

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ARQUITETURA

LARA BORGES GOMES ROMEU

BAMBU FRAMING:

PROPOSTA DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO NÃO CONVENCIONAL

Belo Horizonte

2016

LARA BORGES GOMES ROMEU

**BAMBU FRAMING:
PROPOSTA DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO NÃO CONVENCIONAL**

Monografia apresentada ao programa de Especialização do Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, no curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído da Escola de Arquitetura, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do certificado de Especialista em Bambu Framing: Proposta de um sistema construtivo não convencional.

Orientador: Cynara Fiedler Bremer

Coorientador: Paulo Gustavo Von Kruger

Belo Horizonte

2016

Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Arquitetura – Programa de Especialização do
Departamento de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído, intitulado Bambu Framing: Proposta de um sistema construtivo não convencional, de autoria de Lara Borges Gomes Romeu, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dra. Cynara Fiedler Bremer
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Paulo Gustavo Von Kruger
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Mônica Smits
Instituto Metodista Izabela Hendrix

Data de aprovação: Belo Horizonte, 05 de dezembro de 2016

RESUMO

O presente trabalho foi motivado pela necessidade atual de redução dos impactos ambientais oriundos do setor da construção civil, um dos grandes responsáveis pelo consumo de recursos naturais, geração de resíduos sólidos e emissão de gases poluentes no planeta. A substituição dos métodos construtivos tradicionais por modelos construtivos industrializados apresenta-se como alternativa promissora, uma vez que os processos são otimizados e o desperdício é atenuado. O Bambu tem se destacado na construção civil em relação a outras matérias-primas, pois dentre suas inúmeras vantagens, incluindo o fato de ser renovável, destaca-se a sua característica de crescimento acelerado, permitindo o seu uso para fins estruturais a partir de 3 anos de idade. Deste modo, este trabalho propôs um sistema construtivo sustentável, baseado nos modelos *framing* de construção industrializada, por meio da pré-fabricação de perfis estruturais em bambu laminado colado da espécie *Dendrocalamus Giganteus*. Realizou-se extensa revisão bibliográfica sobre os temas centrais da proposta, incluindo o funcionamento dos sistemas *framing* de construção existentes e sobre o bambu, suas propriedades físicas e mecânicas. A apresentação de um sistema construtivo que além de ecologicamente correto seja de qualidade, capaz de produzir uma edificação segura em caráter estrutural, foi o maior foco da pesquisa. Através da análise de testes estruturais em perfis de bambu laminado colado da espécie *D. Giganteus* encontrados na literatura, pode-se constatar a sua viabilidade em uso estrutural. O objetivo do trabalho não é a definição aprofundada e nem o dimensionamento dos perfis de bambu laminado colado do sistema construtivo proposto, mas sim demonstrar através dos resultados encontrados a possibilidade de uso estrutural deste material. Ainda existe um longo caminho pela frente, sendo necessário a existência de norma específica para o uso estrutural do bambu e a ampliação de estudos sobre esse tema a fim de tornar essa tecnologia cada vez mais acessível e possibilitando a materialização da proposta deste trabalho.

Palavras-chave: Bambu-frame. Bambu. BLC. Sistema Industrializado. Construção Sustentável.

ABSTRACT

There is an increasing need for reduction of environment impacts caused by construction work, which are a great source of natural resources consumption, solid waste and polluting gases. The substitution of traditional “handmade” construction methods by industrialized construction methods presents as a promising alternative solution, once the processes are optimized and waste is reduced. Bamboo has excelled in civil construction because of its great renewal potential and rapid growth, which allows its use for building purposes with only 3 years of age, among other advantages. Therefore, the present work proposes a sustainable construction system based in framing models of industrialized construction, by means of pre-manufactured structural glued laminated bamboo frames using the bamboo species *Dendrocalamus Giganteus*. A thorough review of the scientific literature about the central themes debated by this work was done, including the functioning of frame based construction systems and its mechanical and physical properties. The main objective of the present work is the presentation of a constructive system that besides being ecologically correct also has high quality standards and is able to generate a structurally safe building. Through the analysis of structural tests available in the scientific literature with glued laminated bamboo frames using *D. giganteus* species, its structural application feasibility could be appreciated. It is concluded that the application of glued laminated bamboo frames as a structural unit in civil construction is feasible, but technical regulatory standards are necessary, and more effort needs to be done to make it accessible and spread its application.

Keywords: Bamboo frame, bamboo, glued laminated bamboo, industrialized building systems, sustainable buildings

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURASiii

LISTA DE TABELASv

1. INTRODUÇÃO1

1.1. Justificativa4

2. OBJETIVO5

3. METODOLOGIA6

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Sustentabilidade do Espaço Construído

 4.1.1. Sustentabilidade: Conceitos e Definições7

 4.1.2. Impactos Ambientais da Construção Civil8

 4.1.3. Princípios de uma Construção Sustentável10

4.2. Construção Industrializada

 4.2.1. O que caracteriza a Construção Industrializada e sua relação com a
 Sustentabilidade13

 4.2.2. Light Steel Framing15

 4.2.2.1. Perfis usados no LSF17

 4.2.2.2. Fundações18

 4.2.2.3. Painéis de Paredes19

 4.2.2.4. Lajes / Pisos 22

 4.2.2.5. Coberturas25

 4.2.2.6. Outras considerações sobre o LSF25

4.2.3. Light Wood Framing	25
4.2.3.1. Fundações	27
4.2.3.2. Painéis de Paredes	28
4.2.3.3. Lajes / Pisos	31
4.2.3.4. Coberturas	32
4.2.3.5. A Madeira para uso no LWF	33
4.2.3.6. Outras considerações sobre o LWF	35
4.3. O Bambu	
4.3.1. A Escolha do Bambu	35
4.3.2. Taxonomia, Distribuição geográfica	37
4.3.3. Características biológicas e morfológicas do Bambu	38
4.3.3.1. Colmo	38
4.3.3.2. Rizomas e Raízes	40
4.3.4. Cultivo do Bambu	43
4.3.5. Colheita dos colmos	45
4.3.6. Tratamento preservativo dos colmos	46
4.3.7. Características físicas e mecânicas do Bambu	49
4.3.8. O Bambu do Brasil	52
4.3.9. O Bambu na Construção Civil	53
5. APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA: SISTEMA CONSTRUTIVO COM BAMBU	
5.1. Considerações iniciais sobre o Sistema Construtivo	57
5.1.1. A Espécie escolhida Dendrocalamus Giganteus	57
5.1.2. Bambu Laminado Colado	60
5.2. Sistema construtivo proposto: Bambu Framing	63
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

LISTA DE FIGURA

Figura 1:	Sistema Industrializado Fechado	14
Figura 2:	Sistema Industrializado Aberto	14
Figura 3:	Desenho esquemático de uma residência em Light Steel Framing	16
Figura 4:	Seções usuais de perfis LSF	17
Figura 5:	Detalhe Esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma laje radier.....	18
Figura 6:	Detalhe Esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma sapata corrida...	18
Figura 7:	Painel estrutural com abertura	20
Figura 8:	Painel não-estrutural com abertura	21
Figura 9:	Estrutura piso LSF e encontro perfis viga com montantes parede	22
Figura 10:	Planta de estrutura de piso em LSF	23
Figura 11:	Desenho esquemático laje úmida	24
Figura 12:	Desenho esquemático laje seca	24
Figura 13:	Travamento entre painéis de madeira	28
Figura 14:	Pregos tipo ardox que dificulta arrancamento	28
Figura 15:	Orientação partículas de madeira em chapas OSB	29
Figura 16:	Camadas parede em Wood Frame	30
Figura 17:	Distribuição geográfica dos bambus lenhosos no mundo	38
Figura 18:	Seção de um colmo de Bambu e suas denominações	39
Figura 19:	Anatomia do Bambu	40
Figura 20:	Rizomas do tipo leptomorfos, monopodiais ou alastrantes	41

Figura 21:	Rizoma do tipo paquimorfos, simpodiais ou entouceirantes42
Figura 22:	Bambusa Vulgares42
Figura 23:	Dendrocalamus Giganteus42
Figura 24:	Relação entre a resistência e a dureza, em relação à massa específica aparente, para bambu e outros materiais51
Figura 25:	Modo de produção de laminas de bambu61
Figura 26:	Detalhe extração das ripas de bambu do colmo61
Figura 27:	Detalhe distribuição das emendas longitudinalmente à viga62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Relação entre a energia de produção por unidade de tensão	55
Tabela 2:	Distribuição dos elementos anatômicos ao longo do colmo da espécie Dendrocalamus Giganteus	58
Tabela 3:	Teores de amido e frações fibrosas e residual da espécie Dendrocalamus Giganteus	58
Tabela 4:	Propriedades físicas do bambu	59
Tabela 5:	Propriedades mecânicas do bambu Dendrocalamus Giganteus	60
Tabela 6:	Resistência a flexão do Dendrocalamus Giganteus	60
Tabela 7:	Características mecânicas do Bambu Laminado Colado	67
Tabela 8:	Tração normal e cisalhamento na linha de colagem do BLC	67
Tabela 9:	Resistência mecânica do BLC	67
Tabela 10:	Valores de propriedades físicas e mecânicas (em MPa) de bambu laminado colado e algumas espécies referenciais de madeira	68

1. INTRODUÇÃO

Depois de muito explorar o planeta e suas riquezas, o homem começa a perceber que o progresso é limitado pelos recursos finitos e que o meio responde a todas as agressões sofridas. O surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável veio justamente para forçar o mundo a pensar em maneiras de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações (WIKIPÉDIA, 2016).

A área da construção civil, por ser uma das maiores causadoras de impactos ambientais atualmente, desperta a necessidade de se pensar em novos modelos construtivos que gerem menos resíduos, propiciem menos tempo de obra, que repensem o uso de matérias, a fim de tornar esta atividade mais econômica e menos agressiva ao meio. Os elementos construtivos mais usuais e utilizados em larga escala como o concreto o aço e a madeira, sofrem um processo de extração com o qual o gasto energético é muito alto ou a degradação do meio ambiente para sua obtenção é muito elevada, o que reforça a importância do desenvolvimento de novas alternativas. (MARÇAL, 2008.)

Os Sistemas *Framing* de construção, já muito difundidos em países de primeiro mundo, são considerados um sistema construtivo sustentável por reunir uma série de vantagens que minimizam impactos ambientais que toda obra costuma gerar. Segundo o site Wikipédia, a palavra “*framing*” vem da língua inglesa e é usada para definir um sistema construtivo composto pela ligação de elementos individuais de um determinado material, que passando estes a funcionar como um conjunto, compõem um “esqueleto estrutural” capaz de resistir às cargas da edificação e dando forma a esta. Ainda de acordo com o site Wikipédia, o termo se refere justamente aos processos de interligação entre os elementos estruturais, sejam em madeira, ferro ou aço galvanizado (WIKIPÉDIA, 2016).

Os dois materiais adotados atualmente são o Aço e a Madeira, compondo os sistemas Steel Light Frame e Wood Frame, respectivamente. Trata-se de um modelo de construção onde todos os elementos construtivos, desde as peças do esqueleto estrutural até as peças de vedação e telhado, chegam prontas à obra, propiciando desta forma uma maior racionalização de materiais e mão de obra, redução no tempo de execução da construção e conseqüente redução na geração de resíduos consumos de maneira geral e custos (NETO, 2015).

A procura por uma arquitetura sustentável inclui não somente o uso de sistemas construtivos ecológicos, mas também da utilização de materiais ecologicamente corretos. Sabendo que os

materiais usuais na construção civil demandam muita energia na sua produção ou causam grandes impactos e degradação à natureza no seu processo de extração, o bambu apresenta-se como uma boa alternativa por se tratar de um material durável, resistente, bonito e de grande potencial de regeneração ambiental e rendimento produtivo, principalmente aqui no Brasil que tem o clima adequado para seu cultivo e é possuidor da maior diversidade e o mais alto índice de florestas endêmicas de bambu em toda a América Latina (JUDZIEWICZ, 1999 apud MANHÃES, 2008).

No entanto, enquanto que na China o bambu é considerado ouro verde e é muito utilizado na construção civil da mesma forma que em outros países asiáticos como o Japão e outros países da América do Sul como Colômbia e Equador, no Brasil existe pouca tradição de uso do bambu, sendo conhecido aqui como a madeira dos pobres (CAMPELLO, 2006). Mas conhecendo o potencial construtivo da planta e sua adaptação ao país, a busca por técnicas construtivas com bambu que se baseiem na pré-fabricação de elementos, como no sistema *framing*, torna o seu uso mais adequado e competitivo no mercado construtivo brasileiro.

Diante disso e buscando cumprir o papel de pesquisador, desenvolveu-se o presente trabalho baseado na proposta de um sistema de construção não convencional com o uso do bambu, que venha competir com as técnicas convencionais de estrutura, na intenção de ajudar o Brasil a crescer em diferentes pontos como economia, rapidez e versatilidade durante as construções.

No primeiro capítulo é feita uma introdução do assunto abordado no trabalho com a justificativa da escolha do tema, o que motivou esse estudo, sinalizando os benefícios que se busca alcançar como consequência desse estudo.

No segundo capítulo são explicados os objetivos do estudo desenvolvido que deseja analisar a viabilidade de uso do bambu estruturalmente em um modelo construtivo industrializado e baseado nos modelos *framing* já existentes.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia adotada, que busca a análise das características físicas e mecânicas do bambu na forma de bambu laminado colado para utilização estrutural em um sistema construtivo novo *bambu framing*, fazendo a sua comparação com os sistemas *framing* já existentes e vastamente utilizados.

No quarto capítulo é abordado o referencial teórico, trazendo os estudos relevantes sobre o assunto, subdividindo-se em três itens principais que servirão de embasamento para a proposta principal da pesquisa:

- O primeiro item trata da conceituação da sustentabilidade aplicados no ambiente construído, na tentativa de demonstrar que o desenvolvimento sustentável só é obtido se o tripé ambiente-economia-sociedade for considerado de maneira integrada, ou seja, a evolução da economia deve atender as expectativas da sociedade, associada ao ambiente sadio para esta e futuras gerações (AGOPYAN e JOHN, 2011).
- O segundo item, introduz-se o tema construção industrializada, apresentando porque esse modo de construir pode ser considerado mais sustentável, uma vez que propor um projeto de arquitetura voltada para o meio ambiente deve considerar todo o ciclo de vida da edificação, incluindo desde a fase de obra, seu uso, manutenção até sua reciclagem ou demolição. Além disso, preocupações com técnicas construtivas mais limpas, que aumentem a produção, minimizem os desperdícios e prazos de obra são maneiras de construir causando menores impactos ambientais e maiores ganhos sociais. É neste capítulo também são abordados os sistemas construtivos *framing*, *steel framing* e *wood framing*, já que são modelos construtivos considerados sustentáveis e que baseiam o sistema construtivo proposto neste trabalho.
- No terceiro e último item do quarto capítulo, o foco é conhecer melhor o bambu enquanto planta, suas características físicas e mecânicas, o seu plantio, cultivo, tratamentos e suas aplicações na construção civil, na tentativa de demonstrar o porquê dele ser considerado tão promissor no setor da construção e embasar a proposta de um sistema construtivo alternativo e sustentável. Trata-se de material não poluente, que menos gasta energia e consumo pouco oxigênio no seu processo de preparo, sendo fonte de matéria prima renovável e de baixo custo (RIPPER, 1994 apud MARÇAL, 2008).

O quinto capítulo é voltado para a descrição do sistema construtivo sugerido, destacando a espécie de bambu escolhida e a utilização da técnica do bambu laminado colado para fabricação de componentes estruturais e padronizado proposto no sistema. Destaca-se a principal motivação do trabalho de impulsionar o uso do bambu, enfocando a simplificação dos processos construtivos e a redução do impacto ambiental causado pelos convencionais métodos de construção.

No sexto capítulo é apresentada as conclusões finais do trabalho, quais as análises feitas pela autora e suas considerações para futuras pesquisas.

Ao final são citadas as referências bibliográficas consultadas neste trabalho.

1.1. Justificativa

Diante das questões levantadas e sendo o Brasil um país com elevado nível no déficit habitacional de acordo com estudo elaborado com base em dados da PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (2009, apud BERNARDES, NILSSON, MARTINS, ROMANINI, 2012), as preocupações com a moradia e sustentabilidade vêm despertando o interesse de estudos para desenvolvimento de novos modelos construtivos mais conscientes tanto do ponto de vista ambiental, quanto socioeconômico, aproveitando as riquezas naturais do país e utilizando materiais alternativos. Neste mesmo propósito, a associação da “eco-eficiência” do sistema *framing* de construção, com a durabilidade, resistência, rápido crescimento e as condições favoráveis de cultivo no Brasil do bambu, (MANHÃES, 2008) deve ser vista como séria possibilidade de modelo construtivo sustentável no mercado da construção brasileiro, justificando o desenvolvimento deste trabalho de monografia acerca do um novo modelo construtivo titulado de Bambu Frame.

2. OBJETIVOS

Frente ao exposto, o trabalho se propõe a analisar a possibilidade de utilização do bambu como material para elementos estruturais de um novo modelo construtivo sustentável baseado nos sistemas construtivos *framing* e incentivar novos estudos aprofundados e experimentais sobre este sistema e sobre sua aplicabilidade no setor brasileiro de construção.

Dentre os objetivos específicos estão:

- Analisar o conceito de sustentabilidade aplicado ao setor de construção civil;
- Caracterizar a industrialização na construção civil e relatar as suas vantagens em relação aos modelos construtivos convencionais no que se refere a sustentabilidade na construção;
- Apresentar os modelos construtivos *framing* existentes, *Steel Framing* e *Wood Framing*, de modo a justificar a escolha desse sistema construtivo na proposta sugerida no trabalho;
- Justificar a escolha do bambu como matéria prima para o sistema construtivo sustentável;
- Levantar as principais características do bambu, descrevendo conhecimentos essenciais sobre ele;
- Exemplificar a utilização do bambu em construções;
- Analisar as propriedades físicas e mecânicas do bambu e suas possibilidades de uso estrutural;
- Verificar as espécies de bambu cultivadas no Brasil e qual ou quais delas são as mais indicadas a construção civil, justificando a escolha da espécie para o sistema construtivo proposto;
- Justificar a escolha do bambu laminado colado para o sistema construtivo proposto;
- Descrever o funcionamento do sistema *framing* de construção com a inovação do bambu, sinalizando as suas vantagens em relação a madeira e o aço, que são os materiais utilizados atualmente nos sistemas *framing*;
- Demonstrar, através das pesquisas estudadas, a possibilidade ou não de uso do bambu como elemento estrutural do Bambu *framing* e suas fragilidades;
- Incentivar novos estudos que aprofundem a ideia proposta no trabalho e sua aplicabilidade no setor de construção civil do Brasil.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de sugerir um novo modelo construtivo sustentável, o trabalho busca avaliar a adequabilidade da utilização do bambu no sistema *framing* de construção no mercado brasileiro.

