemas estruturais são complexos e devem ser leves, sendo, portanto, as estruturas descontínuas uma solução mais favorável. Uma estrutura de telhado descontínua em concreto armado possui os mesmos elementos descritos no mesmo sistema utilizando a madeira: tesouras, terças, caibros e ripas. Segundo Melo (2004, p. 125) as tesouras podem ser substituídas por vigas que “[...] devem ter uma inclinação na face superior de modo a acompanhar a inclinação da cobertura.” (figura 27).

A utilização de todos os elementos de um telhado descontínuo depende da telha utilizada como revestimento. Em telhas de grande dimensão (fibrocimento ou metálica, por exemplo) somente o uso da terça apoiada sobre as tesouras já é suficiente para criar uma estrutura para fixação das telhas. Segundo El Debs (2000, p. 262), “As terças [de concreto] são empregadas geralmente em galpões, associadas com telhas de cimento-amianto ou telhas metálicas.”. Melo (2004, p. 125) chama a atenção que com o uso de telhas leves, as cargas de tração provocadas pelo vento são muito maiores que as provocadas por uma cobertura toda em concreto, exigindo assim o uso de elementos auxiliares para fixação das telhas e estabilidade da cobertura. A estabilidade do telhado é garantida com o contraventamento da estrutura, geralmente realizada com elementos metálicos. A NBR-9162 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA

DE NORMAS TÉCNICAS, 2006) cita como elementos de contraventamento, paredes, lajes e elementos em X, sendo estes os utilizados em estruturas de telhado de modo garantir a estabilidade global da estrutura.

Figura 27 – Viga de cobertura com banzo superior inclinado, substituindo a tesoura



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA, 1986, p. 110)

Estruturas descontínuas de concreto pré-moldado com tesouras (ou vigas) e terças associadas ao uso de telhas de fibrocimento e metálicas são largamente utilizadas no Brasil, principalmente em edificações industriais e comerciais com grande pé-direito. Esta tendência também é seguida em Portugal, conforme escreveu Pires (1998, p. 73):

Atualmente em Portugal o material que é mais utilizado na execução de estruturas em geral é o betão [concreto] armado. [...]. As estruturas de coberturas refletem naturalmente esta tendência, excluindo os edifícios industriais com coberturas de grandes vãos onde as estruturas metálicas, nas mais variadas soluções construtivas, são utilizadas com maior frequência [...].

A grande diferença entre Brasil e Portugal na utilização de concreto armado como estrutura de telhado está em edificações de pequeno vão, particularmente em habitações unifamiliares. O Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 84) cita como corrente a utilização de estrutura descontínua de concreto armado em telhado com sótão não habitado e em telhados de pequenos pavilhões. Cita também ser corrente em Portugal, a utilização destas estruturas em telhados com telhas cerâmicas, que necessitam, além das tesouras e terças, dos caibros e

das ripas. Nas terças, caibros e ripas geralmente utilizam-se vigas pré-moldadas protendidas apoiadas ou unidas por meio de argamassa. (figura 28).

No Brasil é bem incomum a utilização de concreto pré-moldado em edificações de pequeno vão e com revestimento em telhas pequenas, que necessitem de caibros e ripas. A empresa APS – Tecnologia, Projetos e Consultoria (2012), do Mato Grosso, além da EcoLaje, também desenvolveu um sistema denominado EcoTelhado, com pedido de patente no INPI, no qual grelhas de concreto pré-moldado são utilizados na estrutura do telhado em casas populares (figura 29 e 30).

Figura 28 – Estrutura de telhado totalmente de concreto pré-moldado



(fonte: CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO, 1998, p. 85)

Figura 29 – Estrutura de telhado com sistema EcoTelhado



(fonte: APS – TECNOLOGIA, PROJETOS E CONSULTORIA, 2012)

Figura 30 – Estrutura de telhado com sistema EcoTelhado



(fonte: APS – TECNOLOGIA, PROJETOS E CONSULTORIA, 2012)

Segundo a APS – Tecnologia, Projetos e Consultoria (2012), utiliza-se o software TQS[®] para o cálculo da estrutura, que é modelada em grelha e segue as determinações de dimensionamento da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) e NBR 9061 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). As

telhas se apoiam em vigas secundárias, situadas na direção oposta a vertente, que são dimensionadas para suportar o peso das telhas e outras cargas (vento e sobrecarga) e possuem o espaçamento adequado para a telha. Estas vigas, por sua vez, se apoiam em vigas principais, que são chumbadas nas paredes das casas. Cada grelha forma a estrutura de uma água do telhado. Deve-se ter um cuidado especial em relação à qualidade das telhas, já que distância entre as vigas secundárias é fixa e normalmente as telhas cerâmicas possuem variações dimensionais de fábrica que podem comprometer o encaixe e o apoio das telhas sobre a estrutura.

A moldagem destas estruturas é feita no próprio canteiro de obras com auxílio de formas metálicas, sendo que cada molde metálico possui um ciclo de produção de 24h. Para rapidamente desocupar a forma, são utilizadas pórticos sobre trilhos para transporte das grelhas já em processo de cura. Os materiais utilizados são aço CA-50 e CA-60 e concreto convencional com $f_{ck} = 30$ MPa. Após o processo de cura de oito dias (um na forma e mais sete estocada), a estrutura é movimentada com um guindaste com capacidade mínima de 35 toneladas e içado com auxílio de ferramentas específicas, desenvolvidas para este sistema (figura 31). Segundo a empresa é possível montar até 15 telhados de duas águas de casas populares em um dia, mesma produtividade do sistema de EcoLaje.

Figura 31 – Estrutura no sistema EcoTelhado içado por guindaste



(fonte: APS – TECNOLOGIA, PROJETOS E CONSULTORIA, 2012)

Além da alta produtividade, a grande vantagem da estrutura pré-moldada desenvolvida no Mato Grosso é o custo. Segundo a APS, em telhados de casas populares com no máximo 50 m² estas estruturas custam cerca de 15% a menos que uma estrutura semelhante executada com madeira serrada e 40% menos que uma estrutura semelhante executada em aço, levando em conta apenas a construção e os preços locais. Analisando o custo de manutenção o sistema torna-se ainda mais competitivo, visto que a manutenção tende a ser menor que a madeira e o aço, se cumpridas as exigências referentes a qualidade de materiais e execução, principalmente referente ao cobrimento da armadura pelo concreto. Há também uma redução da mão de obra utilizada na montagem das estruturas.