Para isso o estudo se baseia em vasta revisão bibliográfica que inclui artigos, livros, sítios da internet, trabalhos acadêmicos, monografias, teses e dissertações que se dedicam a temas relacionados ao objeto de estudo deste trabalho.

Ou seja, através de extenso estudo sobre sustentabilidade na construção, modelos de construção industrializado e sobre o uso do bambu na construção civil, foi obtido embasamento teórico que justifica a escolha do bambu e do sistema industrializado como matéria-prima e modelo para a elaboração da proposta de um novo sistema construtivo não convencional e sustentável.

Na seção em que é apresentado e descrito o Bambu *framing*, são apresentados, por meio de referências bibliográficas, as características da espécie de bambu escolhida e a sua forma tratada em bambu laminado colado que constitui a melhor configuração para os elementos estruturais em um sistema que exige padronização na dimensão das peças.

Através da análise de resultados encontrados em outros trabalhos de temas relacionados, foi possível investigar a aplicabilidade do bambu laminado colado como elemento estrutural e conseqüentemente a possibilidade de uso deste como elemento estrutural no Bambu *framing*.

Todas as análises feitas e resultados obtidos no presente trabalho se basearam na literatura existente, não foi feito nenhum estudo de caso ou experimentos, que ficaram como sugestão para próximos trabalhos.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Sustentabilidade do Espaço Construído

4.1.1. Sustentabilidade: Conceitos e Definições

O conceito de Desenvolvimento Sustentável pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Comissão Brundtland) teve origem ainda no século passado, na década de 70, quando existia um grande pessimismo em relação ao futuro da civilização. As consequências da industrialização, da poluição, do crescimento da população mundial, do consumo de energia e dos recursos naturais foram analisados nesta mesma época, pelo Clube de Roma, que por meio do livro *Os limites do Crescimento*, descreveu a disparidade entre o aumento exponencial desses índices em relação ao aumento linear na disponibilidade dos recursos, chegando a conclusão da necessidade de mudanças drásticas no estilo de vida da população para prevenção de um colapso (ROMÉRO e BRUNA, 2010).

Se a tendência atual de crescimento da população mundial, da industrialização, da poluição, da produção e do uso excessivo dos recursos naturais continuar inalterada, alcançaremos os limites do crescimento neste planeta em algum momento nos próximos cem anos. (CLUBE DE ROMA, 1972 apud KOOLHAAS, 2014).

Estudo parecido já havia sido feito em 1798, por Thomas Malthus que escreveu em seu livro *Ensaio sobre o princípio da população*: “O poder da população é tão superior ao poder da terra em produzir subsistência ao homem que a morte prematura há, de uma forma ou de outra, de visitar a raça humana”. (MALTHUS, apud KOOLHAAS, 2014).

Diante desta visão desanimada, a ONU criou a Comissão Brundtland em 1983, com objetivo de discutir questões sobre o meio ambiente e reformular propostas para abordá-las, propondo formas de interação e cooperação internacional nestas questões. Em 1987, em seu relatório final, a Comissão recomendou um padrão de uso dos recursos naturais que atendesse às necessidades da população sem comprometer o meio ambiente, de modo a não prejudicar as gerações futuras.

A batalha para alimentar toda a humanidade terminou. Nas décadas de 1970 e 1980 centenas de milhões de pessoas morrerão de fome, a despeito de qualquer programa de emergência que se inicie agora. Neste momento tardio, nada pode prevenir o aumento significativo da taxa de mortalidade mundial. (EHRlich, 1968 apud KOOLHAAS, 2014).

No Brasil, como consequência dessas recomendações, foram adotadas em 92 no Rio de Janeiro, a Convenção do Clima, Convenção da Biodiversidade e a Agenda 21, que em particular, teve grande influência em ações ambientalistas em diversas áreas, no mundo todo (ROMÉRO e BRUNA, 2010).

Em dezembro de 2015, na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP21), em Paris, 195 países e a União Europeia firmaram um pacto que visa limitar as mudanças climáticas, estabelecendo metas para frear o aumento da temperatura no mundo. O acordo compromete-se a deter o aumento da temperatura média global abaixo dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais, além de estabelecer que os chamados países “desenvolvidos” devam ajudar economicamente os países mais vulneráveis, por meio de doações que irão custear ações de combate à poluição. O tratado tem força de lei internacional e para entrar em vigor é necessário que pelo menos 55 países que representam 55% das emissões de gases de efeito estufa, ratifiquem o acordo firmado até 21 de abril de 2017 (VIEIRA e TAVARES, 2016).

A prática do conceito de Desenvolvimento Sustentável está na busca pela redução de impactos ambientais e aumento da justiça social em cada atividade dentro do orçamento disponível. Portanto, o desafio está no encontro de um equilíbrio entre proteção ambiental, justiça social e viabilidade econômica (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Responsabilidade social empresarial, análise do ciclo de vida, mudanças climáticas são itens do recente vocabulário criado pelas políticas de desenvolvimento sustentável que devem ser aplicadas em qualquer atividade, inclusive na construção brasileira. Os impactos na vida das pessoas e negócios deverá ser melhor percebido com o surgimento de novos negócios, leis e regulamentos como consequência da crise ambiental (AGOPYAN, JOHN, 2011).

4.1.2. Impactos Ambientais da Construção Civil

Atividade essencial à humanidade, a construção civil é o setor responsável pela execução de projetos de infraestrutura de base como geração de energia, saneamento básico, comunicações, transporte e espaços urbanos, além da execução de edifícios públicos e privados, com o objetivo de prover moradia, trabalho, educação, saúde e lazer na cidade, no estado e na nação. (AGOPYAN, JOHN, 2011).

No entanto, é sabido que toda edificação nova, gera impactos, sejam ambientais, sociais ou econômicos. A dimensão da interferência é condicionada pelo porte, uso ou função da

construção, podendo algumas delas alterar drasticamente o ecossistema do local ou até provocar sua extinção, por meio do corte de vegetações, impermeabilização do solo, inundação de grandes áreas como em projetos de barragens, ou até mesmo por meio da geração de ruídos, resíduos, etc. decorrente da fase de obra. A poluição sonora e visual de uma edificação, assim como sua interferência em aspectos de insolação, ventilação e outros, influenciam também em questões sociais e econômicas, podendo gerar valorização ou desvalorização da área onde se localizam.

Este setor é responsável por parcela significativa no consumo de recursos naturais, incluindo energia e água, além de ser um dos maiores agentes geradores de resíduos sólidos e emissão de gases de efeito estufa (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Através da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é possível mensurar ou quantificar o consumo ambiental e impactos potenciais associados a um produto ou processo, que nesse caso se refere ao processo construtivo de uma edificação, em todo o seu ciclo de vida. O ciclo de vida de um produto inclui desde a etapa de aquisição e processamento da matéria-prima, passando pelas fases de transformação, produção, transporte, distribuição, uso, reúso, manutenção e reciclagem, até a fase de descarte final (NBR ISO 14.040, 2001).

O ciclo de vida longo de pelo menos 30 a 50 anos de uma construção torna as análises de seus impactos, tanto positivos quanto negativos, mais complexas uma vez que deve ser escolhida a melhor estratégia para conceituação, projeto, materiais e tecnologias a serem adotadas de maneira a proporcionar uma melhor qualidade dos ambientes aos usuários e comunidade, atendendo também a requisitos como eficiência e racionalização de recursos naturais que são finitos, a durabilidade e a flexibilidade de uso ou adaptação desta edificação de modo a atender possíveis demandas futuras (AGOPYAN, JOHN, 2011).

É na fase de projeto que são definidos aspectos como a localização das obras, a definição do produto a ser construído, o partido arquitetônico e a especificação de materiais e componentes que irão influenciar o consumo de recursos naturais e de energia, assim como a otimização ou não da execução de uma construção e o seu efeito no entorno (corte, aterro, inundações, ventilação, insolação, etc.). A fase de execução é quando ocorre a parcela significativa de geração de resíduos que é agravada pela não otimização dos processos. Na fase de uso e manutenção ocorre uma constante de consumo de energia e mais geração de resíduo. Ao final

do ciclo, na etapa de demolição, mais resíduos são gerados e em grandes volumes (AGOPYAN, JOHN, 2011).

As normas técnicas, códigos de obra e planos diretores estabelecem regras e padrões a serem obedecidos que muitas vezes limitam a liberdade de se definir soluções, dificultando também as inovações, muitas vezes forçando soluções que aumentam o impacto ambiental ao longo da vida útil da edificação. Porém, da mesma maneira, estes documentos poderiam ser utilizados de modo a incentivar e orientar o setor a adotar soluções mais sustentáveis, aspecto até então inadequadamente explorado (AGOPYAN, JOHN, 2011).

De forma resumida, o impacto ambiental da construção civil depende de toda uma enorme cadeia produtiva: extração de matérias-primas, produção e transporte de materiais e componentes, concepção e projetos, execução (construção), práticas de uso e manutenção e, ao final da vida útil, a demolição/desmontagem, além da destinação de resíduos gerados ao longo da vida útil. Esse processo é influenciado por normas técnicas, códigos de obra e planos diretores ou ainda políticas públicas mais amplas, incluindo as fiscais. Todas essas etapas envolvem recursos ambientais, econômicos e têm impactos sociais que atingem a todos os cidadãos, empresas e órgãos governamentais, e não apenas aos seus usuários diretos. O aumento da sustentabilidade do setor depende de soluções em todos os níveis, articuladas dentro de uma visão sistêmica (AGOPYAN, JOHN, 2011).

4.1.3. Princípios de uma Construção Sustentável

Todas as atividades humanas dependem do ambiente construído que é gerado a partir da transformação do ambiente natural pela cadeia produtiva da Construção Civil e necessita de constante atualização e manutenção. A obtenção do ambiente construído implica grandes impactos ambientais, incluindo o uso de uma grande quantidade de materiais de construção, mão-de-obra, água, energia e geração de resíduos (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Apesar de estarem presentes em todos as cidades e serem em quantidade equivalente a lixo urbano, os resíduos das construções foram ignorados tanto por órgão responsáveis, quanto por responsáveis técnicos e ambientalistas, que por cerca de 30 anos confundiu a questão ambiental na construção com eficiência energética e energia incorporada em materiais, com interesse limitado ao norte da Europa (AGOPYAN, JOHN, 2011).

A percepção de órgãos governamentais e da própria cadeia produtiva da Construção Civil em nível internacional em relação a esses impactos aconteceu tardiamente e atualmente são forçados a mudanças culturais, tecnológicas e comportamentais para atender as demandas de

uma sociedade cada vez mais bem esclarecida e exigente em relação a preservação do meio ambiente (AGOPYAN, JOHN, 2011).

A esse respeito, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) aprovou a Resolução nº 307 em 05/07/2002, que estabelece critérios, diretrizes e procedimentos para a gestão de resíduo na construção civil, onde foram criados instrumentos que determinam a responsabilidade do gerador do RCD (Resíduo de Construção e Demolição). A partir desta resolução, são definidas as responsabilidades tanto do poder público, quanto de agentes privados na implementação de planos de gerenciamento de resíduo na construção (TROCA, 2008).

O conceito de que o desenvolvimento sustentável é aquele que “satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as próprias necessidades” definido pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente presente no Relatório de Brundtland, se firmou a partir da Rio 92 e vem sendo progressivamente aplicado a todas as atividades humanas e com destaque a cadeia produtiva da construção civil (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Embora tenha demorado na sua conscientização, o setor da Construção Civil vem se movimentando de modo a tornar-se menos danosa à Natureza. No início da década de 90, aconteceram ações mais consistentes focadas em aspectos ambientais, tomadas predominantemente em países desenvolvidos, com estudos mais sistemáticos e resultados mensuráveis, como reciclagem, redução de perdas e de consumo de energia (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Em 1994, em Tampa na Flórida, aconteceu um dos primeiros eventos científicos internacionais organizados especificamente para discutir construção sustentável, *First International Conference on Sustainable Construction*, com o apoio da CIB (Conselho Internacional para Pesquisa e a Inovação na Edificação e na Construção - *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*) e outras organizações da área. Em 1996, foi assinada em Istambul na Turquia, a Agenda Habitat II, preparada pelo Centro para Assentamentos Humanos das Nações Unidas – *United Nations Centre for Human Settlements* (UNCHS), que recomendava políticas públicas que incentivem as soluções locais e regionais para assentamentos humanos, abordando a construção civil em parte considerável do texto. Em 1998, o Congresso Mundial da Construção Civil do CIB (Gavle, Suécia) concentrou-se no tema de sustentabilidade da construção e culminou no lançamento da publicação da Agenda 21 *on*

sustainable construction, em 99, traduzida para o português no ano seguinte (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Segundo a Agenda 21 *on sustainable construction* os principais desafios da construção sustentável envolvem a) processo e gestão, b) execução, c) consumo de materiais, energia e água, d) impactos no ambiente urbano e no meio ambiente natural, e) as questões sociais, culturais e econômicas. O foco da publicação é a cadeia produtiva e os clientes, atribuindo responsabilidades a todos os atores envolvidos: clientes, proprietários, empreendedores, investidores, responsáveis técnicos, projetistas, produtores de insumos, empreiteiras, empresas de manutenção, usuários e profissionais de ensino e pesquisa da área. A publicação reconhece que há a necessidade de políticas públicas, não se podendo deixar o mercado livre, pois a demanda na construção civil é dispersa e não especializada, sem qualquer poder de persuasão. A Agenda 21 conclui afirmando que o maior desafio é o de tomar ações preventivas imediatas e preparar toda a cadeia produtiva para mudanças que são necessárias ao processo construtivo (AGOPYAN, JOHN, 2011).

Em Maastricht foi organizada em 2000, a primeira série de conferências *Sustainable Building* (SB) promovida por organizações, incluindo a Unep e o CIB (AGOPYAN, JOHN, 2011).

No Brasil, os conceitos de construção sustentável chegaram com algum atraso. Em 2000, o Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP organizou o Simpósio do CIB sobre Construção e Meio Ambiente – da teoria para a prática (*CIB Symposium on Construction and Environment – theory into practice*), que foi considerado o marco inicial das preocupações com construção sustentável no país, onde o tema foi apresentado pelos melhores especialistas da época, desmistificando a ideia dos diversos setores da indústria brasileira que consideravam o tema como um modismo de militantes ambientalistas de países ricos.

Neste encontro, onde se confirmou a necessidade da criação de uma estratégia abrangente com participação de toda a cadeia produtiva, dos clientes e do governo, foi apresentada uma proposta para a sustentabilidade da construção no Brasil. O artigo sugere a criação de uma agenda brasileira a ser adotada por todos os segmentos da indústria e pelo governo que inclui os itens:

- 1- Redução das perdas de materiais na construção;
- 2- Aumento da reciclagem de resíduos como materiais de construção;
- 3- Eficiência energética nas edificações;
- 4- Conservação de água;
- 5- Melhoria da qualidade do ar interno;
- 6- Durabilidade e manutenção;

- 7- Redução do déficit de habitações, infraestrutura e saneamento;
- 8- Melhoria da qualidade do processo construtivo.

(AGOPYAN, JOHN, 2011).

Este documento serviu de contribuição para a elaboração da *Agenda 21 da construção sustentável para países em desenvolvimento – um documento para discussão*, que buscava identificar as especificidades dos países em desenvolvimento para então sugerir estratégias adequadas, já que, embora os principais problemas de sustentabilidade sejam globais, existem prioridades sociais e ambientais e de disponibilidade de recursos diferentes (AGOPYAN, JOHN, 2011).

A partir do Simpósio de 2000, foram acontecendo vários outros encontros com temas relacionados a sustentabilidade na construção, como o I Encontro Nacional de Edificações e Comunidades Sustentáveis (Enecs) em 2001, o Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (Entac) em 2004, ambos organizados pela Antac (Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído). Em 2007, foi constituído o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), entidade que congrega representantes dos diversos setores da construção civil e da sociedade e que promove anualmente o Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável. Estes simpósios anuais atraem os setores empresariais de toda a cadeia produtiva, difundindo e discutindo os princípios da sustentabilidade da construção com profissionais atuantes do setor (AGOPYAN, JOHN, 2011).

4.2. Construção Industrializada

4.2.1. O que caracteriza a Construção Industrializada e a sua relação com a Sustentabilidade

O rápido crescimento da população mundial, unido aos inúmeros problemas ambientais da atualidade revelam a indústria da construção civil a necessidade de se desenvolver sistemas de construção mais eficientes que atendam esta demanda de modo mais produtivo e com redução de desperdícios (FREITAS e CRASTO, 2006).

A importância da indústria da construção e o ambiente construído vem crescendo significativamente nos últimos 20 anos. Esse crescimento, pelo menos em parte, está associado à necessidade de gerar um ambiente construído saudável, confortável e seguro à população, incluindo habitação adequada, melhor infraestrutura de transporte e comunicação, acesso ao

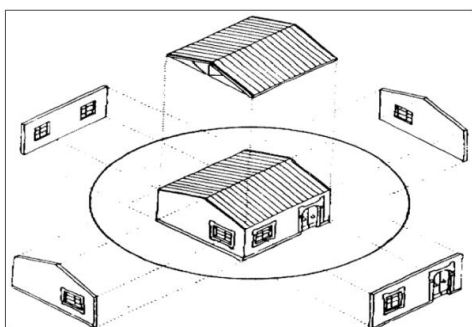
abastecimento de água potável, de saneamento, etc. Segundo dados recentes, se não ocorrerem inovações na forma de construir, a demanda social por um ambiente construído de melhor qualidade deve continuar a crescer significativamente (AGOPYAN, JOHN, 2011).

A essência da construção industrializada está na produção em série de componentes construtivos funcionais com o objetivo de acelerar o processo construtivo e reduzir tempo de canteiro de obras. Dentro da construção industrializada existem dois aspectos operacionais, o sistema aberto e o sistema fechado (LARS e LEITE, 2015).

Dentro do sistema fechado, o projeto da edificação é desenvolvido baseado em elementos construtivos de fábrica que são produzidos em série. O projeto é fragmentado em partes que se conectam e são montados umas com as outras durante a obra, consolidando a edificação projetada. Esses elementos são ajustados a uma aplicação específica da edificação o que permite seu uso apenas nesse local (**Figura 1**) (MANDOLESI, 1981 apud LARS e LEITE, 2015).

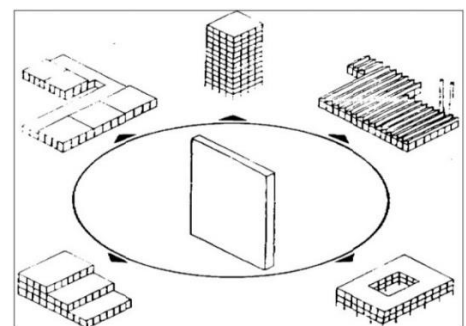
Já no sistema aberto são produzidos em série elementos construtivos versáteis, com um patamar mais amplo de aplicação e que por isso podem ser utilizados em edificações de diferentes tipos e categorias, sem que haja a necessidade de um projeto preliminar de uma categoria específica como no sistema fechado (**Figura 2**). Fazem parte da industrialização de ciclo aberto os sistemas construtivos Steel Frame e Wood Frame (MANDOLESI, 1981 apud LARS e LEITE, 2015).

Figura 1: Sistema Industrializado Fechado



Fonte: MANDOLESI, 1981 apud LARS e LEITE, 2015

Figura 2: Sistema Industrializado Aberto



Fonte: MANDOLESI, 1981 apud LARS e LEITE, 2015

A grande disseminação da construção industrializada em países de primeiro mundo onde a mão de obra é considerada muito cara está também relacionada à otimização da gestão da produção com alto controle de qualidade. A redução de prazos de entrega e consequentemente custos de obra é vantagem da pré-fabricação de sistemas construtivos em ambiente industrial, uma vez

que este permite a execução simultânea de várias atividades. A produtividade nestes sistemas, também está ligada à dinâmica da obra limpa e seca e a facilidade de manuseio dos elementos estruturais. É importante também, desmistificar a ideia de sistema industrializado com construção padronizada (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

No Brasil, os métodos construtivos mais utilizados ainda caracterizam modelos artesanais, com baixa produtividade e grande desperdício de recursos. Porém, o mercado vem sinalizando a necessidade de mudança e com a utilização de novas tecnologias é possível propor uma industrialização dos modelos construtivos e uma maior racionalização dos recursos (FREITAS e CRASTO, 2006).

Ainda existe um longo caminho a ser percorrido no país em relação ao desenvolvimento de componentes padronizados para construções de modo que causem menos impacto ambiental e menos níveis de energia, que sejam mais rápidos, econômicos e gerem menos desperdício de materiais (LAHR e LEITE, 2015).

4.2.2. Light Steel Framing

O mundialmente conhecido como Light Steel Framing (LSF) trata-se de um sistema construtivo industrializado, racional, caracterizado pela utilização de perfis em aço galvanizado formados a frio que constituem painéis estruturais e não estruturais, vigas secundárias, vigas de piso, tesouras de telhados e outros componentes. Por se tratar de um sistema industrializado é possível construir a seco com maior rapidez de execução (FREITAS e CRASTO, 2006).

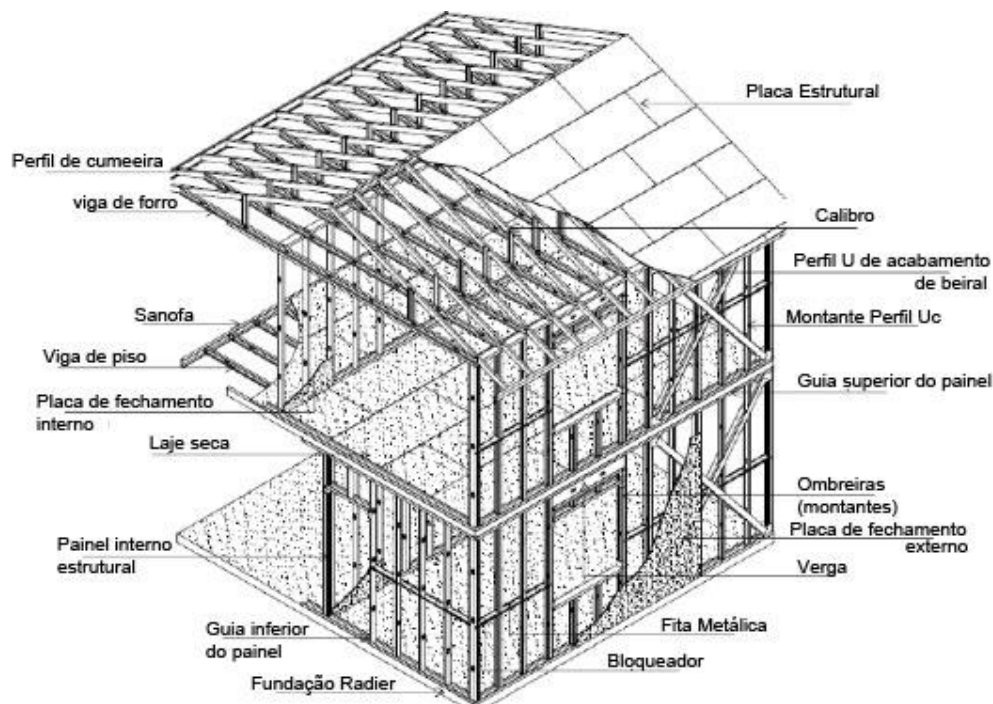
Considerada uma tecnologia nova, principalmente no Brasil, surgiu a partir de construções de habitações em madeira (*wood framing*), no século XIX nos Estados Unidos pelos colonizadores ingleses que habitavam o território América naquele período. Como consequência do desenvolvimento da indústria do aço, foi lançado no período de 1933, na Feira Mundial de Chicago, um protótipo de residência em *Steel Framing*. (TUTI ARQUITETURA + VERDE, 2015; FRECHETTE, 1999 apud FREITAS e CRASTO, 2006). No período pós Segunda Guerra Mundial, a abundância da produção de aço e o crescimento econômico americano possibilitaram que paulatinamente os perfis de madeira fossem substituídos pelos de aço, já que estes traziam a vantagem de possuírem maior resistência e eficiência estrutural, capazes de resistir mais bravamente às catástrofes naturais como furacões e terremotos. (TUTI ARQUITETURA + VERDE, 2015; BATEMAN, 1998 apud FREITAS e CRASTO, 2006).

No Japão, a utilização do LSF também começou no período pós Segunda Guerra, onde milhões de casas que haviam sido destruídas nos bombardeios precisavam de reconstrução acelerada e a madeira passou a ser vista com menos prestígio por ser um material inflamável que propagava o fogo durante os ataques. (FREITAS e CRASTO, 2006).

Analisando a expressão do inglês temos “Light” = Leve, “Steel” = Aço e “Framing que deriva de “Frame” = Moldura, Armação (MICHAELIS, 2009) e pode ser definida por:

Processo pelo qual compõe-se um esqueleto estrutural em aço formado por diversos elementos individuais ligados entre si, passando estes a funcionar em conjunto para resistir às cargas que solicitam a edificação e dando forma à mesma (**Figura 3**). Assim, o sistema LSF não se resume apenas à sua estrutura. Como um sistema destinado à construção de edificações, ele é composto por vários componentes e “subsistemas”. Esses subsistemas são, além do estrutural, de fundação, de isolamento termo-acústico, de fechamento interno e externo e instalações elétricas e hidráulicas (ConsulSteel, 2002 apud FREITAS e CRASTO, 2006).

Figura 3: Desenho esquemático de uma residência em Light Steel Framing



Fonte: <<http://wwwo.metallica.com.br/tubulacoes-para-habitacao-de-interesse-social-em-light-steel-framing>>

Acesso em: 09/08/2016

4.2.2.1. Perfis usados no LSF

Como já mencionado acima, os perfis estruturais do Light Steel Framing são de aço galvanizado formada a frio. Este aço galvanizado é revestido com zinco ou liga alumínio-zinco por processo contínuo de imersão a quente ou por eletrodeposição. As massas mínimas de revestimento são

de 150 g/m² (liga alumínio-zinco) a 180 g/m² (zinco) para perfis estruturais e de 100 g/m² para perfis não estruturais (NBR 15253:2005 apud BERNARDES, NILSSON, MARTINS, ROMANINI, 2012).

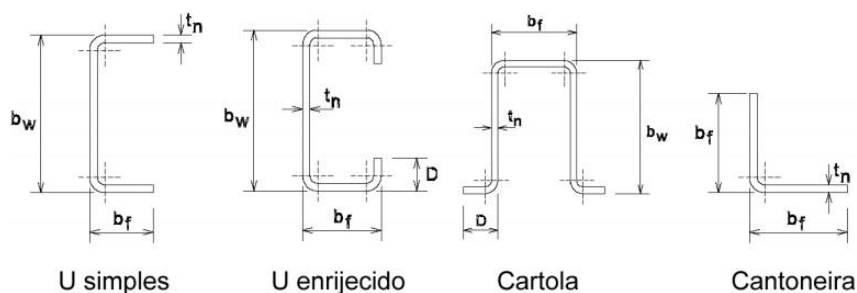
Os perfis estruturais de aço formados a frio são obtidos a partir do dobramento, em prensa dobradeira, ou por perfilagem em conjunto de matrizes rotativas, de tiras de aço cortadas de chapas ou bobinas laminadas a frio ou a quente, revestidas ou não e possibilitam a formação de seções variadas na sua forma e/ou dimensão. Por essas operações ocorrerem com o aço na temperatura ambiente, advém o termo “formado a frio”. (FREITAS e CRASTO, 2006).

Uma vantagem característica de estruturas de aço composta por perfis formados a frio é a versatilidade, pois permite a fabricação de seções de formas bastante variadas, podendo ser adaptada a um grande número de aplicações. Outra vantagem é a construção e montagem das estruturas, pois tratam-se de elementos muito leves em comparação a outros perfis. (FREITAS e CRASTO, 2006).

As chapas galvanizadas disponíveis em grande escala no mercado do país possuem as espessuras de 0,40 mm, 0,50 mm, 0,65 mm, 0,80 mm, 0,95 mm, 1,25 mm, 1,50 mm e 1,75 mm, além das espessuras de 2,00 mm e 2,25 mm, um pouco menos usuais. (BERNARDES, NILSSON, MARTINS, ROMANINI, 2012).

As seções mais comuns de perfis de aço no LSF são o “C”, o “U” enrijecido (Ue) para montantes e vigas, o “U” utilizado de guia na base e no topo dos painéis, o “Cartola” (Cr) empregado em ripas e as cantoneiras (L) (**Figura 4**). (SANTIAGO, 2008).

Figura 4: Seções usuais de perfis LSF



Fonte: SANTIAGO, 2008

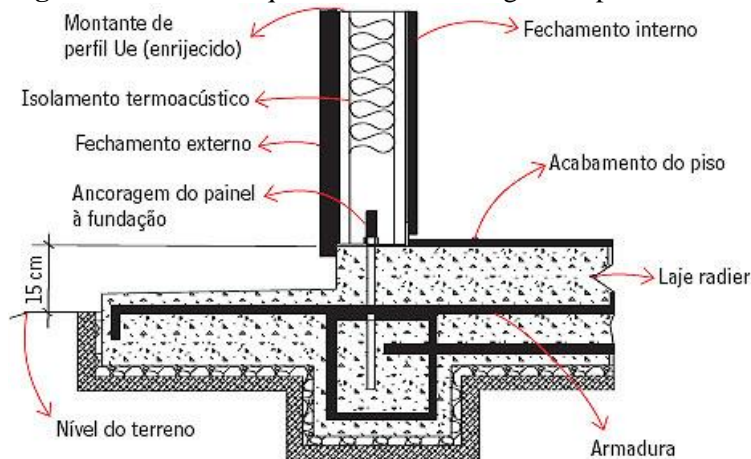
4.2.2.2. Fundação

Por possuir uma estrutura muito leve, o Steel Framing exige muito menos da fundação do que as construções convencionais, mas por distribuir cargas uniformemente nos seus painéis

estruturais, necessita de uma fundação contínua, capaz de suportar esta carga em toda a extensão. (FREITAS e CRASTO, 2006).

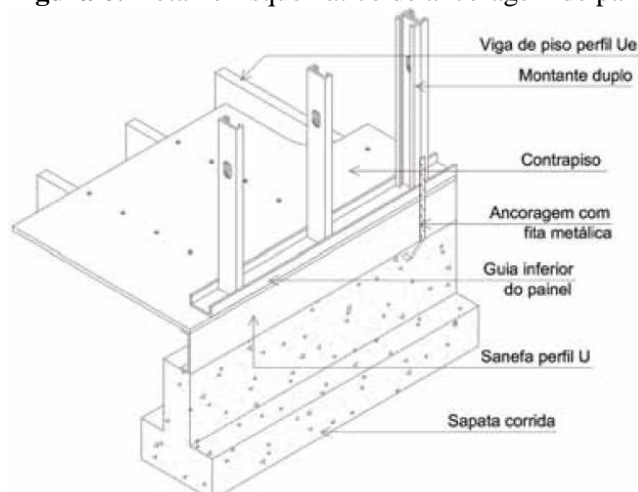
Os tipos de fundação mais usuais para o LSF são as Laje Radier (**Figura 5**) e as Sapatas Corridas (**Figura 6**), embora a escolha do tipo de fundação do projeto irá depender do tipo de solo, nível do lençol freático, profundidade de solo firme e topografia do terreno, informações que são obtidas por meio do processo de sondagem. Diferente do restante do sistema construtivo, as fundações possuem um método de execução convencional e deve ser isolada contra umidade, assim como em qualquer outra situação. (FREITAS e CRASTO, 2006).

Figura 5: Detalhe Esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma laje radier



Fonte: FREITAS e CRASTO, 2006; <<http://fckempaconstrucoes.blogspot.com.br/2009/03/fundacoes.html>> Acesso: Nov / 2016

Figura 6: Detalhe Esquemático de ancoragem de painel estrutural a uma sapata corrida



Fonte: FREITAS e CRASTO, 2006.

Para que a edificação adquira estabilidade, evitando movimentação por ação do vento é necessário que seja feita uma ancoragem dos painéis na fundação. A ancoragem mais eficiente será determinada de acordo com o tipo de fundação e das solicitações estruturais ocasionadas

pelas cargas e condição climática, sendo definida por cálculo estrutural. Os tipos mais comuns são: a química com barra roscada; e a expansível com parabolts. (FREITAS e CRASTO, 2006).

4.2.2.3. Painéis de Paredes

As paredes estruturais ou painéis estruturais são auto-portantes e são compostos por diversos perfis de aço galvanizados leves, conhecidos como montantes que se distanciam geralmente de 400 ou 600mm entre eles (FREITAS e CRASTO, 2006; SANTIAGO, 2008). Obviamente, quanto maior a distância entre montantes, menor a quantidade destes e maior a carga que cada um deverá suportar. Em casos de sobrepeso, o distanciamento também poderá diminuir, podendo chegar a 20cm, como no caso de estruturas abaixo de caixas d'água (FREITAS e CRASTO, 2006). O dimensionamento e os espaçamentos padronizados dos montantes seguem uma normatização internacional e são definidos por cálculo estrutural conforme a necessidade de projeto arquitetônico. (LOPES, GOMES, MENEGHIN, SOARES, 2008).

Com o conceito estrutural de dividir as cargas da edificação em maior número de elementos estruturais, onde cada um dos montantes recebe uma pequena parcela de carga, os painéis cumprem a função de distribuir as cargas uniformemente até a fundação da edificação. A grosso modo, os montantes que compõem o painel transferem as cargas verticais recebidas por contato direto, por meio de suas almas estando suas seções coincidentes com as dos montantes dos diferentes níveis (superior e inferior), originando desta forma o conceito de estrutura alinhada ou *in-line framing*. Quando não é possível este alinhamento, deverá ser colocado sob o painel, uma viga capaz de distribuir uniformemente as cargas excêntricas. (FREITAS e CRASTO, 2006; SANTIAGO, 2008).

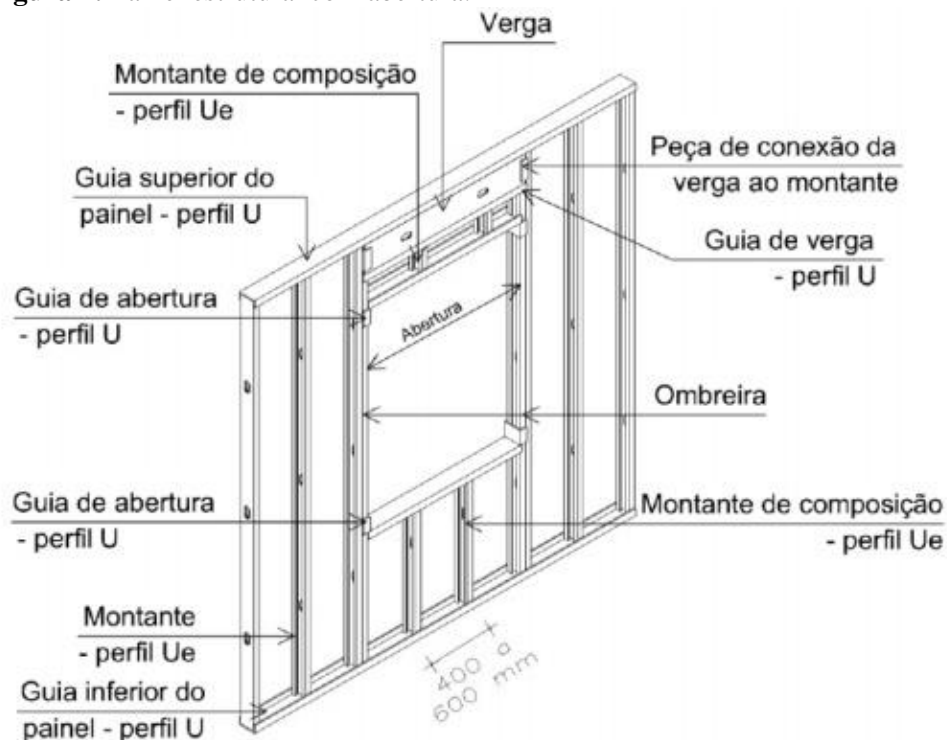
Os “montantes” dos painéis são os elementos estruturais verticais de seção transversal do tipo Ue e estão unidos em suas extremidades superiores e inferiores pelas “guias”, denominação dada aos elementos horizontais de seção horizontal U. As guias têm função de unir os montantes a fim de formar um quadro estrutural. O comprimento da guia define a largura do painel e o comprimento do montante a sua altura. A fixação destes perfis que compõem o quadro estrutural é normalmente feita por meio de parafusos galvanizados o tipo auto-perfurantes ou auto-atarraxantes. (FREITAS e CRASTO, 2006; SANTIAGO, 2008).