5.2.2 Estrutura de telhado – concreto armado moldado no local

É pouco comum a execução de estruturas de telhado em grandes coberturas com concreto moldado no local, devido à dificuldade de montagem das formas de estruturas com grandes vãos e com grande pé-direito, se comparada com uma estrutura de concreto pré-moldada. Em pequenas edificações – em geral habitações unifamiliares – é possível observar o uso de lajes inclinadas contínuas ou a moldagem *in loco* de peças de uma estrutura descontínua, como pontaletes e terças (figura 32).

Figura 32 – Estrutura de telhado com pontaletes e terças de concreto moldado no local



(fonte: fotografia do autor)

Segundo Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 86), “[...] as estruturas contínuas de betão [concreto] armado para coberturas inclinadas consistem, fundamentalmente, na construção de uma laje inclinada que permite criar um espaço útil e habitável no desvão [ático].”. As ripas para apoio das telhas podem ser de argamassa (figura 33) ou de madeira (figura 34). É recomendada a interrupção dos cordões de argamassa, no caso de ripas de argamassa, ou a utilização de caibros sob as ripas de madeiras, no caso de ripas de madeira, para garantir a ventilação sob as telhas e evitar, no caso de quebra de alguma peça e conseqüente entrada de água, o empoçamento da mesma. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1988, p. 29) recomenda o uso de pregos ao longo do caibro para auxiliar a aderência da madeira com o concreto. A madeira deve ser colocada no local correto no momento da moldagem da laje.

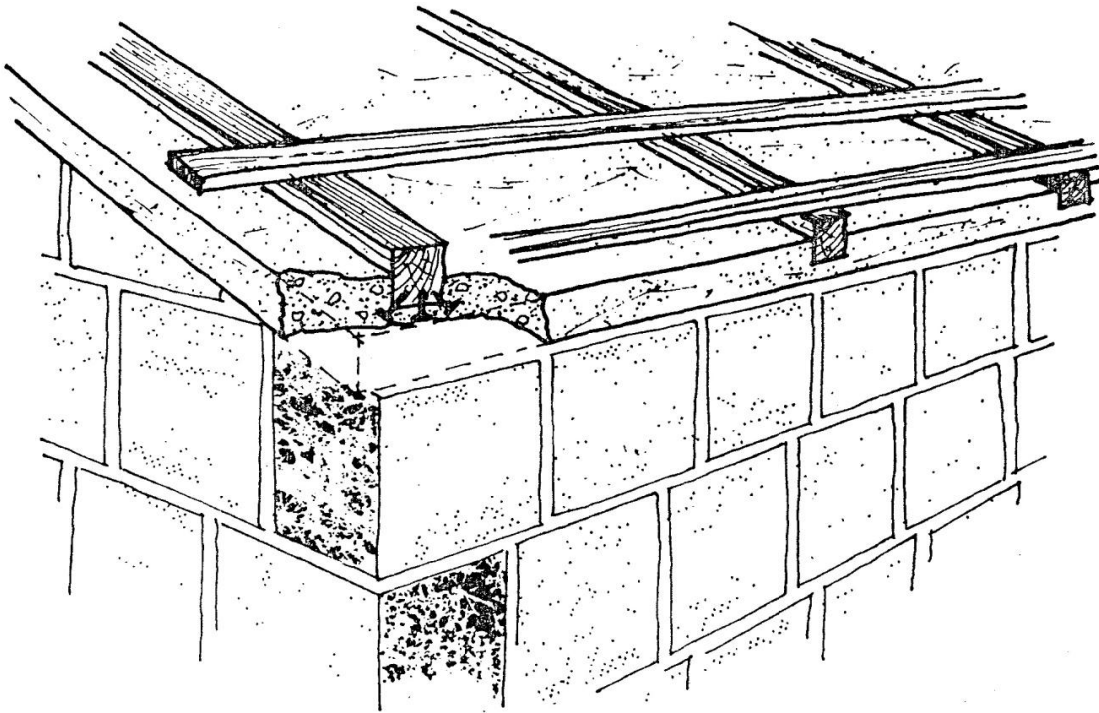
Esta solução exige cuidados especiais com escoramento e a segurança dos operários devido à inclinação da superfície de apoio. O Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro (1998, p. 87) não vê vantagem nesta técnica de execução, pois ela “[...] pode ser substituída, com vantagem, por uma laje horizontal – isolada termicamente – e estrutura inclinada descontínua [...]”. Pires (1998, p. 77) cita também o uso de lajes inclinadas em edificações com vãos menores de seis metros, indicando o uso de lajes com vigotas de concreto armado ou protendido e tavelas cerâmicas.

Figura 33 – Estrutura de telhado em laje contínua com ripas de argamassa sem cortes para ventilação



(fonte: CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO, 1998, p. 87)

Figura 34 – Estrutura de telhado em laje inclinada com caibros e ripas de madeira



(fonte: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1988, p. 29)

6. ESTRUTURA DE AÇO

Neste capítulo serão abordados aspectos relevantes sobre o aço, bem como serão descritas soluções construtivas utilizando este material para estruturas de telhados.

6.1 AÇO

A utilização de metais ferrosos em estruturas data do final do século XVIII na Inglaterra, onde foi utilizado em pontes com elementos de ferro fundido trabalhando à compressão. Das formas mais usuais de metais ferrosos – aço, ferro fundido e ferro laminado – o aço é o mais importante para a construção civil. Ele caracteriza-se por ser uma liga de ferro e carbono, que pode também ter outros elementos como silício, manganês, fósforo, enxofre, entre outros. O teor de carbono pode variar de 0% a 1,7%, sendo que quanto mais carbono, maior a resistência, dureza e fragilidade do aço (PFEIL; PFEIL, 2000, p. 1).

As primeiras obras no Brasil utilizando ferro fundido e aço datam do início do século XIX. Porém apenas em 1946 com o início das operações da usina Presidente Vargas da Companhia Siderúrgica Nacional a indústria do aço começou a crescer no País, bem como sua participação na construção civil (BELLEI, 2000, p. 1). Segundo o Instituto Aço Brasil (2012), em 2011 o Brasil possuía vinte e nove siderúrgicas, tornando o Brasil o nono maior produtor de aço do mundo, com 47,8 milhões de toneladas por ano de capacidade de produção instalada.

Para o uso específico em estruturas a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS, 2008c, p. 11) descreve que:

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

As peças de aço estrutural devem ser devidamente conectadas umas as outras por meio de solda, parafusos ou rebites. Segundo Pfeil e Pfeil (2000, p. 51) o rebite é aquecido a altas temperaturas e colocado do furo previamente executado. Após o resfriamento, o rebite aperta

as peças, unindo-as. Estes esforços são muito variáveis, o que dificulta a garantia de um valor mínimo de cálculo. Segundo o mesmo autor, desde a década de 50 do século passado os rebites foram substituídos por ligações aparafusadas ou soldadas. Dias (1997, p. 97) justifica o desuso de ligações rebitadas “[...] em virtude da baixa resistência mecânica, da necessidade de mão de obra especializada, da instalação lenta e da dificuldade de inspeção.”.

Os parafusos são peças formadas por três partes – cabeça, fuste e rosca – e podem ser comuns ou de alta resistência, sendo o último instalado com controle de torque, garantindo assim uma resistência mínima. Este tipo é o mais recomendado para estruturas como as de coberturas. A instalação de parafusos nas peças de aço é feita através de furos. Segundo Pfeil e Pfeil (2000, p. 53) a execução destes furos é onerosa sendo, portanto, muito importante o correto dimensionamento e detalhamento do projeto para evitar retrabalho e conseqüentemente aumentar o custo da estrutura. Estes furos devem ser executados por puncionamento ou com brocas e devem ser executados previamente na fábrica. Bellei (2000, p. 53) cita como grande vantagem deste tipo de ligação a rapidez da execução e uso de mão de obra meramente treinada. O mesmo autor cita como desvantagens deste tipo de ligação a necessidade de verificar áreas líquidas e esmagamento de peças na região de conexão, além de utilizar em obra peças pequenas que podem ser facilmente perdidas.

As conexões por solda são, de acordo com Dias (1997, p. 99), “[...] a união de dois ou mais componentes de uma peça estrutural conservando a continuidade do material e as suas propriedades mecânicas e químicas.”. As soldas devem ser executadas sempre em ambiente industrial, para garantir o controle de qualidade necessário, restringindo assim seu uso em obra. É recomendado que ligações que necessariamente sejam executadas em obra sejam aparafusadas. A maior vantagem deste tipo de conexão é a redução de custo, tanto na ligação, que não necessita de parafusos e furações, como no aço, por permitir o aproveitamento de toda seção reduzindo assim as seções transversais. Pode-se citar também a maior rigidez da ligação como vantagem.

O grande problema associado ao uso de estruturas metálicas deve-se a corrosão. Em aços suscetíveis ao processo de corrosão a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008c) determina que seja executado algum tipo de proteção, que pode ser a galvanização, a pintura ou a combinação dos dois processos. Segundo Dias (1997, p. 149) a galvanização consiste na imersão da peça de aço em um recipiente contendo zinco

fundindo, onde de forma controlada irá ocorrer uma combinação metalúrgica entre o ferro e o zinco, formando uma camada de proteção catódica. A proteção é proporcional à espessura da camada de zinco depositada. A pintura, por sua vez, promove uma proteção por barreira, dificultando a entrada dos agentes que promovem a corrosão – água e oxigênio – e tem sua eficácia ligada à correta limpeza do substrato e correta aplicação das demãos de tinta, sendo sempre recomendada a pintura em ambiente industrial.

6.2 ESTRUTURA DESCONTÍNUA DE AÇO

O uso de estruturas descontínuas de aço em estruturas de telhado está muito ligado a edifícios industriais de um pavimento com uma grande área a ser coberta. Segundo Carnasciali (1974, p. 15) com a estrutura metálica é possível vencer grandes vãos com peso próprio muito menor que, por exemplo, uma estrutura de concreto armado. É de comum acordo entre os autores consultados que em grandes vãos a serem cobertos, a solução de estrutura de aço torna-se mais vantajosa, podendo chegar até vãos superiores a 60m. Bellei (2000, p. 196) inclusive cita que esta é a solução economicamente mais adequada para vãos acima de 25m, porém o custo deve ser objeto de uma análise específica, pois variam temporalmente e sazonalmente, podendo assim ser a melhor solução do ponto de vista econômico hoje e em outro momento não ser mais.

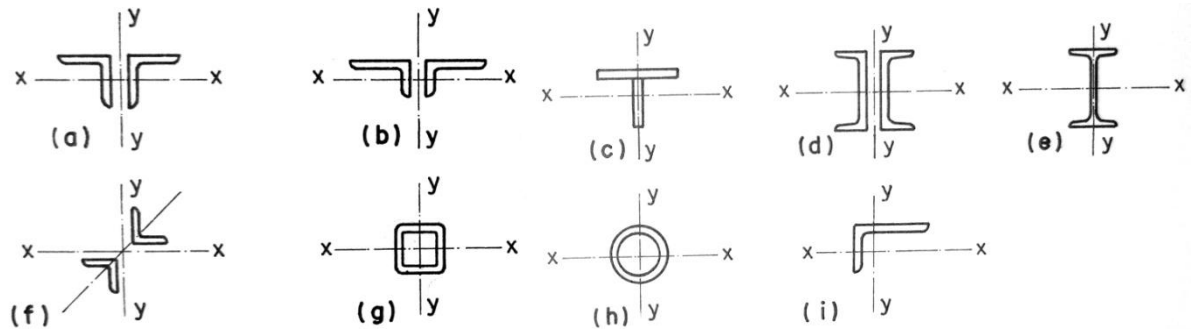
Estas estruturas basicamente seguem o modelo de uma estrutura tradicional de madeira, com tesouras e terças, sendo o uso de caibros e ripas geralmente desnecessário devido ao uso de telhas de grande dimensão. A tesoura pode ser substituída por vigas treliçadas ou até por vigas de alma cheia.