Os painéis tanto estão sujeitos a cargas verticais oriundas da própria estrutura da edificação (pisos, telhados e outros painéis) e da sobrecarga resultante da utilização (pessoas, móveis,

máquinas, chuvas, etc), como estão sujeitos a cargas horizontais de ventos e abalos sísmicos (FREITAS e CRASTO, 2006).

Para garantir a resistência a esforços horizontais é necessário estabelecer uma rigidez neste plano dos painéis que pode ocorrer por meio de contraventamentos com o uso de peças diagonais metálicas (normalmente fitas de aço galvanizado parafusadas aos montantes) ou através de diafragma rígido, composto por placas de fechamento com função estrutural (normalmente placas OSB). Bloqueadores horizontais, constituídos de perfis U e Ue ou as fitas metálicas, podem ser instalados perpendicularmente à seção do montante para garantir maior rigidez ao painel (SANTIAGO, 2008). As placas OSB (Oriented Strand Board) também são normalmente utilizadas apenas para fechamento externo dos painéis, assim como as placas cimentícias e o gesso acartonado são usualmente utilizados para fechamento internamente. (FREITAS e CRASTO, 2006).

Figura 7: Painel estrutural com abertura.



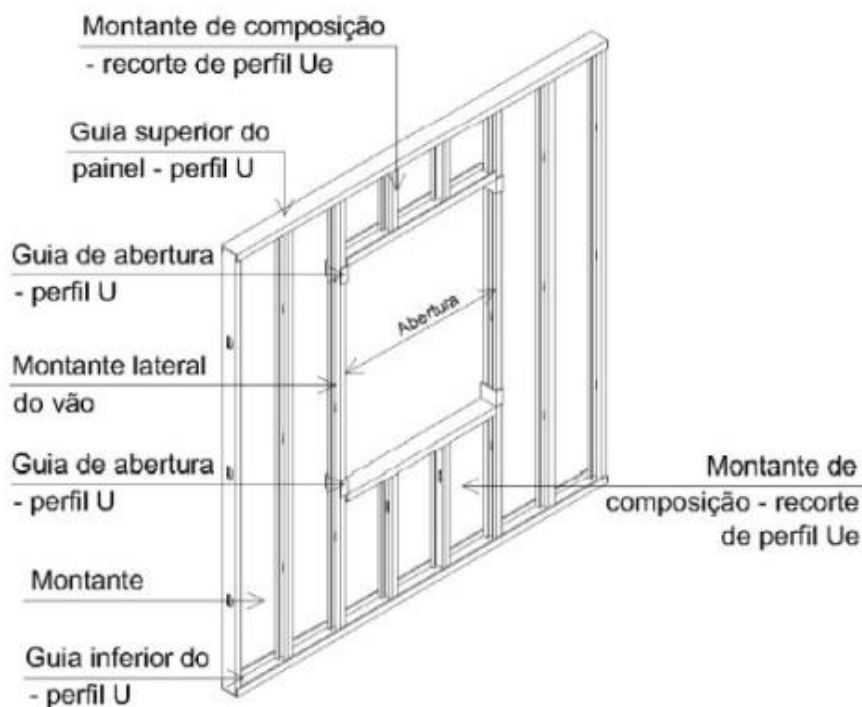
Fonte: SANTIAGO, 2008.

A presença de abertura, como janelas e portas em painéis estruturais traz a necessidade de reforço estrutural, obtido através de verga (formadas por dois perfis Ue conectados), que redistribuem as cargas dos montantes que foram interrompidos para os montantes que delimitam o vão em suas laterais (SANTIAGO, 2008). Estes montantes laterais por sua vez, também necessitam de reforço que é dado pelas ombreiras, que nada mais são do que montantes

encaixados paralelamente aos montantes laterais. A quantidade final de ombreiras varia, mas normalmente é igual ao número total de montantes interrompidos distribuídos igualmente nos dois lados do vão de abertura. (FREITAS e CRASTO, 2006). (**Figura 7**)

Os painéis não estruturais precisam apenas suportar o peso próprio dos elementos que o constituem. Tendo função apenas de fechamento externo e divisória interna, não precisam suportar a carga da edificação, mas precisam ser capazes de resistir a ações do vento. Na existência de aberturas, a solução se resume a delimitação lateral do vão com um único montante onde será fixado o marco da abertura, sendo desnecessário o uso de vergas e ombreiras. As delimitações superiores e inferiores são feitas com guia cortada e parafusada no montante lateral (SANTIAGO, 2008). (**Figura 8**)

Figura 8: Painel não-estrutural com abertura



Fonte: SANTIAGO, 2008.

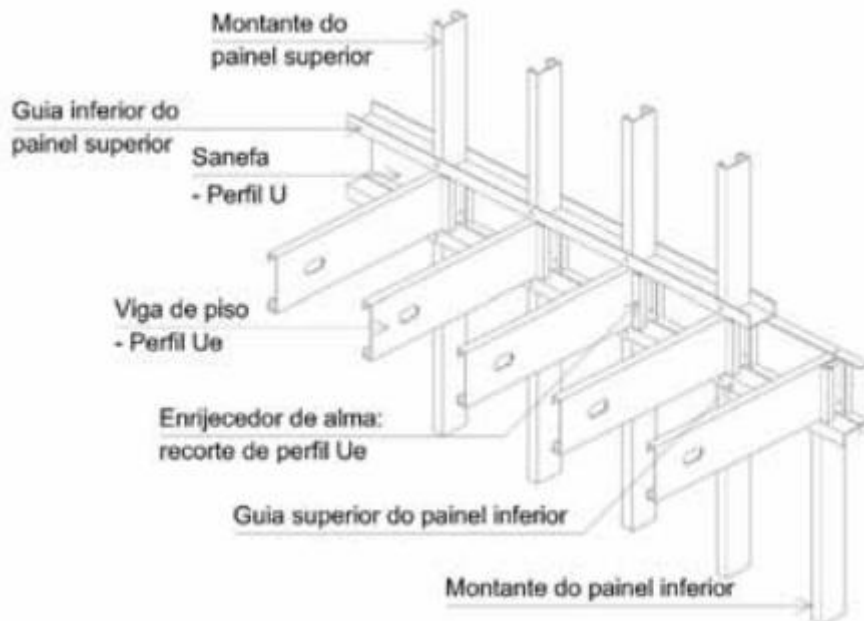
É possível projetar paredes estruturais e não-estruturais curvas, com ou sem aberturas no LSF. Para isso é necessário que as guias superiores e inferiores do painel tenham a mesa da face externa e alma cortados a intervalos de aproximadamente 5cm em todo o comprimento do arco (SCHARFF, 1996 apud FREITAS e CRASTO, 2006). Para manter o raio da curva e ainda reforçar a guia, uma fita de aço galvanizado deve ser fixada na face externa da mesa da guia, por meio de parafusos ou “clinging” e só depois deverão ser fixados os montantes. Esses

painéis não devem ter a curvatura muito fechadas e preferencialmente devem ser montados no local (FREITAS e CRASTO, 2006).

4.2.2.4. Lajes / Pisos

As lajes seguem os mesmos princípios estruturais dos painéis, portanto, utilizam perfis em aço galvanizado dispostos na horizontal, distribuídos através de modulação definida em projeto estrutural, compondo as vigas de piso, estrutura de apoio dos materiais que irão compor o contrapiso. Estes perfis horizontais não somente obedecem à mesma modulação dos montantes da parede, como se apoiam nestes, originando o conceito de estrutura alinhada ou “in-line framing” já citado acima, garantindo desta forma que predomine esforços axiais dos elementos da estrutura (**Figura 9**). (FREITAS e CRASTO, 2006).

Figura 9: Estrutura piso LSF e encontro perfis viga com montantes parede.



Fonte: FREITAS e CRASTO, 2006

As vigas de piso são perfis de seção Ue, com dimensões de mesa geralmente similares às dos montantes dos painéis e altura variável de acordo com vão a ser vencido, cargas a serem suportadas, definidos por cálculo (FREITAS e CRASTO, 2006; SANTIAGO, 2008).

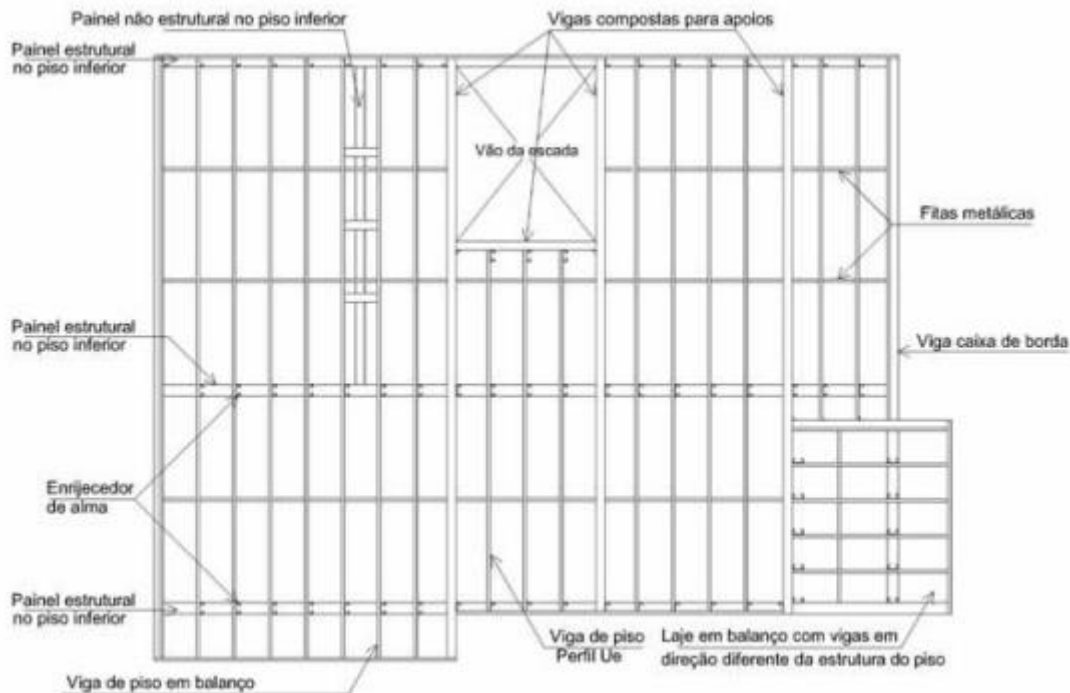
Deve ser previsto o travamento lateralmente das vigas de piso a fim de evitar a flambagem lateral com torção, deslocamento e vibração delas (SCHARFF, 1996 apud SANTIAGO, 2008). Este travamento pode ser feito através de bloqueadores em perfil Ue e fita de aço galvanizado ligados a estrutura por parafusos (SANTIAGO, 2008).

Além da viga de piso, outros elementos são essenciais na constituição de uma laje em um sistema Light Steel Framing, como:

- Sanefa ou guia: perfil U que fixa as extremidades das vigas para dar forma a estrutura;
- Enrijecedor de alma: recorte de perfil Ue, geralmente montante, que fixado através de sua alma à alma da viga no apoio da mesma, aumenta a resistência no local evitando o esmagamento da alma da viga. Também pode ser chamado de enrijecedor de apoio;
- Viga caixa de borda: formada pela união de perfis U e Ue encaixados possibilita a borda da laje paralelas às vigas principalmente quando ocorre de servir de apoio a um painel
- Viga composta: combinação de perfis U e Ue a fim de aumentar a resistência da viga. Pode ser utilizado no perímetro de uma abertura na laje, como por exemplo, para permitir acesso de uma escada, servindo de apoio para as vigas interrompidas.

(Figura 10) (FREITAS e CRASTO, 2006).

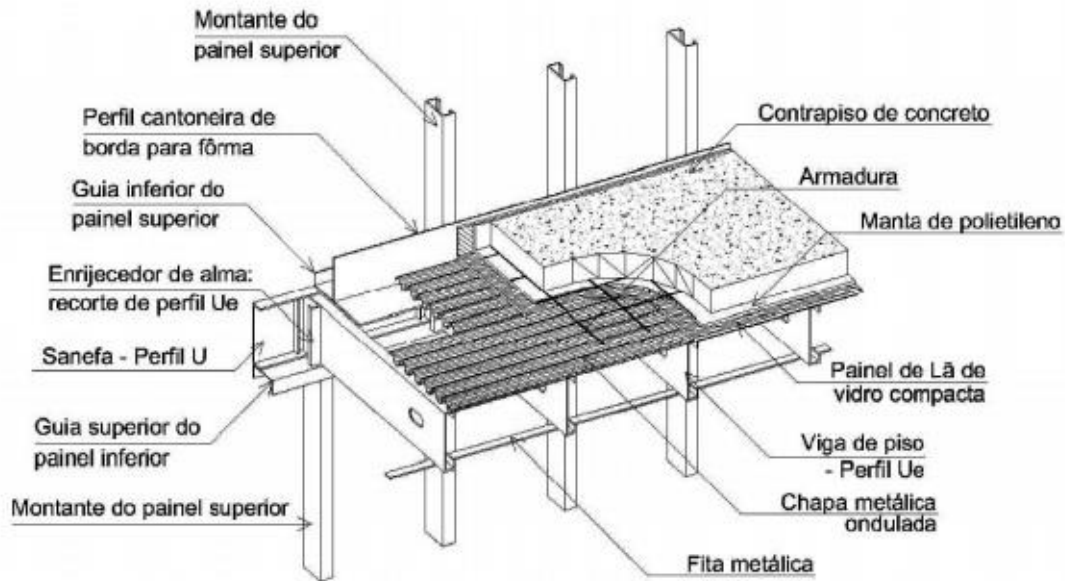
Figura 10: Planta de estrutura de piso em LSF.



Fonte: FREITAS e CRASTO, 2006

As lajes do sistema se dividem em dois tipos de acordo com o tipo do contrapiso, sendo denominadas de “úmida” ou “seca”. Elas são consideradas do tipo “úmida” quando uma fôrma de aço incorporado é parafusada às vigas da estrutura de piso e preenchida de concreto que formará a base para o contrapiso. Entre a forma de aço e o concreto é utilizado material isolante, normalmente lã de vidro compactada, de maneira a obter melhor conforto acústico (Figura 11) (FREITAS e CRASTO, 2006; SANTIAGO, 2008).

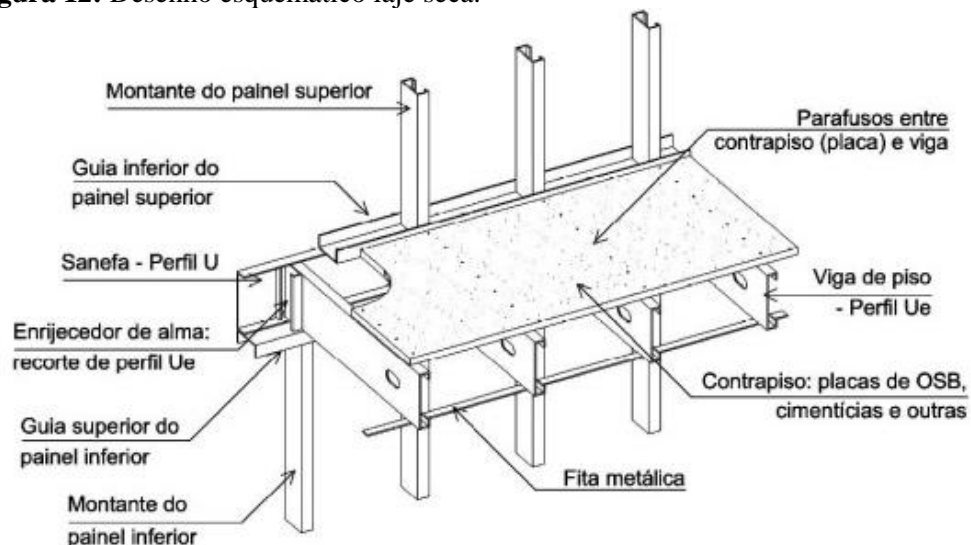
Figura 11: Desenho esquemático laje úmida.



Fonte: SANTIAGO, 2008.

Nas lajes do tipo “seca”, as placas rígidas são fixadas à estrutura do piso, podendo desempenhar função de diafragma horizontal desde que as placas sejam estruturais, servindo de contrapiso. As placas rígidas mais comuns são o OBS e as placas cimentícias, normalmente usadas em áreas molhadas por possuírem maior resistência a umidade. Também compõem as lajes do tipo “seca”, as mantas de poliestireno expandido e de lã de vidro para melhora do desempenho acústico do sistema (FREITAS e CRASTO, 2006; SANTIAGO, 2008). Elas possuem a vantagens de serem mais leves e da construção a seco que agiliza o tempo de execução (**Figura 12**) (FREITAS e CRASTO, 2006).

Figura 12: Desenho esquemático laje seca.



Fonte: SANTIAGO, 2008.