6.2.1 Tesoura

A tesoura deve ser a primeira alternativa a ser considerada em estruturas metálicas para telhados. O seu uso geralmente leva a solução com menor peso próprio. Podem-se utilizar perfis laminados ou soldados ou até perfis de chapa dobrada. Neste último caso, deve-se ter maior cuidado em relação à possível falta de rigidez da peça. Bellei (2000, p. 197) recomenda que não sejam utilizados perfis de chapa dobrada com menos de 3,3mm para os banzos e de 2,6mm para montantes e diagonais, enquanto Pfeil e Pfeil (2000, p. 196) recomenda espessura mínima 6mm nos banzos. As seções de perfis mais utilizadas em treliças metálicas de

cobertura são apresentadas na figura 35. O uso de seções diferentes em cada barra da treliça é recomendado, visando à utilização de barras de menor rigidez onde os esforços são menores e a consequente redução de uso de material e custo. As tesouras geralmente são utilizadas quando os vãos não são superiores a 15m.

Figura 35 – Seções de perfis comumente utilizados em tesouras

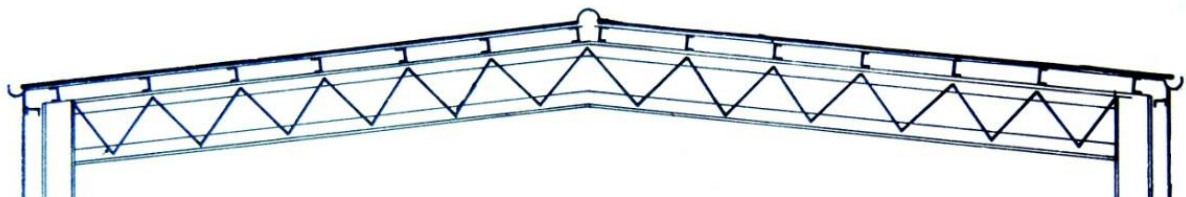


(fonte: BELLEI, 2000, p. 197)

6.2.2 Viga treliçada

A opção por utilizar uma viga treliçada (figura 36) geralmente deve-se a baixa inclinação do telhado – em geral inferior a 15° – ou quando o vão a ser coberto é maior que 15m. Estas vigas diferenciam-se das tesouras principalmente por terem o banzo inferior e superior paralelos. Segundo Bellei (2000, p. 113) as vigas treliçadas podem ser construídas com perfis estruturais ocios fabricados a partir de chapas dobradas a frio, que levam a estruturas mais rígidas que os perfis estruturais laminados a quente, além de diminuir o peso próprio da estrutura, diminuindo assim a carga na edificação e nas fundações.

Figura 36 – Viga treliçada em telhado de baixa inclinação



(fonte: BELLEI, 2000, p. 112)

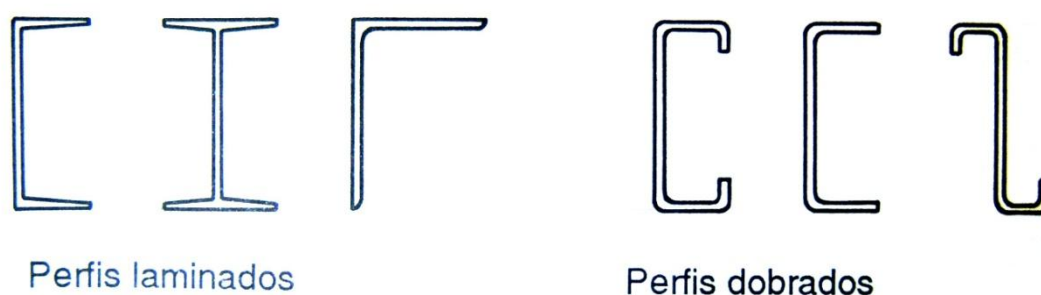
6.2.3 Viga de alma cheia

O uso de vigas de alma cheia substituindo tesouras é utilizado principalmente quando outras partes da estrutura da edificação – com os pilares, por exemplo – também são de perfis de aço, sendo aproveitado assim o mesmo perfil para as vigas da cobertura. Em telhados com grandes vãos a serem cobertos, em geral torna-se necessário adotar perfis de maior seção, podendo inclusive ter inércia variável ao longo da viga. Perfis laminados e soldados são mais utilizados, geralmente utilizando a seção I. É importante resaltar que esta solução exige que a edificação seja dimensionada como um pórtico, incluindo pilares e vigas do telhado.

6.2.4 Terças

As terças em aço são fixas entre tesouras ou vigas e recebem a fixação das telhas. Elas podem ser de perfis de chapas dobradas a frio, de perfis laminados ou até de vigas treliças, dependendo do vão entre apoios. A figura 37 demonstra os perfis mais utilizados como terças, sendo a seção C e C enrijecida a de maior utilização. A cumeeira é formada por duas terças colocadas próximas ao ponto superior e unidas por meio de uma chapa metálica.

Figura 37 – Seções de perfis utilizados como terças



(fonte: BELLEI, 2000, p. 139)

6.2.5 Treliças espaciais

As treliças espaciais são utilizadas principalmente em áreas que não possuem uma orientação preferencial, sendo ambos os lados grandes o suficiente para impedir ou tornar antieconômico ou antiestético utilizar tesouras planas ou vigas. Após a colocação das telhas, forma-se uma cobertura quase plana, tendo apenas a inclinação suficiente para escoar as águas pluviais.

Nestas estruturas perfis vazados fabricados a partir de chapas dobradas a frio são utilizados, formando estruturas rígidas e leves.

6.2.6 Montagem

A montagem de qualquer estrutura metálica exige um projeto de execução e um planejamento adequado. As peças que compõe a estrutura, sempre que possível, devem vir da fábrica prontas para serem montadas, evitando assim procedimentos fora do ambiente industrial que podem comprometer a qualidade final do produto. Um dos cuidados que se deve ter é em relação ao tamanho das peças que terão que ser transportadas até o local da montagem. Peças muito grandes que exijam transporte especial poderão aumentar os custos da obra.

Na obra deverá haver área suficiente para estocagem e movimentação de peças que não serão montadas de imediato. Necessariamente um equipamento para elevação deve estar disponível, podendo ser uma grua ou um guindaste, sendo que este equipamento é a peça chave para a produtividade da montagem da estrutura, que em condições normais é maior que estruturas de madeira e concreto armado. Deve-se observar atentamente a correta ordem de montagem – que deve estar especificada em projeto específico – e execução de estais e contraventamentos provisórios de forma a garantir a estabilidade da estrutura e a segurança dos montadores.

6.3 ESTRUTURA DE *STEEL FRAME*

Segundo definição de Freitas e Crasto (2006, p. 12):

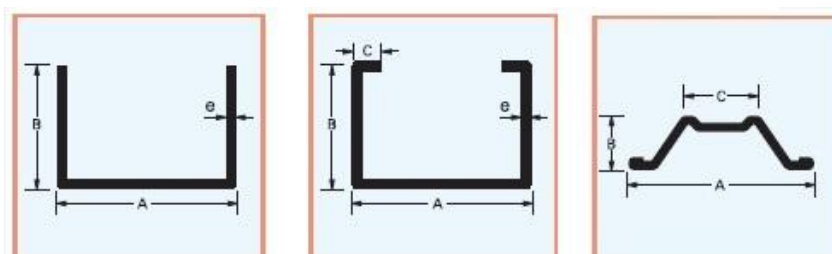
O *Ligth Steel Framing* (LSF), assim conhecido mundialmente, é um sistema construtivo de concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado que são utilizados pra a concepção de painéis estruturais e não estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhado e demais componentes. Por ser um sistema industrializado, possibilita a construção a seco com grande rapidez de execução.

Este sistema tem origem nos Estados Unidos da América (EUA), onde em 1933 foi lançado na Feira Mundial de Chicago o primeiro protótipo de uma residência em *steel frame*. Atualmente em países industrializados como EUA, Japão e a países europeus este sistema é largamente utilizado. No Brasil, as primeiras empresas fornecedoras começaram a se instalar na última década, mas o sistema ainda possui uma grande barreira cultural para se inserir no mercado de uma forma definitiva.

Segundo Terni et. al (2009, p. 77) as coberturas estruturadas com *steel frame* possuem as mesmas características e princípios de uma estrutura convencional de madeira, podendo portanto ser utilizado qualquer tipo de telha, como telhas metálicas, cerâmicas, de fibrocimento, *shingles*, entre outras. Freitas e Crasto (2006, p. 64) reforçam que a estrutura de LSF para telhados tem o mesmo princípio da estrutura tradicional de madeira, sendo assim, o projeto de ambas possui grande similaridade.

Para utilização de telhas *shingles* ou cerâmicas é necessário o uso de um substrato de apoio sobre a estrutura descontínua, normalmente sendo empregado o OSB. No caso de telhas cerâmicas, sobre o substrato devem ainda ser colocados perfis tipo omega (figura 38) paralelos aos caibros e sobre estes, colocadas as ripas, também em perfil omega, para assentamento das telhas. Isto tem a finalidade de ventilar a parte inferior das telhas e evitar possível acumulo de água em caso de quebra delas. As telhas *shingles* podem ser fixadas diretamente sobre os painéis (FREITAS; CRASTO, 2006, p. 68). Telhas metálicas e de fibrocimento, necessitam apenas de terças com perfil tipo omega sobre a estrutura principal para fixação das telhas.

Figura 38 – Perfis U, Ue e omega



(fonte: STEEL HOUSE DO BRASIL, 2011, p. 7)

Uma grande vantagem da estrutura de LSF é sua leveza e versatilidade no projeto. Além disto, ela pode ser utilizada em edificações de qualquer sistema construtivo e não necessariamente apenas em edificações onde a estrutura portante também é de LSF. A Steel House do Brasil (2012) também cita que o custo da estrutura pode custar até 20% menos que uma estrutura de madeira. Porém, deve-se salientar que os custos variam sazonalmente, temporalmente e também devido a características arquitetônicas, devendo assim ser sempre objeto de análise mais detalhada.

Os perfis utilizados são perfis U, Ue (tesouras ou caibros) e omega (ripas ou terças), normatizados pela NBR 15253 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,

2005). A fixação destes perfis pode ser executada com parafusos autoperfurantes ou com chapas metálicas. A Steel House do Brasil (2011) descreve os perfis utilizados na estrutura do telhado do seu sistema:

- a) perfil Ue (figura 38) com alma de 40mm, 60mm, 90mm ou 100mm dependendo da peça, todas com espessura de 0,95mm;
- b) perfil omega (figura 38) com largura maior de 85mm ou 40mm e com espessura de 0,5mm ou 0,95mm, respectivamente.

Basicamente as estruturas para telhados de LSF se dividem, por sua concepção estrutural, em estruturas com caibros e estruturas com tesouras.

6.3.1 Estrutura com caibros

Um telhado estruturado em caibros (figura 39) é empregado em construções onde os perfis de aço galvanizado são cortados, montados e fixados uns aos outros no canteiro de obras. Este método construtivo não utiliza pré-fabricação, perdendo assim algumas vantagens do sistema de LSF, como a redução do prazo de execução na obra. Em compensação a redução de aço na estrutura do telhado torna este método construtivo mais competitivo em relação a custo.

Figura 39 – Telhado de *steel frame* com caibros



(fonte: CONSTRUTORA SEQUÊNCIA, 2012)

Os caibros são apoiados em uma extremidade na estrutura da edificação e na outra extremidade na cumeeira, formando assim a inclinação do telhado. A cumeeira pode ser um painel contínuo, uma viga composta por painéis U e Ue ou até vigas ou paredes de outros materiais, como concreto e alvenaria (FREITAS; CRASTO, 2006, p. 66). Para viabilizar este tipo de solução os apoios não devem ter grande espaçamento entre si. Esta solução se assemelha a descrita no item 4.2.2.4, porém utilizando outro material portante.

Os caibros devem ser devidamente contraventados, visando aumentar a rigidez da estrutura e estabilizar as peças individualmente. Para execução deste contraventamento podem ser utilizados perfis U, Ue ou fitas de aço galvanizado fixados perpendicularmente aos caibros na mesa superior ou inferior destes. No caso de uso de telhas *shingles* ou cerâmicas que necessitam de um substrato contínuo de apoio, os painéis já são responsáveis pelo contraventamento dos caibros.