4.2.2.5. Coberturas

O Steel Framing adequa-se aos mais diferentes tipos de coberturas desde as planas até os telhados mais elaborados. Em coberturas inclinadas, o Steel Framing se assemelha a modelos construtivos convencionais com o uso de tesouras e as demais peças, apenas substituindo a madeira pelos perfis em aço galvanizados utilizados no restante da edificação. (FREITAS e CRASTO, 2006).

De acordo com a escolha do tipo de cobertura, pode ser necessária a existência de um substrato entre os perfis da estrutura do telhado e as telhas, normalmente o OSB. Seguindo a estrutura in-line framing do restante da edificação, a alma dos perfis que compõem tesouras, caibros e demais peças, deve estar alinhada com a alma dos montantes dos painéis onde estão apoiadas, de maneira que ocorra apenas a transmissão axial de cargas (SANTIAGO, 2008).

4.2.2.6. Outras considerações sobre o LSF

A versatilidade já mencionada do LSF viabiliza qualquer que seja o projeto arquitetônico, garantindo uma maior liberdade de criação do arquiteto. O fato de seus elementos estruturais serem em aço não limita a utilização desse sistema a modelos arquitetônicos “high-tech”, até porque, a estrutura não fica aparente, está sempre encoberta pelos materiais de fechamento gerando um resultado que se assemelha ao da construção convencional. Independente da tipologia adotada no projeto, é necessário que este seja planejado considerando o comportamento do sistema. Características da construção em aço, como a industrialização, racionalização e rapidez de execução, só são possíveis através do planejamento da obra que por sua vez necessita de projetos, tanto arquitetônico, quanto complementares, muito bem detalhados para obtenção do melhor desempenho do sistema. (FREITAS e CRASTO, 2006).

4.2.3. Light Wood Framing

O sistema construtivo Wood Frame (WF) ou Light Wood Frame, tem origem norte-americana e está relacionado a construção rápida (BERNARDES, FOLLE, GARCIA, MARTINS, ROMANINI, 2014).

O Wood Frame é um sistema antigo, teve seu surgimento anterior ao do Steel Framing. Segundo a TecVerde Engenharia, o Wood Frame é uma tecnologia construtiva já desenvolvida há mais de 100 anos na América do Norte. Atualmente está consolidado nos países da América do Norte

como Canadá e EUA e amplamente difundido em países da América do Sul, Ásia e Europa como Chile, Indonésia, China, Japão, Rússia e Alemanha, possuindo excelente qualidade (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; TECVERDE, 2016).

Assim como o Steel Frame, este método está incluso no Sistema de Construção Energética Sustentável (LOPES, 2013). Seus fundamentos construtivos se equiparam com os do Steel Frame, havendo a substituição do aço pela madeira.

Consiste em um sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis leves de madeira reflorestada e tratada que, em conjunto com placas OSB, formam painéis estruturais de piso, parede e telhado, capazes de suportar as cargas verticais, oriundas da própria edificação (telhado e pavimentos) e perpendiculares, como ventos, transmitindo estas cargas até a fundação (BERNARDES, FOLLE, GARCIA, MARTINS, ROMANINI, 2014; CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; LOPES, 2013). Estes painéis estruturados de madeiras revestidos com outros materiais, aumentam os confortos térmicos e acústicos, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

A grande capacidade de resistir aos esforços do vento é consequência da rigidez das paredes e pisos nos seus planos. A parede frontal ao vento é solicitada perpendicularmente ao seu plano através de esforços horizontais que resultam em esforços de flexão nos montantes e chapas de OSB que compõem a parede e esta transmite os esforços como carga distribuída para os pisos superior e inferior. Pode-se dizer de maneira simplificada, que o piso funciona como viga horizontal sujeita ao esforço de flexão transmitido pela parede. A ligação entre chapas OSB e perfis de madeira horizontais que compõem a viga horizontal de piso é definida de modo que esse conjunto de elementos seja capaz de resistir ao surgimento desta força cortante no conjunto piso. Por sua vez, a viga horizontal de piso, distribui as cargas nas paredes laterais que serão dimensionadas pelo cisalhamento e por este motivo são chamadas de shear wall (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

“O comportamento estrutural do wood frame é superior ao da alvenaria estrutural em peso, resistência, conforto térmico e acústico” (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010). Cada elemento no wood frame recebe esforço de diferente natureza e divide com outro elemento, sendo que as estruturas apresentam redundância e hiperestaticidade. O sistema permite construção de até 5 pavimentos e por se tratar de um sistema industrializado, pode ter seus gastos controlados desde a fase de projeto. A rapidez na execução é outra vantagem da industrialização, onde os sistemas

e subsistemas são montados por equipes especializadas em momentos definidos da obra e de maneira independente (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

Em contraste com a sua consolidação na cultura norte-americana, no Brasil o uso da madeira como principal elemento construtivo numa edificação ainda está atrelado a ideias errôneas e preconceituosas de que é um material de pouca qualidade e por isso pouco durável ou de que se construir com madeira corrobora com o desmatamento de áreas verdes preservadas (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; NUMAZAWA, 2009 apud LAHR e LEITE, 2015).

Muito utilizada nas construções por arquitetos em meados do século XX, a partir da década de 1970, a madeira começou a perder espaço para as estruturas de concreto que por imposições de mercado foram inseridas maciçamente nas construções brasileiras, enquanto que no resto do mundo as estruturas de madeira continuaram evoluindo. (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

A habitação em madeira ressurgiu a partir dos anos 90, quando iniciou-se um novo ciclo no mercado construtivo preocupado com questões de cunho ecológico, que apontava a madeira como elemento estrutural ecologicamente correto, que consome menos energia e economicamente competitivo. (LAHR e LEITE, 2015).

Paradoxalmente à existência de uma das indústrias de reflorestamento mais competitivas do mundo, a utilização da madeira em construções residenciais é de difícil visualização no Brasil (NAKAMURA, 2009). O uso do Wood frame no país ainda não foi estabelecido, pois além dos preconceitos em relação ao uso da madeira, faltam incentivos, leis, diretrizes e participação governamental. Sua fabricação ainda está restrita apenas a cidade de Curitiba no Paraná, mas o fato de se tratar de um sistema eco eficiente, que apresenta integridade em sua execução, conta positivamente para a sua boa aceitação no mercado ainda retraído (LAHR e LEITE, 2015). Além disso, o sistema garante o cumprimento de determinações normativas atuais de umidade, densidade básica e aparente, e de flexão definidos pela Norma de Desempenho – NBR 15.575 (LOPES, 2013).

4.2.3.1. Fundação

Por se tratar de uma estrutura leve e com cargas distribuídas ao longo dos painéis de parede, o radier e a sapata corrida são duas boas opções de fundação para o sistema Light Wood Frame, porém como em qualquer construção, esta definição deve ser feita de acordo com o tipo do solo

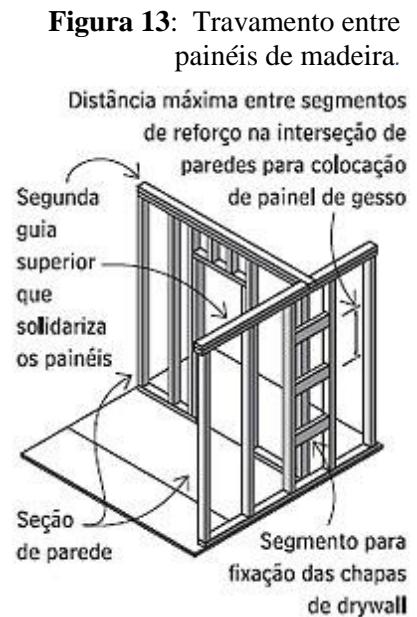
existente no terreno da construção e com as cargas de projeto. (BERNARDES, FOLLE, GARCIA, MARTINS, ROMANINI, 2014; CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010)

É também durante a etapa de fundação que são feitas as esperas para as instalações elétricas e hidro-sanitárias. (TECVERDE, 2016).

4.2.3.2. Painéis de Paredes

As paredes são portantes compostas por montantes verticais de madeira com seção típica de 2" x 4" que, após aparelhados, têm seção 38 mm x 90 mm, dispostos com espaçamentos de 40 ou 60 cm entre si, a depender do projeto estrutural e em conformidade com os tamanhos das placas de drywall ou OSB (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; SACCO e STAMATO, 2008).

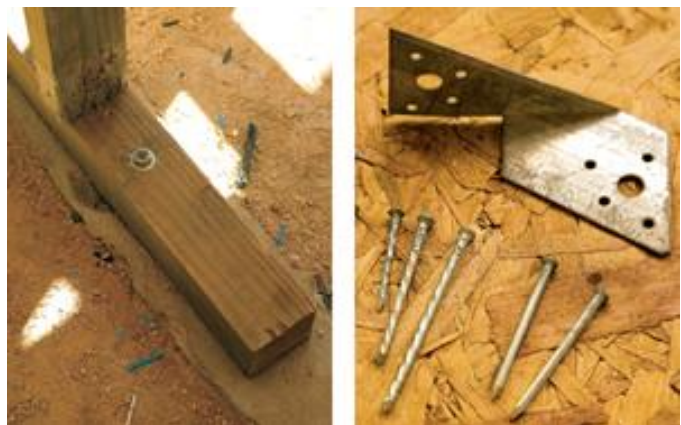
O painel é finalizado com duas guias de madeira de seção igual, uma superior e uma inferior. Após disposto sobre a fundação ou plataforma de acordo com demarcação projeto, os painéis que se encontram recebem uma segunda guia de madeira que é fixada nas guias superiores, sobrepondo este encontro e unindo-os (**Figura 13**).



Fonte: SACCO e STAMATO, 2008.

Figura 14: Pregos tipo ardox que dificulta arrancamento.

As ligações entre os elementos que compõem o painel são feitas através de pregos galvanizados, para que possuam uma maior vida útil de serviço. Por ser elemento metálico, a galvanização dos pregos é tão necessária que é importante que se obtenha do fabricante uma garantia de mil horas em teste de salt spray. Os pregos desempenham excelente papel de fixação,



Fonte: NAKAMURA, 2009.

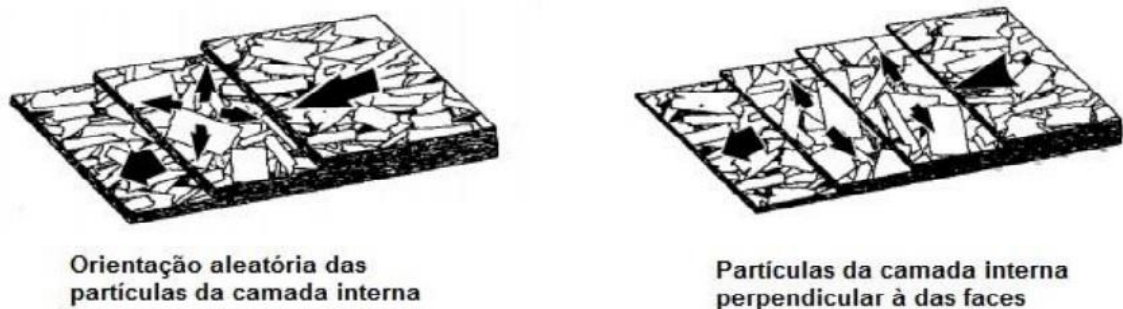
especialmente se pregado de forma não-perpendicular à superfície, pois torna a ligação mais resistente quanto ao arrancamento. Os tipos utilizados no WF são ardox ou do tipo anelado (**Figura 14**) por dificultarem o arrancamento, principalmente em madeiras macias como o pinus que são as mais utilizadas no sistema (SACCO e STAMATO, 2008). Em alguns países, como

o Chile, já são utilizados grampos para esta ligação entre os elementos do painel (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

Os montantes presentes nos locais demarcados para instalação de portas e janelas são deslocados lateralmente, exigindo a presença de vergas de madeira que vençam os vãos abertos, portanto, quanto maior o vão a ser ocupado pela esquadria, maior deverá ser a altura da verga e o acúmulo de montantes laterais. Normalmente, aberturas de até 2 metros são facilmente solucionadas (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; TECVERDE, 2006). É necessário um montante extra acumulado na lateral, que deve ter a altura do vão, servindo de apoio a verga. Já no espaço abaixo do vão da janela, devem ser colocados dois montantes com 38mm a menos que a altura do peitoril da janela, de maneira a receber mais uma peça horizontal. Nos espaços abaixo e acima da abertura da janela, devem ser instalados montantes, seguindo o espaçamento padrão entre 40 e 60cm para que sirvam de apoio as placas de fechamento que serão instaladas (SACCO e STAMATO, 2008).

O painel OSB (oriented strand board) é um aglomerado de madeira, formados por três camadas cruzadas perpendicularmente de partículas ou tiras de madeira orientadas e coladas com resina à prova d'água sob prensagem a quente proporcionando desta forma maior rigidez e resistência mecânica a estrutura (**Figura 15**) (LAHR e LEITE, 2015). Ele é o responsável pelo contraventamento vertical do sistema ao ser fixação na face externa das paredes. Desta maneira, pode-se concluir que as paredes também exercem função de contraventamento (ação diafragma) dentro do sistema wood frame (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

Figura 15: Orientação partículas de madeira em chapas OSB.

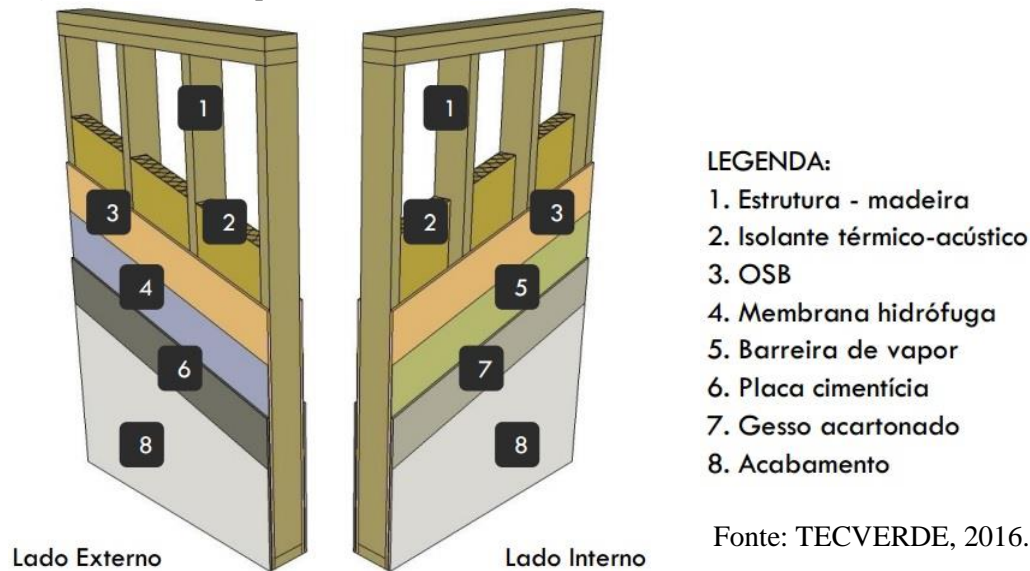


Fonte: Adaptado OSB – Performance by Design, 2005 apud SILVA, 2014

Quanto à produção, os painéis normalmente são produzidos em espessuras que variam de 6,0 a 19,0 mm, mas também pode ser produzidos até a espessura de 38,0 mm. São produzidos em chapas de 1220 x 2440 mm (4x8 pol.) para usos estruturais, mas também podem ser produzidos em dimensões de até 3600 x 7320 mm para usos industriais. (MENDES, 2001 apud SILVA, 2014)

Além do esqueleto estrutural, formado pelos montantes de madeira, a parede em Wood frame conta com materiais que desempenham função de isolamento térmico e acústico, de vedação e acabamento. (TECVERDE, 2016)

Figura16: Camadas parede em Wood Frame.



Os revestimentos podem ser utilizados tanto dentro quanto fora da edificação. Além dos sidings de aço, madeira ou plástico desenvolvidos especificamente para revestir paredes externas deste sistema, diversos outros materiais podem ser utilizados, como argamassa armada e placas cimentícias que dão o acabamento semelhante ao da alvenaria (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

A membrana hidrófuga e a barreira de vapor desempenham função de proteção as paredes internas ou externas que ficam expostas à água da chuva ou umidade, pois tratam-se de uma película que evita a penetração da água na parede, protegendo a estrutura e aumentando sua durabilidade. A estanqueidade do sistema deve ser garantida. Por cima dessa proteção vem o acabamento, sendo a placa cimentícia comumente utilizada em áreas externas e o gesso acartonado em áreas internas. Por último, sobre essas chapas podem ser aplicados uma variedade de materiais como pintura, cerâmicas, porcelanatos, pastilhas, azulejos, etc. (TECVERDE, 2016)

Na função de isolamento térmico e acústico da edificação são utilizadas mantas de lã de vidro ou lã de rocha no interior das paredes. Embutida nos vãos internos aos montantes dos painéis estão também as instalações elétricas e hidráulicas o que agrega praticidade e agilidade a

construções em casos de reparos ao se comparar à uma construção de alvenaria convencional (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

No Brasil ainda não existe uma norma específica para o dimensionamento de painéis estruturais no Wood frame sendo este dimensionamento feito a partir de critérios estabelecidos pela norma americana WFWC 2001 e pelas normas europeias DIN 1052 e EUROCODE 5 Parte 2 (1997), que baseiam-se nas variedades climáticas e sísmicas de cada região (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

A norma brasileira de madeiras NBR 7190/1997, pode auxiliar no dimensionamento de peças estruturais individuais de madeira, porém seu uso não é completamente adequado ao Wood frame, já que neste sistema o dimensionamento das peças considera que as paredes e pisos têm comportamento de placa ou chapa, recebendo cargas tanto no seu plano, quanto perpendicular a este (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010). Faz-se necessário a consolidação de uma norma específica para o sistema a fim de estabelecer parâmetros que garantam segurança ao processo construtivo e desta forma contribuindo na disseminação do seu uso. (LAHR e LEITE, 2015).

4.2.3.3. Lajes / Pisos

O conjunto de elementos que formam o piso no sistema Wood Frame ficam apoiados sobre os painéis estruturais de parede que solicitam os montantes na direção paralela as fibras, descarregando os esforços no pavimento inferior ou fundação. (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

A composição do piso é feita por barrotes de madeira com seções que podem variar de 40 mm x 185 mm a até 60 cm x 250 cm ou vigas I de madeira como opção para vencer vãos maiores com até 8 m de comprimento (SACCO e STAMATO, 2008).