6.3.2 Estrutura com tesoura

As tesouras de LSF (figura 40) podem ser montadas no canteiro de obras ou serem pré-fabricadas. A pré-fabricação, porém, apresenta grandes vantagens, pois tende a ter maior precisão dimensional e reduz o tempo de execução no canteiro de obras (FREITAS; CRASTO, 2006, p. 70). Segundo a Steel House do Brasil (2011) uma das principais vantagens da tesoura pré-fabricada de LSF é a sua grande leveza sendo possível a montagem manual das tesouras, sem a necessidade de equipamentos para elevação das peças. São comumente utilizadas em edificações residenciais, mas podem também serem utilizadas em pequenos galpões.

Os perfis utilizados na tesoura são perfis U e Ue. As ligações entre as barras da tesoura podem ser executadas aparafusando-as em uma chapa *Gusset* (figura 41), que permitem que os eixos dos perfis coincidam no mesmo nó ou unindo diagonais e montantes aos banzos aparafusando-os pelas almas (TERNI et al., 2009, p. 79).

Dá mesma forma que os caibros as tesouras devem ser contraventadas para garantir a estabilidade da estrutura. Podem ser executados três tipos de contraventamento (FREITAS; CRASTO, 2006, p. 74):

- a) contraventamento lateral: perfis U e Ue fixados perpendicularmente as tesouras no banzo inferior ou superior;
- b) contraventamento vertical: perfis Ue cruzados dispostos perpendicularmente as tesouras, ficando no formato de vários xis, travando a estrutura, impedindo sua rotação;
- c) por painéis: quando o uso de telhas cerâmicas ou *shingles*, o próprio substrato contínuo é utilizado como contraventamento.

Figura 40 – Telhado de steel frame com tesouras



(fonte: SISTEMA STEEL HOUSE, 2012)

Figura 41 – Ligações de perfis com chapas *Gusset*



(fonte: TERNI et al., 2009, p. 79)

A ligação das tesouras à estrutura da edificação deve ser feita de modo a resistir os esforços de tração provocados pelo vento. No caso de edificações de LSF, as tesouras devem ser fixas aos montantes dos painéis estruturais da edificação. No caso de estruturas convencionais, as recomendações do item 4.2.1.3 devem ser seguidas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as soluções apresentadas neste trabalho pode-se observar que cada uma delas têm suas aplicações e características específicas dentro do contexto da indústria da construção civil. No entanto três itens podem ser tratados como tendência comum:

- a) o uso preponderante de estruturas descontínuas;
- b) a pré-fabricação de componentes;
- c) a utilização do apelo ecológico comercialmente.

De forma genérica, as estruturas descontínuas levam vantagem sobre as estruturas contínuas independente do material pelo menor peso, menor consumo de material, menor custo e maior facilidade de execução. Isto deve ser sempre analisado juntamente com o projeto arquitetônico e especificação dos revestimentos sobre e sob a estrutura do telhado que podem alterar estas afirmações. Recomenda-se o uso de estruturas contínuas somente quando há necessidade um substrato com este formato, como no caso de uso de telhas *shingle*.

O uso de pré-fabricação ou pré-moldagem de estruturas de telhados é uma tendência clara. Produtos inovadores usam este artifício de forma quase que obrigatória. Isto tende a antecipar os problemas para a fase de projeto, tornando a qualidade do produto final maior, além de diminuir prazos de execução em obra. Esta tendência de pré-fabricar componentes remete a uma tendência de todo setor da construção civil de não buscar bons materiais e bons executores de uma maneira separada, mas sim buscar soluções prontas, que levem ao produto final acabado e não seja apenas uma etapa construtiva que demande novas intervenções para se atingir o nível de um produto pronto.

O apelo ecológico é talvez, das características identificadas, a mais curiosa. Todas as empresas procuradas para este trabalho, inclusive as que não disponibilizaram informações técnicas completas e portanto não foram citadas, possuíam nas suas chamadas comerciais algum item referenciando a sustentabilidade do sistema que estava sendo vendido. São importantes e bem-vindas ações que visem minimizar os impactos causados pela construção civil no meio ambiente. Porém sempre deve ser observado se as informações dadas pelos fabricantes correspondem a realidade. A simples substituição da madeira por outro material não significa que o processo é sustentável. Estruturas de concreto armado tem na sua composição o cimento, que na sua fabricação emite toneladas de gases causadores do efeito

estufa na atmosfera, além de agregados, que se não possuírem origem em pedreiras e jazidas que cumprem a Legislação Ambiental, podem causar impactos irreversíveis ao meio ambiente, tão grande ou maior que o corte de florestas. Ressalta-se a necessidade de buscar informações fidedignas sobre a origem e processo de produção dos materiais utilizados. Outro fator importante para a sustentabilidade do sistema é a sua vida útil e a necessidades de manutenções, que devem ser sempre observadas.

No quadro 1, compilam-se as principais aplicações, vantagens e desvantagem das soluções para estrutura de telhado apresentadas.

Recomenda-se analisar como primeira alternativa para a estrutura do telhado o uso de sistemas construtivos já conhecidos pela mão de obra disponível e pela empresa. Por exemplo, em edifícios de paredes portantes pré-moldadas de concreto armado, pode-se utilizar a mesma linha de fabricação e montagem das paredes para a fabricação e montagem de uma estrutura pré-moldada de concreto armado para o telhado. Por outro lado, pode-se utilizar o carpinteiro que faz as formas das peças pré-moldadas para execução de uma estrutura de madeira serrada para o telhado, desde que o carpinteiro seja qualificado para isto. Outro exemplo são edifícios estruturados em aço, onde é conveniente o uso do aço também na estrutura do telhado, aproveitando assim a mão de obra e os equipamentos já instalados. Ressalta-se que esta não é uma solução definitiva, mas uma tentativa inicial que deve servir de parâmetro para comparação com as demais.

Outra recomendação é que seja avaliada a possibilidade de utilizar mais de um material em toda estrutura. É comum a utilização de um material na tesoura e outro na trama da estrutura, sendo o exemplo mais usual tesouras de concreto pré-moldado e terça de perfis de chapas dobradas de aço ou madeira.