As vigas de madeira com seção I possuem a mesa formada por madeira maciça ou LVL (Laminated Vanner Lumber) e alma de OSB ou compensado colados com resinas estruturais formando uma ligação rígida. Trata-se de uma utilização interessante uma vez que proporciona perfis leves e resistentes, capazes de resistir a esforços de flexão oriundos do peso próprio da estrutura e cargas acidentais (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

Os espaços entre os barrotes ou vigas costumam ser de 40cm, podendo ter 30cm em casos eventuais, dependendo da carga do piso. Os barrotes são perfis horizontais de madeira e devem estar posicionados em conformidade com os montantes dos painéis verticais que dão suporte

ao piso superior e portanto, pode-se concluir que em edificações com mais de um pavimento, o pavimento inferior deverá ter os montantes da parede com espaçamento de 40cm e somente no último pavimento os montantes das paredes poderão espaçamento maior que 40cm até 60cm. Acima dos perfis horizontais é formado um deck, composto por chapas OSB ou compensado naval. Quando a opção de uso é pelo compensado naval, este deve ter cola fenólica e ser tratado em autoclave com as mesmas características do pinus. Já na opção pelas placas OSB, o modelo do tipo home que contém cupinicida na resina é o mais utilizado para usos perenes. As placas OSB devem estar dispostas transversalmente em relação aos barrotes, obtendo mais resistências a flexão no maior sentido (SACCO e STAMATO, 2008).

O deck formado pelo OSB ou compensado naval funciona nesse sistema como contrapiso. Acima do deck são instalados os revestimentos finais, utilizando quando necessário a manta intermediária para garantir a isolação acústica. Nas áreas úmidas ou molhadas, são utilizadas chapas cimentíceas coladas diretamente acima do contrapiso e acima da chapa cimentícea ainda é aplicada através de pintura, uma impermeabilização do tipo membrana acrílica impermeável. Aplica-se também fibra de vidro com estruturante nas juntas entre placas cimentíceas e nos cantos com paredes. Somente acima da impermeabilização é colocado o piso final, preso através de argamassa colante (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

4.2.3.4. Coberturas

A estrutura que apoia o telhado ou cobertura do sistema fica apoiada sobre as paredes do último pavimento da edificação. As opções de cobertura são variadas, podendo ser adotados telhados contidos, lajes impermeabilizadas com cobertura verde, telhados aparentes comuns e neste caso não há restrições quanto ao tipo de telha a ser utilizada. A escolha da cobertura irá influenciar no uso de painéis ou estruturas convencionais como treliças de madeira pré-fabricadas, montadas na obra (TECVERDE, 2016).

A escolha de telhado convencional, implica no posicionamento de treliças pré-industrializadas de madeira com conectores do tipo chapas de dentes estampados, sobre as paredes do último piso da construção. Por se tratar de uma estrutura de cobertura leve ocorre um alívio das cargas nos nós das treliças diminuindo o espaçamento entre elas que pode variar entre 60 e 120cm a dependendo da telha a ser utilizada (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; SACCO e STAMATO, 2008). O uso das treliças industrializadas resulta numa redução de até 40% do

peso da cobertura, já que as seções dos elementos que a compõem são de 3 x 7cm (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

Na opção pelo uso das telhas do tipo shingle é necessária a colocação de um deck de OSB sobre as treliças que servirá de base de apoio. (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; SACCO e STAMATO, 2008). Por esta telha ser asfáltica, é obrigatório o uso de lã para garantia da isolamento térmica do sistema. O deck formado pelas placas OSB funcionará também como contraventamento vertical do sistema (SACCO e STAMATO, 2008).

O uso de telhas cerâmicas ou de concreto, as ripas de apoio apoiam-se sobre as treliças e entre elas é necessário o cuidado de se aplicar uma manta para garantia da estanqueidade (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010; SACCO e STAMATO, 2008). Nesta situação o contraventamento é obtido por sarrafos na forma de “X” entre os pontaletes das treliças. A fixação dos suportes de forro em drywall é feita transversalmente sob as treliças, sendo opcional a aplicação de lã mineral sobre o forro (SACCO e STAMATO, 2008). Outras opções de telha são as metálicas, de fibrocimento e outras (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

4.2.3.5. A Madeira para uso no LWF

No Brasil, madeira é subutilizada como material construtivo, pois existe uma ideia de que é um material de pouca qualidade e pouco durável. A informação errônea é consequência do uso de madeiras não indicadas, de baixa qualidade e sem os tratamentos necessários. Porém os novos paradigmas da sustentabilidade e as transformações sociais vêm forçando a revisão deste conceito. Uma reavaliação pode ser feita a partir da adoção de ações como: escolha correta da espécie de madeira, o tratamento adequado do material e o conhecimento de novas tecnologias que tem como resultado uma maior vida útil as edificações. (NUMAZAWA, 2009 apud LAHR e LEITE, 2015).

A determinação das madeiras nos grupos de uso final na construção civil é definida por meio de um critério em que são identificadas as propriedades e características consideradas necessárias para o bom desempenho no uso especificado. Para cada propriedade identificada fixam-se valores mínimos e máximos, tendo como base os valores de madeiras tradicionalmente empregadas nos usos considerados. (LAHR e LEITE, 2015).

A adequação das madeiras selecionadas deve-se primeiramente pela identificação dos principais grupos de usos com seus componentes e seus requisitos técnicos e posteriormente a compatibilização das propriedades da espécie, nos seus níveis apropriados de desempenho, com os requisitos técnicos dos componentes de construção, levando-se em consideração também suas dimensões, formas, defeitos abolidos ou aceitáveis, para então

indicar as espécies de madeiras para uso como matéria-prima nos componentes selecionados. (LAHR e LEITE, 2015).

No processo construtivo WF são utilizadas madeiras de reflorestamento, certificadas e tratadas, normalmente são escolhidas pinus e em menor quantidade o eucalipto. (LOPES, 2013; LAHR e LEITE, 2015; TECVERDE, 2016). Segundo LOPES (2013), a madeira a ser utilizada neste meio deve apresentar três características: estar seca, reta e livre de grandes nós.

Tanto o pinus como o eucalipto são espécies de reflorestamento que possuem rápido crescimento. A exposição da madeira sem tratamento adequado a fatores ambientais facilita o ataque de insetos e microrganismos o que pode comprometer a segurança das construções em madeira. A preferência pelo pinus no sistema WF está relacionada a esta segurança contra xilófagos, já que por ser uma conífera, a madeira do pinus é mais leve, não apresenta cerne e seu lenho é completamente permeável ao tratamento de preservação, o que não ocorre com a maioria das madeiras nativas brasileiras que são folhosas, inclusive o eucalipto. O tratamento do pinus em autoclave com produtos hidrossolúveis são os mais recomendados contra ataque de fungos e cupins, em especial o CCA (Cobre-Cromo-Arsênio) e o CCB (Cobre-Cromo-Boro). (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

O Brasil apresenta uma grande área de florestas plantadas de pinus principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste, o que torna o sistema wood frame sustentável do ponto de vista de demanda. No entanto, não existem normas brasileiras para o wood frame e no que se refere ao tratamento preservante do sistema os construtores utilizam como referência as normas norte-americanas e canadenses que recomendam a retenção mínima de 4,0kg de ingrediente ativo/m³ para madeiras utilizadas em aplicações gerais. Para peças sujeitas ao contato direto com a fundação de concreto ou umidade a recomendação mínima é de 6,5 kg de ingrediente ativo/m³ (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

Ao se falar em segurança contra incêndio, a principal preocupação de órgãos normativos costuma estar relacionada à garantia na permanência da capacidade resistente da edificação por período suficiente à evacuação total de pessoas e não estando ligada primordialmente ao interesse de preservação do patrimônio. Diante disto, pode-se dizer que quando comparada com outros materiais usuais na construção civil, como aço e concreto, a madeira apresenta ótimo comportamento estrutural (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010). Quando expostos ao fogo, elementos estruturais de madeira carbonizam primeiramente seu perímetro externo, mantendo seu interior de madeira praticamente intacto (PINTO, 2001 apud CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

4.2.3.6. Outras considerações sobre LWF

Em comparação com materiais de construção mais convencionais, a madeira é um material renovável, que consome de baixo teor energético em sua produção, que sequestra CO₂ da atmosfera e consome sua própria energia durante seu processo produtivo. Além disso, possui excelente trabalhabilidade, desempenho acústico e térmico, absorvendo até 40 vezes menos calor que a alvenaria de tijolo, além de ser um material leve em comparação com a sua resistência, facilitando o transporte e montagens de peças, tornando-o adequado a industrialização dos elementos. (CALIL JUNIOR e MOLINAS, 2010).

Associado ao conceito de uma construção leve e limpa, o sistema exige um projeto específico adequado aos componentes pré-fabricado, onde a viabilidade do sistema está diretamente relacionada ao tempo de execução dos projetos, a redução de desperdícios, além da qualidade final garantida através do processo industrializado. (BERNARDES, FOLLE, GARCIA, MARTINS, ROMANINI, 2014)

Embora existam inconvenientes que causam maior resistência de mercado, como limitação de altura das edificações em até 5 pavimentos e a necessidade de mão-de-obra especializada e de oferta reduzida, os benefícios do Wood Frame fazem do sistema uma excelente opção. Sustentável, o sistema está associado a obras rápidas com menor geração de resíduos, flexibilidade de projetos, conforto, durabilidade e eficiência das construções (SOUZA, 2012 apud LAHR e LEITE, 2015).

4.3. O Bambu

4.3.1. A Escolha do Bambu

Versatilidade é a característica mais marcante do Bambu, que possui diversos usos pelo mundo, principalmente nos países asiáticos. É também um material flexível, resistente, durável, tolerante a solos com baixa fertilidade e diferentes climas, sendo a matéria-prima natural mais rapidamente produzida. Segundo Beraldo (2007), "Ele apresenta uma das estruturas mais perfeitas da natureza, pois combina flexibilidade com leveza" (MORAIS, 2007).

A versatilidade do bambu é tamanha, que ele pode ser usado para sombreamento, quebra-vento, proteção contra a erosão, abrigo da vida animal, tubo para condução de água, drenagem, divisórias, forros, esteiras e ainda possui inúmeras aplicações para decoração e artesanato. Mas, sem dúvida, uma das utilizações mais importantes para os brasileiros seria na construção de estruturas residenciais. (MORAIS, 2007).

O crescimento do bambu é em média de 30% mais rápido do que espécies de árvores de rápido crescimento e como consequência desse crescimento acelerado, tem o seu rendimento, em peso por hectare ao ano, 25 vezes maior do que o da madeira. Possui alta absorção de carbono, converte mais CO₂ em O₂ do que as árvores, o que faz do bambu uma planta ainda mais benéfica para o equilíbrio ambiental (CASAGRANDE JR, 2005). A energia para produção do bambu também caracteriza outra vantagem em relação à madeira já que são necessários 300 MJ/m³ no caso do bambu enquanto que para a madeira são necessários 600 MJ/m³ (JANSSEN, 1981 apud SOARES, 2013).

Produtos à base de bambu processado (“madeira” de bambu) podem substituir, ou até mesmo evitar, o corte e o uso predatório de florestas tropicais, destacando-se, dentre outros, produtos como carvão, carvão ativado, palitos, chapas de aglomerados, chapas de fibra orientada (OSB), chapas entrelaçadas para uso em fôrmas para concreto (compensado de bambu), painéis, produtos à base de bambu laminado colado (tais como pisos, forros, lambris), esteiras, compósitos, componentes para construção/habitação e indústria moveleira, dentre outros (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Trata-se de uma espécie cicatrizante, possui um sistema radicular rizomatoso, ou seja, seu caule é subterrâneo, o que protege o solo contra erosão e outras calamidades. A classificação de sua espécie divide-se em alastrantes e entouceirantes, e por serem perenes e produzem colmos assexuadamente, todos os anos, sem necessidade de replantio, com grande rendimento anual por unidade de área é considerada uma cultura economicamente viável do ponto de vista agrícola (CASAGRANDE JR, 2005).

Não existe nenhuma espécie florestal que possua maior velocidade de crescimento e aproveitamento por área que o bambu, sendo ele o recurso natural que se renova em menor intervalo de tempo (JARAMILLO, 1992 apud PEREIRA e BERALDO, 2008).

Do ponto de vista da construção civil, ele pode substituir o aço em vigas, colunas de concreto e placas de fibrocimento, com a vantagem de consumir menos energia. Segundos estudos na Índia, a substituição da madeira pelo bambu pode suprir 1/4 das suas necessidades, poupando 11.000 hectares de floresta por ano, podendo gerar 1.200 novos empregos para a população extremamente pobre (CASAGRANDE JR, 2005).

Em termos de propriedades estruturais, se consideradas as relações resistência/ massa específica e rigidez/ massa específica, tais valores relacionados ao bambu superam as madeiras e concreto, podendo ser comparáveis ao aço (JASSEN, 2000 apud PEREIRA e BERALDO, 2008).

Segundo LAUS (2010), “O maior exemplo de Desenvolvimento Sustentável e Preservação Ambiental: Uma árvore demora sete anos para ser cortada uma ÚNICA VEZ. O bambu pode ser cortado em três anos e NASCE NOVAMENTE!”.

4.3.2. Taxonomia, Distribuição Geográfica

A Taxonomia é o estudo que baseado em características comuns, define os grupos de organismos biológicos, dando nomes a estes. Cada grupo recebe uma nota e podem se agregar a outros grupos de modo a formar um super grupo de maior pontuação, criando uma classificação hierárquica (WIKIPÉDIA, 2016). A classificação das plantas segue hierarquias biológicas começando pela divisão em famílias, que são divididas em subfamílias, que por sua vez são divididas em gêneros e estes são divididos em espécies e variedade (SOARES, 2013).

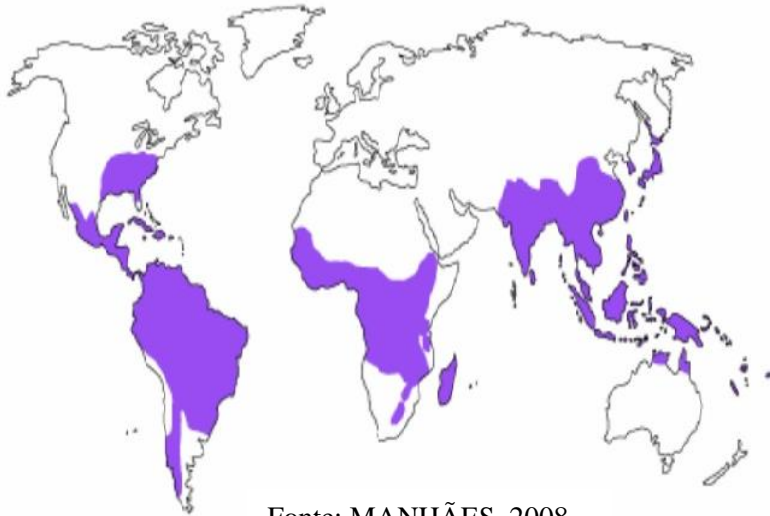
Bambu é o nome que se dá às plantas pertencentes a sub-família Bambusoideae da família das gramíneas (*Poaceae* ou *Graminae*), mesma família da cana-de-açúcar e trigo. Essa sub-família se subdivide em duas tribos, a *Bambuseae*, os bambus chamados de lenhosos e a *Olyrae*, os bambus chamados herbáceos (WIKIPÉDIA, 2016; LONDOÑO, 2002 apud MANHÃES, 2008).

O Bambu é um vegetal muito antigo, com mais de 200 milhões de anos, sendo representante de 3% das florestas do planeta (SANTI, 2015). Segundo Hidalgo-López, são existentes aproximadamente 1300 espécies de bambu e 50 gêneros, espalhadas na forma nativa por todo o mundo com exceção da Europa, na proporção de 62% Ásia, 3% África e Oceania, 34% Américas (**Figura 17**) (HIDALGO-LÓPEZ, 2003 apud BERALDO E PEREIRA, 2008).

Essa ampla distribuição acontece por o bambu ser uma planta que se habitua a diferentes condições climáticas dos trópicos as regiões temperadas, de temperatura média entre -15°C e 40°, se adapta a diferentes altitudes de 0 a 3.800 metros, enfrentando umidade relativa de 35% a 100%, com índice pluviométrico de 500-4500 mm/ano, com melhor produtividade em solos de pH entre 4,5 e 7,5 (SANTI, 2015). No entanto, sua maior abundância está em regiões quentes e com chuvas abundantes, entre as latitudes 50° sul e 50° norte, nos trópicos e subtropicais, na Ásia tropical e subtropical, na América do Sul e na África (BERALDO E PEREIRA, 2008; SOARES, 2013).

As temperaturas altas impulsionam o desenvolvimento dos bambus, sendo que a maioria das espécies se adapta bem ao clima tropical com temperaturas entre 8°C e 36°C. Em contrapartida,

Figura 17: Distribuição geográfica dos bambus lenhosos no mundo



Fonte: MANHÃES, 2008.

as temperaturas mais baixas o inibem, porém com exceções como alguns bambus do gênero *Phyllostachys* que tem bom crescimento em climas frios, suportando temperaturas de até -15°C (BERALDO E PEREIRA, 2008).

Como já mencionado acima, o bambu também se adapta bem a

maioria dos tipos de solo, porém solos férteis, soltos e bem drenados, de pH entre 5,0 e 6,5 são os mais apropriados para o seu plantio e crescimento. Por outro lado, solos salinos não são adequados para o seu cultivo, assim como solos muito úmidos ou que possuem lençol freático alto podem prejudicar o seu desenvolvimento. Em relação às chuvas, o bom desenvolvimento desta planta está em locais com precipitações iguais ou superiores a 1.200 mm anuais (BERALDO E PEREIRA, 2008).

4.3.3. Características biológicas e morfológicas do bambu

O bambu é definido como uma gramínea arborescente (NOIA, 2012). Assim como as árvores, o bambu é constituído de uma parte aérea e outra subterrânea. A parte subterrânea é formada pelo rizoma e raízes. A parte aérea, que na árvore corresponde ao tronco ou caule, no bambu recebe o nome de colmo e normalmente é oco. São as características do seu colmo que definem o bambu como uma planta lenhosa, monocotiledônea e pertencente às Angiospermas (sementes protegidas) (PEREIRA e BERALDO, 2008).