Quadro 2 – Aplicações, vantagens e desvantagens de estruturas para telhados

TIPO DE ESTRUTURA	APLICAÇÕES RECOMENDADAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Estrutura tradicional de madeira serrada	Edificações residenciais e comerciais com pequenos vãos.	<ul style="list-style-type: none"> - Leveza das peças, sendo possível a montagem manual da estrutura. - Flexibilidade de adequações do projeto na obra. - Maior conhecimento popular, facilitando a aceitação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de mão de obra qualificada, cada vez mais rara no mercado. - Produto final muito dependente da habilidade do executor. - Inexistência de projeto. - Material suscetível a ataque de fungos e cupins.
Estrutura pontaletada com madeira serrada	Edificações residenciais e comerciais com laje superior horizontal.	<ul style="list-style-type: none"> - Leveza das peças, sendo possível a montagem manual da estrutura. - Flexibilidade de adequações do projeto na obra. - Maior conhecimento popular, facilitando a aceitação. - Redução do uso de madeira, comparando com a estrutura tradicional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de mão de obra especializada, cada vez mais rara no mercado. - Produto final muito dependente da habilidade do executor. - Inexistência de projeto. - Material suscetível a ataque de fungos e cupins. - Necessidade de laje horizontal de apoio.
Estrutura de madeira serrada pré-fabricada por empresa especializada	Edificações residenciais, comerciais e industriais com pequenos ou grandes vãos.	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de projeto prévio de peças e ligações por Engenheiros especializados. - Rapidez da montagem na obra. - Uso de madeira de reflorestamento e tratada contra ataque de fungos e cupins. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de execução correta dos apoios, com dimensões exatas conforme projeto. - Flexibilidade de adequações em obra muito restrita. - Necessidade de uso de equipamentos de elevação, em peças de maior peso. - Tendência de maior custo, comparando com a estrutura tradicional. - Necessidade de área maior para estoque de peças.

continua

continuação

TIPO DE ESTRUTURA	APLICAÇÕES RECOMENDADAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Estrutura de madeira laminada colada	Edificações comerciais e industriais com pequenos ou grandes vãos.	<ul style="list-style-type: none"> - Produto industrial, com projeto prévio e tendência de maior qualidade. - Versatilidade de projetos e dimensões. - Maior resistência a fogo. - Possibilidade de deixar estrutura visível em qualquer ambiente devido a sua beleza incorporada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de execução correta de apoios, com dimensões exatas conforme projeto. - Flexibilidade de adequações em obra muito restrita. - Necessidade de uso de equipamentos de elevação, em peças de maior peso. - Maior custo, comparando com a estrutura tradicional. - Necessidade de área maior para estoque de peças.
Estrutura contínua de concreto armado pré-moldado – folhas poliédricas	Edificações industriais de grandes vãos.	<ul style="list-style-type: none"> - Produto industrial, com projeto prévio e tendência de maior qualidade. - Utilização de material mais resistente a ataques físicos, químicos e biológicos, comparando com os demais materiais analisados. - Rapidez na execução. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado peso próprio. - Necessidade de uso de equipamentos de elevação. - Necessidade de área maior para estoque de peças. - Dificuldade de transporte de grandes peças, dentro e fora do canteiro de obras. - Possibilidade de corrosão da armadura, se execução não for adequada.
Estrutura descontínua de concreto armado pré-moldado	Edificações residenciais, comerciais e industriais com pequenos ou grandes vãos.	<ul style="list-style-type: none"> - Produto industrial, com projeto prévio e tendência de maior qualidade. - Utilização de material mais resistente a ataques físicos, químicos e biológicos, comparando com os demais materiais analisados. - Rapidez na execução. - Maior disponibilidade de fornecedores nas grandes cidades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior peso próprio que soluções descontínuas utilizando madeira ou aço. - Necessidade de uso de equipamentos de elevação. - Necessidade de área maior para estoque de peças. - Dificuldade de transporte de grandes peças, dentro e fora do canteiro de obras. - Possibilidade de corrosão da armadura.

continua

continuação

TIPO DE ESTRUTURA	APLICAÇÕES RECOMENDADAS	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Estrutura contínua de concreto armado moldado no local	Edificações residenciais com pequenos vãos	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade de uso do sótão sem necessidade de uso de forro sob a estrutura. - Elaboração de projeto prévio. - Utilização de material mais resistente a ataques físicos, químicos e biológicos, comparando com os demais materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado peso próprio. - Maior custo em relação à estrutura descontínua. - Dificuldade de execução em um plano inclinado, expondo os executores a maiores riscos de queda. - Possibilidade de corrosão da armadura.
Estrutura descontínua de concreto armado moldado no local	Partes de uma estrutura descontínua em edificações residenciais e comerciais com pequenos vãos	<ul style="list-style-type: none"> - Substituição de peças de madeira de grande seção comercial e com elevado custo, por peças de concreto armado com menor custo. - Elaboração de projeto prévio. - Utilização de material mais resistente a ataques físicos, químicos e biológicos, comparando com os demais materiais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Restrição ao uso em peças como terças e pontaletes. - Possibilidade de corrosão da armadura.
Estrutura de aço descontínua	Edificações residenciais, comerciais e industriais com pequenos e grandes vãos.	<ul style="list-style-type: none"> - Estrutura com peso próprio baixo. - Grande disponibilidade de fornecedores. - Alcança grandes vãos com pequenas seções transversais. - Elaboração de projeto prévio. - Rapidez na execução. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de uso de equipamentos de elevação para grandes peças. - Maior risco de ataque à corrosão, sendo necessários tratamentos específicos. - Maior custo em relação a estrutura de madeira e de concreto
Estrutura de <i>steel frame</i>	Edificações residenciais e comerciais com pequenos vãos	<ul style="list-style-type: none"> - Estrutura com peso próprio baixo. - Elaboração de projeto prévio. - Rapidez na execução. - Material resistente a fungos e insetos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema construtivo pouco conhecido, podendo ser rejeitado por leigos e profissionais. - Maior risco de ataque à corrosão, sendo necessários tratamentos específicos. - Tendência de maior custo, comparando com estrutura de madeira. - Poucos fornecedores no mercado.

(fonte: elaborado pelo autor, 2012)

REFERÊNCIAS

APS – TECNOLOGIA, PROJETOS E CONSULTORIA – Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rafaelsf10@hotmail.com> em 20 de abr. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual técnico de pré-fabricados de concreto**. São Paulo: Projeto, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas particularidades**.

Curitiba, 2003. Artigo Técnico 1. Disponível em:

<http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=8&Itemid=37> Acesso em: 05 maio 2012.