4.3.3.1. Colmo

O bambu é um material ortotrópico, o que significa que possui alta resistência ao longo do colmo e baixa resistência no sentido transversal às fibras. Os colmos se diferem em altura, espessura de parede, diâmetro e forma de crescimento de acordo com a espécie pertencente e essas diferenças na formação do bambu influenciam nas propriedades mecânicas dele (OLIVEIRA, 2006). Desta forma, enquanto que os bambus arbustivos ou ornamentais (algumas

espécies do gênero *Sasa* e *Pseudosasa*) têm seus colmos com apenas alguns centímetros de altura e poucos milímetros de diâmetro, outros podem atingir até 30 m de altura e até 30 cm de diâmetro, como nas espécies gigantes (principalmente gênero *Dendrocalamus*) (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Diferente das madeiras que possuem crescimento radial, o colmo já emerge do

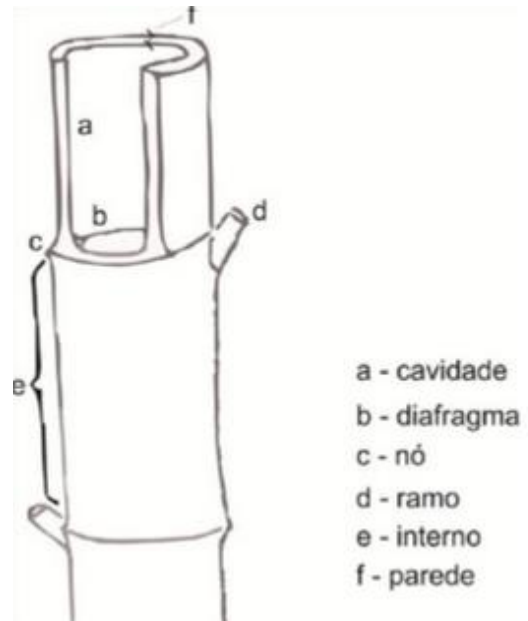
solo com o diâmetro que vai ter por toda a vida e à medida que vai subindo em direção ao topo da planta, este diâmetro vai diminuindo. Como resultado desse processo de crescimento, as partes mais baixas, que são as mais antigas, possuem mais durabilidade e resistência (OLIVEIRA, 2006).

Os internós ou entrenós têm em média de 20 a 35cm na maioria das espécies, costumam aumentar de tamanho da base até o meio do colmo e a partir daí vão diminuindo em direção ao topo (LIESE, 1985 apud PEREIRA e BERALDO, 2008).

Tratando-se de uma mesma espécie, o diâmetro do colmo é resultado das condições locais, principalmente pelo tipo de solo e pelo clima e também pela idade da touceira, atingindo o máximo da espécie por volta do quarto ou quinto ano de plantada (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O caule ou colmo de qualquer espécie de bambu completa seu crescimento em poucos meses após o surgimento do broto, atingindo sua altura total em 30 dias para espécies de pequeno porte e 180 dias para espécies gigantes. Geralmente em estação chuvosa, os colmos brotam anualmente, crescendo de 20 cm a 1 m por dia, a depender da espécie (PEREIRA e BERALDO, 2008). As espécies alastrantes costumam crescer mais rapidamente durante o dia, enquanto que as espécies entouceirantes, crescem preferencialmente a noite, sendo que as alastrantes possuem um ritmo mais rápido de crescimento que as entouceirantes (PEREIRA e BERALDO, 2008; GHAVAMI, 1990 apud. NOIA, 2012). Seu recorde de crescimento foi de 121cm em 24h é considerada a planta que cresce mais rapidamente em todo o planeta. Após o período inicial de crescimento, ao alcançar sua altura total, o colmo inicia um processo de amadurecimento de 3

Figura 18: Seção de um colmo de Bambu e suas denominações



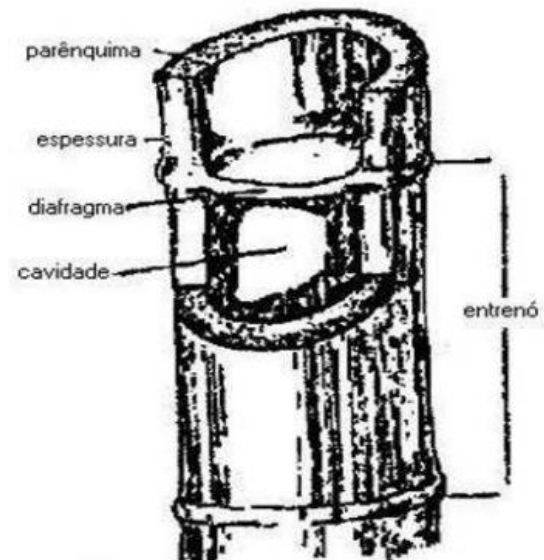
- a - cavidade
- b - diafragma
- c - nó
- d - ramo
- e - interno
- f - parede

Fonte: FERREIRA, 2010

a 6 anos que é quando suas propriedades de resistência mecânica se estabilizam (PEREIRA e BERALDO, 2008; TIRELLI, 2007 apud SOARES, 2013).

Em relação à anatomia dos colmos (**Figura 19**), o bambu é composto de cortéx, parênquima, fibra e sistema vascular. Desde a periferia até a parte interna, assim como desde a base até o ápice do colmo ocorre uma variação de forma, tamanho, número e concentração vascular. Nos internós as células são orientadas paralelamente ao eixo de crescimento do colmo, enquanto que nos nós surgem as interconexões transversais. A parte externa do colmo é constituída de uma camada de células epidérmicas cobertas por uma camada de cera. Na face interna da parede do colmo há um predomínio do tecido parênquimático e na face externa o domínio é de feixes de fibra (NOIA, 2012).

Figura 19: Anatomia do Bambu



Fonte: FERREIRA, 2007

A seção transversal de uma parede de bambu consiste das seguintes partes:

- Superfície exterior dura e lustrosa, a qual parcialmente evita a perda de água do colmo;
- Células de parênquimas, onde os nutrientes são armazenados;
- Feixes vasculares contendo:
 - Vasos através dos quais há o movimento da água;
 - Tubos de seiva;
 - Fibras de paredes grossas, que são responsáveis pela resistência do bambu, sendo que 60 a 70 % da massa do colmo correspondem às fibras. A capacidade da fibra do colmo cresce progressivamente enquanto os feixes vasculares tornam-se menores no tamanho e mais densos do interior para a superfície exterior do colmo, não sendo distribuídos uniformemente. Portanto, propiciam à parte externa maior resistência mecânica (FERREIRA, 2007).

4.3.3.2. Rizomas e Raízes

Na parte subterrânea do bambu estão raízes e rizoma. É do rizoma que brotam os colmos e onde são armazenados nutrientes que são necessários para o crescimento destes colmos (PEREIRA e BERALDO, 2008). Imagina-se que o sistema de raízes do bambu seja unificado, assim como o de árvores convencionais, porém o nascimento de novos colmos anualmente, ou seja, o crescimento do bambu, se dá, assexuadamente, através da ramificação dos rizomas. Essa

ramificação ocorre de duas maneiras distintas, originando dois principais grupos de bambu: os leptomorfos ou alastrantes ou monopodiais (**Figura 20**) e os paquimorfos ou entouceirantes ou simpodiais (**Figura 21**) (PEREIRA e BERALDO, 2008; NOIA, 2012).

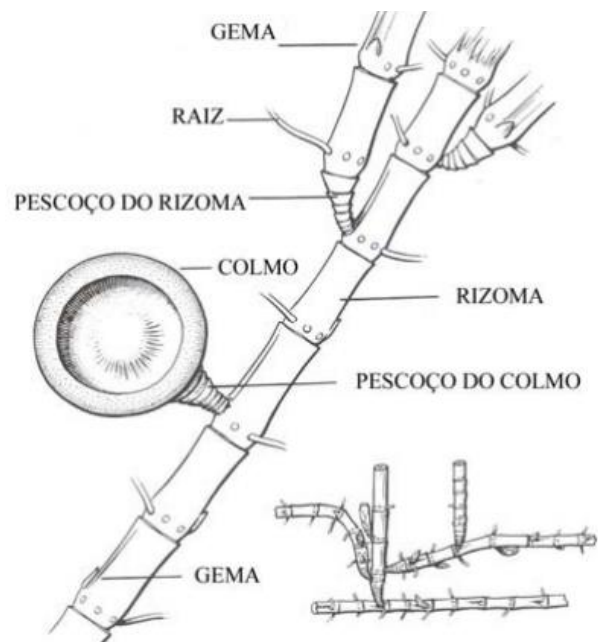
No grupo dos alastrantes, como o nome já diz, se alastram, crescem de maneira descentralizada e desordenada, espalhando-se facilmente para todos os lados (MARÇAL, 2008). Seus rizomas são do tipo leptomórfico, caracterizados por serem alongados, duros e finos, de forma cilíndrica ou quase cilíndrica, com entrenós longos, espaçados e raramente maciços, tendo geralmente a orientação horizontal (GENEROSO, 2014; MARQUEZ, 2006).

É um grupo mais comum em locais de clima frio e temperado, pois são resistentes às baixas temperaturas. Normalmente, possuem diâmetro menor do que os colmos que irão originar. No nó do rizoma existe uma gema lateral geralmente em dormência, que quando em estado ativo, desta gema brota um novo colmo ou um novo rizoma, que se desenvolve lateralmente, germinando em aproximadamente 10% das gemas. Em um ano, pode crescer de 1 a 6 m, formando uma teia que pode chegar de 50 a 100 mil metros lineares por hectare. Outra característica deste tipo de bambu é a existência de folhas e ramos nas partes altas do colmo mesmo antes que este alcance sua

altura final. A maioria das espécies de bambu representantes do grupo alastrantes fazem parte dos gêneros *Arundinaria* e *Phyllostachys* (PEREIRA e BERALDO, 2008).

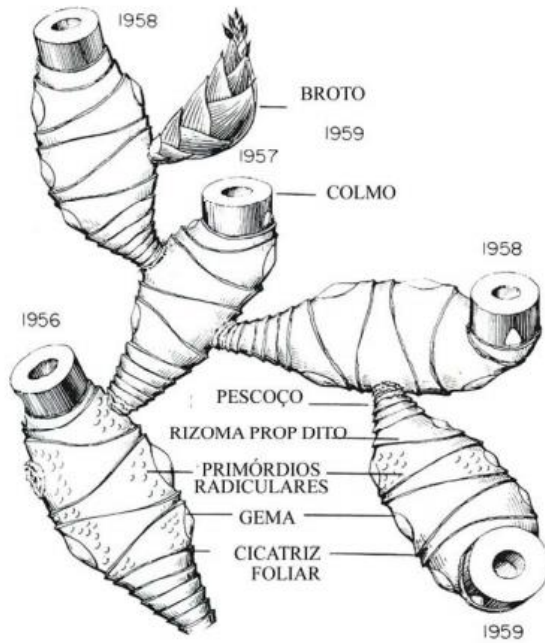
Já no grupo de bambus entouceirante, os colmos nascem e se desenvolvem agrupados uns aos outros. São mais característicos nas regiões quentes e tropicais, englobando a maioria das espécies tropicais, tendo um crescimento desacelerado em baixas temperaturas. Os rizomas são sólidos, com raízes na sua parte inferior, do tipo paquimórfico por serem curtos e grossos, com entrenós assimétricos e raízes na parte inferior, normalmente sendo mais grossos do que o colmo anterior do qual se originou (PEREIRA e BERALDO, 2008; SAFE, 2004 apud GENEROSO, 2014).

Figura 20: Rizomas do tipo leptomorfos, monopodiais ou alastrantes.



Fonte: SILVA, 2005

Figura 21: Rizoma do tipo paquimorfos, simpodiais ou entouceirantes



Fonte: SILVA, 2005

Embora seus rizomas possuam gemas laterais que se ativam, dando origem a novos rizomas e colmos, a maioria das gemas permanecem inativas. O crescimento de novos rizomas acontece horizontalmente em curtas distancias e logo sua gema apical volta-se para cima originando um novo colmo. A cada ano uma das gemas deste rizoma se ativa formando um novo rizoma, que por sua vez, irá formar um novo colmo, processo que permanece ano após ano, formando-se rizomas que se desenvolvem perifericamente, agrupados uns aos outros em forma de touceira, que pode conter de 30 a 100 colmos (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Geralmente de 5 a 10 novos colmos são formados anualmente, a depender das condições locais, de manejo e da espécie pertencente a este grupo de bambus. Em condições naturais, verão ou no outono é quando ocorre a brotação e a formação de novos colmos durante a estação chuvosa, que no Brasil, normalmente corresponde a janeiro. As espécies representantes de bambu do tipo entouceirante fazem parte principalmente dos gêneros *Bambusa* (**Figura 22**), *Dendrocalamus* (**Figura 23**), *Guadua* e *Gigantochloa* (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Figura 22: *Bambusa Vulgares*



Fonte: FERREIRA, 2010

Figura 23: *Dendrocalamus Giganteus*



Fonte: FERREIRA, 2010

As raízes dos bambus fazem parte do sistema subterrâneo da planta. Partindo dos rizomas e seguindo a projeção das copas, elas alcançam profundidades proporcionais ao tamanho de cada espécie. Sua raiz é fasciculada, não possuindo portanto, uma raiz principal. Juntamente com os rizomas, as raízes ajudam a ancorar a planta e ainda têm a importante função de absorver nutrientes e água do solo (SILVA, 2005).

4.3.4. Cultivo do Bambu

O bambu é uma planta que se desenvolve bem, com facilidade, sem a necessidade de adubação, sendo esta uma opção utilizada apenas para melhorar o desempenho da plantação (NOIA, 2012). No entanto, é importante que exista um planejamento ao se implementar o seu plantio em grande escala ou até mesmo para fins ornamentais porque embora o plantar seja uma atividade relativamente fácil, a sua eliminação pode se tornar uma tarefa quase impossível. Nos bambus do tipo entouceirantes, a eliminação depende da movimentação de grande volume do solo, o que torna necessário o uso de equipamentos de grande porte para a sua execução. Os do tipo alastrantes desenvolvem um sistema subterrâneo de raízes e rizomas tão emaranhado que pode gerar um desafio imprevisto, como controlar sua invasão a áreas destinadas a outros usos (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Como já dito anteriormente, o bambu se desenvolve através da ramificação de seus rizomas, caracterizando as duas principais categorias: os entouceirantes (paquimorfos ou simpodiais) que formam touceiras e são bambus de clima tropical ou subtropical que brotam no verão, e os alastrantes (leptomorfos ou monopodiais) que tem o crescimento do colmo individual e são bambus que suportam baixas temperaturas e brotam na primavera. Alguns gêneros de bambu pertencem a uma categoria intermediária entre as anteriormente citadas, apresentando um sistema de crescimento misto (anfipodial) (PEREIRA e BERALDO, 2008).

A plantação do bambu pode ser feita de duas maneiras: reprodução sexuada, através da semente do vegetal, ou reprodução assexuada ou vegetativa. A primeira maneira é pouco prática e usual, pois depende da floração da planta, algo que ocorre esporadicamente, podendo demorar até 120 anos em algumas espécies (NOIA, 2012). A segunda maneira embora apresente certas limitações, é a mais indicada e utilizada para efetuar multiplicação do bambu, acontecendo através da propagação vegetativa por fracionamento, utilizando-se para isso as partes aéreas (colmos e ramos laterais) e/ou a parte subterrânea (rizomas) (PEREIRA e BERALDO, 2008).

A reprodução vegetativa ocorre de maneira distinta para as diferentes espécies. As espécies alastrantes se reproduzem vegetativamente apenas através de seu rizoma, enquanto que as espécies entouceirantes podem se reproduzir tanto através dos seus rizomas, quanto através dos colmos e ramos laterais ou ainda utilizando ambas estruturas. É importante destacar que cada espécie atende melhor a um determinado método (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Os métodos de propagação vegetativa do bambu são:

- **Transplante total**
Ocorre através do desmembramento de touceiras completas, com propágulos completos, compostos por colmos, rizomas e raízes. É utilizado tanto para espécies alastrantes, quanto para espécies entouceirantes, porém indicado apenas para espécies de baixo porte, touceiras ainda em desenvolvimento com colmos pequenos ou para espécies que tenham dificuldade em se desenvolver através dos colmos. Embora seja um método bastante eficiente, possui baixo rendimento, por isso é recomendado apenas para pequenas plantações;
- **Transplante parcial**
Similar ao método anterior, neste caso utiliza-se propágulos com apenas uma seção do colmo, ao invés dele inteiro, com suas raízes e rizomas. Trata-se de método menos eficiente que o anterior e também recomendado para pequenas plantações;
- **Pedaços de rizoma**
Neste caso, os propágulos são formados apenas por pedaços de rizomas e raízes. Mais indicado para espécies alastrantes;
- **Pedaços de colmos**
Os propágulos utilizados neste método são formados por segmentos do colmo contendo uma ou mais gemas primárias, brotadas ou não brotadas. É um método específico de espécies entouceirantes. Tipo de espécie e outros fatores relacionados com a planta e com as condições de enraizamento influenciam o potencial de enraizamento dos propágulos. Enquanto que em espécies de paredes espessas o nível de enraizamento varia de 20 a 100%, nas espécies com colmos de paredes finas, o nível de enraizamento dos propágulos é praticamente nulo;
- **Por ramos laterais**
Método é mais utilizado em touceiras adultas, quando se aproveita a colheita do colmo para realizar o manejo. Os ramos laterais presentes na parte alta do colmo colhido que

possuir de duas a três gemas, devem ser cortados como se fossem estacas e sendo plantados em saquinhos plásticos próprios para a produção de mudas.

(PEREIRA e BERALDO, 2008)

4.3.5. Colheita dos Colmos

O ciclo de corte de um colmo pode variar a dependendo do aproveitamento que se desejar dar a ele que incluem desde o seu uso como broto comestível, quando o colmo possui apenas algumas semanas de vida, até para usos estruturais, quando o colmo possui três ou mais anos. O estabelecimento de uma plantação demora de 5 a 7 anos após o plantio. Geralmente o primeiro manejo de uma plantação estabelecida ocorre no quarto ano, quando são retirados aqueles colmos que nasceram no primeiro ano, no quinto ano são retirados os que nasceram no segundo ano e assim sucessivamente nos anos seguintes (PEREIRA e BERALDO, 2008).