_____. **Produtos de madeira**. Curitiba, 2004a. Artigo Técnico 15. Disponível em:

<http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=21&Itemid=37> Acesso em: 05 maio 2012.

_____. **Aplicação da madeira na construção civil**. Curitiba, 2004b. Artigo Técnico 24.

Disponível em:

<http://www.abimci.com.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=166&Itemid=37> Acesso em: 05 maio 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8039**: projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesas. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 13858-1**: telhas de concreto – parte 1: projeto e execução de telhados. Rio de Janeiro, 1997a.

_____. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997b.

_____. **NBR 14807**: peças de madeira serrada – dimensões. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 15575-1**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2008a.

_____. **NBR 15575-5**: edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho – parte 5: requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2008b.

_____. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008c.

AZEREDO, H. A. de. **O edifício até a sua cobertura**. 2. ed. revista. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço**: projeto e cálculo. 3. ed. São Paulo: Pini, 2000.

BORGES, A. de C. **Prática das pequenas construções**. Revisão José Simão Neto e Walter Costa Filho. 9. ed. revista e ampliada. São Paulo: Blücher, 2009, v. 1.

CARDÃO, C. **Técnica da construção**. 5. ed. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1981. v. 2.

CARDOSO, F. F.; OLIVEIRA, L. A. de; MARTINS, M. G. **Coberturas em telhados**. São Paulo, 2000. Notas de aula da disciplina Tecnologia da Construção de Edifícios II. Disponível em:

<<http://pcc2436.pcc.usp.br/Textost%C3%A9cnicos/coberturas/ApostilaCoberturaPCC436Ano2000.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2011.

CARNASCIALI, C. C. **Estruturas metálicas na prática**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1974.

CENTRO TECNOLÓGICO DA CERÂMICA E DO VIDRO (Coord.). **Manual de aplicação de telhas cerâmicas**. Coimbra: Associação Portuguesa dos Industriais da Cerâmica de Construção, 1998.

CONSTRUTORA SEQUÊNCIA. **Condomínio Residencial Illê**: Moema. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.construtorasequencia.com.br/telhados_moema.asp>. Acesso em: 27 maio 2012.

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

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 1. ed. São Carlos: EESC-USP, 2000.

FIORELLI, J. **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibra de vidro**. 2005. 108f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. de. **Steel framing**: arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

GONZAGA, A. L. **Madeira**: uso e conservação. Brasília, DF: IPHAN/MONUMENTA, 2006. Caderno Técnico 6.

GUERRA, J.; MAGALHÃES, B.; GOMES, M.; FONSECA, R. **Materiais de construção II**: coberturas. Porto: Universidade Fernando Pessoa, 2010. Disponível em: <<http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Construcoes/Coberturas.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2011.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Números de mercado**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/numeros--mercado.asp>>. Acesso em: 26 maio 2012.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Divisão de edificações. **Cobertura com estrutura de madeira e telhados com telhas cerâmicas**: manual de execução. São Paulo: IPT; Sinduscon-SP, 1988.

_____. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. São Paulo: IPT; Secretaria do Verde e do Meio Ambiente do Município de São Paulo; Sinduscon-SP, 2003.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto**: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. v. 1.

LP BRASIL. **O melhor painel estrutural do mundo**. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-osb-home-plus-estrutural.html>> Acesso em: 07 maio 2012.

MELO, C. E. E. (Org.). **Manual Munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2004.

METALICA. **Telhas shingles**: telhas asfálticas para revestimento de telhados. 2009. Disponível em: <<http://metalica.com.br/telhas-shingles-telhas-asfalticas>> Acesso em: 07 maio 2012.

MITIDIERI FILHO, C. V.; HACHICH, V. F. Telhados: como construir. **Téchne**: a revista do engenheiro civil, São Paulo, ano 2, n. 9, p. 49-53, mar./abr. 1994.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. Revisão de Reyolando Manoel L. R. da Fonseca Brasil. 4. ed. rev. São Paulo: Blücher, 2010.

PFEIL, W; PFEIL, M. S. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático. 7. ed. atualizada. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

PIRES, F. Estruturas de betão para coberturas de edifícios utilizadas em Portugal. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE TELHADOS PARA HABITAÇÃO, 3., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1998. p. 73-78.

REIS, F. S. B. dos; SOUZA, U. E. L. de. **Coberturas com telhados**: definições, características gerais e visão analítica. São Paulo: EPUSP, 2007. Boletim Técnico PCC 456.

ROCHA, A. P. Por uma membrana. **Téchne**: a revista do Engenheiro Civil, São Paulo, ano 18, n. 169, p. 46-57, abr. 2011.

RODRIGUES, E. **Técnicas das Construções**: cobertura. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmundocap/EDtulo6c-Coberturas.pdf>> Acesso em: 10 out. 2011.

ROLIM JR., J. C. Como construir: cobertura com telhas asfálticas. **Téchne**: a revista do Engenheiro Civil, São Paulo, ano 12, n. 106, jan. 2005.

STEEL HOUSE DO BRASIL. **Manual de projeto**: sistema steel house. Porto Alegre, 2011.

STEEL HOUSE DO BRASIL. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rafaelsf10@hotmail.com> em 27 maio 2012.

SUDOESTE PAULISTA MADEIRAS. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rafaelsf10@hotmail.com> em 04 maio 2012.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, A. do, MORAES, P. D. de. **Estruturas de madeira**. Florianópolis: UFSC, 2008. Versão 2. Disponível em: <<http://www.giem.ufsc.br/upload/20090317173248.pdf>>

TECMAMADEIRA. **A Tecma**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.tecmamadeira.com.br/a-tecma>> Acesso em: 05 maio 2012.

TELES, R. F. **Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com louro vermelho (*sextonia rubra*)**. 2009. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

TERNI, A. W.; SANTIAGO, A. K.; PIANHERI, J. Steel Frame – cobertura: última parte. **Téchne**: a revista do engenheiro civil, São Paulo, ano. 17, n. 144, p. 77-80, março 2009.

VITTORINO, F.; AKUTSU, M. **Avaliação do conforto térmico e lumínico em conjuntos habitacionais**. São Paulo: Piniweb, maio 2000. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/avaliacao-do-conforto-termico-e-luminico-em-conjuntos-habitacionais-85118-1.asp>>. Acesso em: 20 out. 2011.