No período de floração, que ocorrem em ciclos espaçados de até mais de 100 anos, os bambus tornam-se mais frágeis e ao final dela, todas as varas existentes daquela espécie morrem. Sendo que para garantir a manutenção da espécie é necessário plantar as sementes que sobram deste processo (OLIVEIRA, 2006).

A colheita dos colmos de bambu deve ser feita anualmente como forma de melhorar o desenvolvimento da touceira (diferentemente da madeira), já que nela sempre existirá variedade na idade dos colmos. Devem ser retirados os colmos maduros e prontos para utilização, os defeituosos e os que começam a secar na moita indicando manejo inadequado ou ataque de insetos. Os jovens colmos não devem ser retirados da moita, pois além de não terem suas propriedades de resistência ainda plenamente desenvolvida, contribuem para o armazenamento de amido do grupo (PEREIRA e BERALDO, 2008).

A maturidade do colmo é identificada pelas características que ele apresenta. Os colmos novos de até 1 ano possuem poucas folhas e ramos, possuem uma cor mais esverdeada e normalmente localizam-se na parte mais externa da touceira. Os colmos entre um e dois anos possuem folhas, ramos e ramificações, uma coloração um pouco amarelada, localizando-se mais no interior da touceira. Aqueles colmos com idade superior a três anos geralmente se notam manchas provocadas por fungos e musgos nos internos, indicando a sua maturidade (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O corte do colmo de bambu nunca deve ser feito durante a estação de crescimento dos colmos, por conta do risco de danificar os brotos que estão em crescimento (LIESE, 1985 apud PEREIRA e BERALDO, 2008). A estação seca é a mais indicada para o corte, pois é quando os colmos contêm menor teor de umidade, tornando-o mais leves o que facilita seu transporte e quando apresentam também menor quantidade de seiva circulando, tornando-se menos atrativos aos ataques de fungos e insetos. Além dessas vantagens, a estação seca no Brasil costuma coincidir com o período de temperaturas mais baixas, momento em que os insetos xilófagos estão menos ativos ou em estado de hibernação. A desvantagem da estação seca está no fato de os colmos tenderem a secar mais rapidamente, o que facilita a ocorrência de defeitos (PEREIRA e BERALDO, 2008).

No caso das espécies entouceirantes que emitem suas brotações no período de dezembro a março, a estação seca corresponde a época em que seus colmos apresentam menor teor de amido, pois este é liberado de maneira intensa durante a fase de geração dos brotos, caracterizando outra vantagem da colheita nesta estação relacionada a durabilidade, pois o grau de ataque dos colmos está ligado diretamente ao seu teor de amido. Já no caso dos bambus alastrantes é importante considerar maior dificuldade a secagem natural dos colmos cortados na estação das chuvas já que estas espécies apresentam a brotação no período de agosto a novembro (PEREIRA e BERALDO, 2008).

A maneira de cortar o colmo também deve ser feita com cuidados específicos. Para espécies alastrantes deve ser feito rente ao solo, já que seu rizoma encontra-se protegido abaixo do solo, enquanto que para espécies entouceirantes, o corte deve ser feito a uns 20cm acima do solo, logo acima de um nó, de modo a evitar a entrada de água e o apodrecimento da parte restante do colmo (PEREIRA e BERALDO, 2008).

4.3.6. Tratamento preservativo dos colmos

Por ser um material biológico, a variação de temperatura, umidade e ataque de insetos são os principais problemas causadores de degradação do bambu e para a sua conservação é necessário tomar alguns cuidados como: o corte do colmo, realização da secagem e tratamento contra fungos (NOIA, 2012).

A presença de amido é seu ponto fraco, sendo as varas com maior concentração de amido no seu interior as mais susceptíveis ao ataque de insetos e fungos (CARDOSO JUNIOR, 2000). Por isso, é importante que seja realizado tratamento nas varas antes da sua utilização para

garantir uma maior durabilidade, que sem tratamento é de 1 a 3 anos e com tratamento fica entre 10 e 15 anos ou mais (CARVALHO, 2004; PEREIRA e BERALDO, 2008).

Conforme já relatado, os colmos devem ser cortados apenas quando maduros, ou seja, com três ou mais anos e na época da seca, sendo esse procedimento responsáveis por aumento na durabilidade natural dos colmos. Porém, logo após a colheita, os colmos devem ser submetidos a algum tipo de tratamento com objetivo de torná-lo mais resistente aos ataques de fungos e insetos (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Existem diversos tipos de tratamentos, desde processos mais naturais, quando os colmos não são submetidos a nenhum processo químico, até aplicação de produtos químicos mais fortes, obtendo-se uma maior eficiência de resultados. (NOIA, 2012).

Dentre os métodos tradicionais estão:

- Cura ou Maturação na mata
Logo após ser cortado, o colmo deve ser mantido afastado do solo, em posição vertical por um período de 4 a 8 semanas, até que ocorra a assimilação da seiva e a queda de suas folhas.
- Cura pela imersão em água
Após o corte, o colmo deve ser submerso em água corrente ou parada por um período de 4 a 7 semanas, quando por meio de fermentação biológica anaeróbica (ausência de ar) o amido existente no seu interior é eliminado ou reduzido. É necessário efetuar a trocas de águas frequentes para evitar geração de odor desagradável e aparecimento de larvas de insetos. No final do processo, o colmo deve ser limpo com água corrente.
- Cura pela ação do fogo
Colmos recém cortados são submetidos ao aquecimento por fogo direto até que ocorra a eliminação da seiva por exsudação. Através do contato com o fogo ocorre o derretimento de uma cera natural presente na parede externa do colmo, ocasionando o surgimento de uma coloração parda brilhante visto em móveis confeccionados em bambu.
- Cura pela ação da fumaça
Os colmos são submetidos a ação da fumaça logo após o corte, tornando-se enegrecidos, além da degradação do amido, aumentando sua vida útil. Embora o método seja o mais

eficiente se comparado aos outros, possui o inconveniente de possuir maior tendência a rachadura nos colmos.

(PEREIRA e BERALDO, 2008; NOIA, 2012)

Como já dito, os métodos químicos são mais eficientes para o tratamento do bambu do que os tradicionais. Na dosagem adequada, os produtos químicos preservativos, além de proteger os colmos dos ataques de insetos e fungos, aumentam a vida útil dos colmos colocados em contato com o chão. Embora sejam tóxicos aos organismos xilófagos, não são tóxicos nem ao homem e nem aos animais. Tais produtos devem penetrar profundamente no bambu a ser tratado não devendo evaporar e nem serem eliminados pelas águas da chuva ou pela umidade do solo. Os produtos químicos utilizados podem ser classificados como: oleosos, óleossolúveis e hidrossolúveis (PEREIRA e BERALDO, 2008).

- Produtos oleosos

O tratamento mais usado é o banho quente / frio a base de creosoto. Muito eficiente contra o ataque de organismos xilófagos, é o tratamento mais indicado para peças com função estrutural. Para realizar o tratamento os colmos devem estar secos. O banho quente tem duração de 2 a 3 horas em creosoto a 90°C, imediatamente depois deve se proceder o banho frio por cerca de 4 horas, também em creosoto só que agora em temperatura ambiente. Finalizado esse processo, as peças devem ficar armazenadas por alguns dias para que o excesso da solução preservativa escorra e as peças estarão aptas a serem utilizadas.

- Imersão em produtos óleossolúveis

Este tratamento consiste em deixar o colmo, que deve estar bem seco, submerso em solução a base de produtos óleossolúveis durante um intervalo de sete dias à temperatura ambiente. Os solventes podem ser o óleo diesel, querosene ou aguarraz.

- Imersão em solução de sais hidrossolúveis

Neste tratamento, produtos preservativos solúveis em água são constituídos de diversos tipos de sais associados, cujo em solução reagem com a lignina presente no bambu formando compostos insolúveis que são tóxicos aos organismos xilófagos. Um dos produtos mais usados é o borato de cobre cromado ou uma mistura de ácido bórico e bórax. O método se aplica em colmos secos, através da sua imersão em solução hidrossolúvel na temperatura ambiente e tem duração de duas a quatro semanas.

Finalizado o tratamento, as peças devem ser armazenadas em local protegido durante alguns dias para que ocorra a difusão da solução.

- Substituição de seiva por sais hidrossolúveis através da transpiração

Neste caso, colmos com até 12 horas após o corte e até 2,5 m de comprimento, devem ser colocados verticalmente em solução similar ao do item anterior, com mais ou menos 80 cm de altura. À medida que a água contida no interior da seiva vai evaporando pela região superior do colmo, a solução preservativa vai sendo sugada pela sua base. O tratamento dura cerca de sete dias, quando o colmo deve ser invertido, permanecendo na nova posição por igual período. Ao final, o colmo deve permanecer por 30 dias na sombra e protegido da chuva para que as reações sejam completadas e ocorra a secagem dos colmos.

- Autoclave

Com o objetivo de acelerar o processo de penetração do produto preservativo nos colmos, pode-se empregar métodos que utilize a pressão. Para colocar na autoclave, o bambu deve estar relativamente seco, na ordem de 20% de umidade e deve ser perfurado com haste metálica, para que não ocorra a explosão do colmo durante o processo de vácuo.

- Boucherie

Outro método que utiliza a pressão, neste caso, ocorre a substituição acelerada da seiva presente no bambu pela penetração do produto preservativo, através de um equipamento pneumático que impulsiona o processo. Deve ser aplicada em colmos recém cortados e permite que sejam tratados ao mesmo tempo vários colmos de diferentes comprimentos. A eficiência deste tratamento depende de fatores como espécie, idade e comprimento do colmo, tipo e a concentração da solução preservativa, pressão aplicada, entre outros. (PEREIRA e BERALDO, 2008; NOIA, 2012)

4.3.7. Características físicas e mecânicas do bambu

Por se tratar de um material natural, as características mecânicas e físicas do bambu variam de acordo com muitos fatores como a espécie a que pertence, condições ambientais como clima, solo e sua constituição química, altitude e condições topográficas onde o colmo se desenvolveu, além de fatores como idade da planta, tempo de corte, teor de umidade e localização da parte do colmo que foi estudada (GHAVAMI, 1989 apud PEREIRA e BERALDO, 2008; MURAD, 2007). Com todas essas variantes, torna-se muito difícil a determinação dos dados e sua

utilização para as diversas localidades e espécies, além do que, a falta de padronização entre os diferentes ensaios, fazem com que cada pesquisador adote uma metodologia distinta (OLIVEIRA, 2006).

O bambu se destaca imediatamente em relação a outros materiais pela sua alta produtividade, apresentando resistência mecânica estrutural em menos de três anos, não existindo no reino vegetal nenhuma concorrente. Acrescentam-se as suas características favoráveis, a forma tabular acabada, estruturalmente estável, baixa massa específica, geometria circular oca, otimizadas em termo de resistência/ massa do material (GHAVAMI, 1989 apud PEREIRA e BERALDO, 2008).

Na avaliação da resistência mecânica do colmo, muitos erros são cometidos devido ao fato de se considerar o colmo do bambu como se fosse uma árvore. O bambu é uma gramínea gigante e suas propriedades de resistência mecânica devem ser consideradas sob as perspectivas longitudinal, da base ao topo do colmo e transversal, ao longo da parede do colmo (HIDALGO, 2003 apud PEREIRA e BERALDO, 2008).

Na perspectiva longitudinal, ao analisar o colmo inteiro, as propriedades mecânicas variam da base ao topo, onde na maioria das vezes, a parte superior no colmo é mais resistente em compressão e flexão, a parte central, onde estão os internós mais longos, é mais resistente em tração, enquanto que a parte inferior do colmo possui menor resistência mecânica. No internó as fibras são mais curtas ao se aproximar do nó e mais longas no centro, sendo portanto, a parte central a mais resistente. Já na perspectiva transversal, a parede do colmo apresenta aumento na massa específica e nas resistências em tração e compressão da parte interna para a parte externa, devido a maior proporção de fibras na região mais externa e portanto, o terço externo da parede é o mais resistente (HIDALGO, 2003 apud PEREIRA e BERALDO, 2008; HIDALGO, 2003 apud NÓIA, 2012).

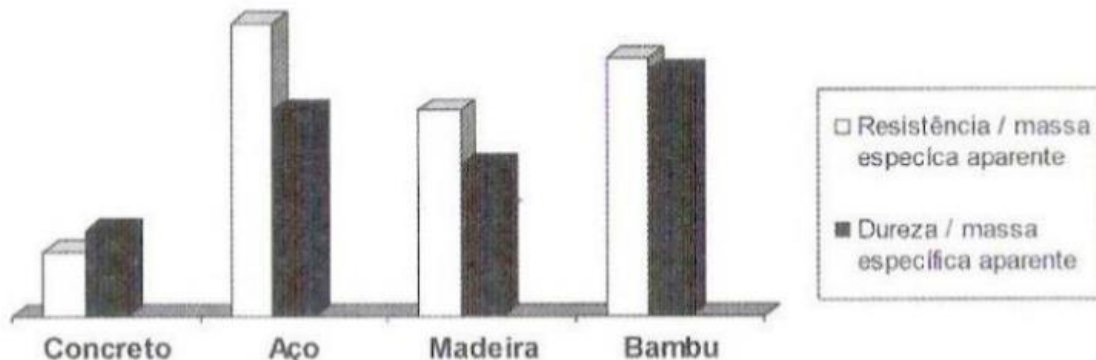
A massa específica aparente ou densidade de massa é uma propriedade física também muito influente na determinação das propriedades mecânicas do bambu. Essa propriedade varia de acordo com local de crescimento, a espécie e principalmente a posição no colmo da qual foi retirada a amostra (NÓIA, 2012). Quanto mais próximo da camada externa do colmo, ou seja, da casca, for realizada a avaliação, maior será a massa específica aparente do material. A umidade, também interfere na determinação desta propriedade, onde até o limite de mais ou

menos 20%, quanto maior for o teor de umidade do colmo, maior será a sua densidade de massa (PEREIRA e BERALDO, 2008).

A densidade dos bambus varia principalmente em função do tamanho, da quantidade e da distribuição dos feixes de fibra ao redor dos feixes vasculares, tendo seus valores entre 500 kg/m³ a 800 Kg/m³. Na região basal, a resistência à flexão é duas a três vezes maior na parte externa do que na interna. As diferenças vão diminuindo ao se aproximar do topo, como consequência do aumento da densidade na parte interna e redução da espessura da parede que internamente apresenta menos seiva e mais fibra (GHAVAMI, 1992 apud OLIVEIRA, 2006). Embora a variação do volume do colmo seja quase insignificante após o seu crescimento, a densidade varia com a idade, sendo menor em colmos imaturos, aumentando gradualmente de 1 a 6 anos idade, permanecendo estável dos 5 aos 8 anos e decrescendo também de maneira gradual após os 8 anos. Os ensaios para cálculo da massa específica aparente de colmos de bambu devem ser conduzidos através da adaptação à norma NBR 7190/97 da Madeira (PEREIRA e BERALDO, 2008).

No quadro abaixo (**Figura 24**) são comparadas as resistências e durezas em relação à massa específica aparente de determinados materiais, mostrando que o bambu somente apresenta valor inferior ao aço (JANSENN, 2000 apud PEREIRA e BERALDO, 2008).

Figura 24: Relação entre a resistência e a dureza, em relação à massa específica aparente, para bambu e outros materiais



Fonte: JANSENN, 2000 apud PEREIRA E BERALDO, 2008)

A volumetria tubular, os arranjos longitudinais de suas fibras formando feixes de micro tubos, conferem ao bambu um excelente desempenho estrutural quanto à compressão, flexão, torção e principalmente quanto à tração (GHAVAMI, 1989 apud MARÇAL, 2008).

Os valores de resistência mecânica das seções de bambu submetidas a testes costumam apresentar valores mais altos em amostras sem nó do que em amostra com nó, assim como a resistência média de corpos de prova cilíndricos é superior àquela obtida dos corpos-de-prova que tenham sofrido modificação geométrica. A dureza axial, aquela paralela às fibras do material, apresenta-se superior às demais, que são nas direções radial e tangencial. Da mesma maneira, as camadas mais externas (cascas), onde está a maior concentração de fibras, mostra-se mais dura do que as camadas mais internas, onde há maior presença de seiva. A resistência ao cisalhamento transversal às fibras do bambu tem seu valor na faixa de 30% da sua resistência à flexão, e sua resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras em torno de 15% da sua resistência em compressão (PEREIRA e BERALDO, 2008).

- Compressão simples

Existe grande variabilidade nos resultados das amostras de bambu, estando a resistência à compressão situada na faixa de 20 a 120 MPa e o módulo de elasticidade entre 2,6 e 20 GPa. Embora exista grande variedade nos resultados encontrados pelos diferentes autores, que investigam diferentes espécies de bambu, os valores encontrados são muito superiores aos encontrados pelo concreto convencional que está na ordem de 15 a 20MPa.

- Tração Paralela

A resistência a tração é considerada na ordem de 2,5 a 3,5 vezes àquela obtida nos ensaios de compressão (SCHIENWIND, 1989). Em geral a resistência à tração do bambu, com ou sem nó, está na faixa entre 40 e 215 MPa e o módulo de elasticidade entre 5,5 e 18 GPa. Algumas espécies pode atingir até 370MPa de resistência à tração.

- Flexão estática

A variação encontrada nos valores de resistência à flexão do bambu estão entre 30 a 170 MPa, o módulo de elasticidade entre 6 a 14 GPa e o módulo de ruptura em flexão varou de 57 a 133 MPa.

(PEREIRA e BERALDO, 2008)

4.3.8. O Bambu no Brasil

As espécies de bambu nativas no Brasil são em sua maioria mais ornamentais, mais finas e com pouca resistência física, a maioria do tipo herbáceo, encontradas normalmente em um meio específico como florestas (PEREIRA e BERALDO, 2008).

Porém, a grande maioria das espécies encontradas no Brasil é exótica, ou seja, não nativa, trazidas para o Brasil de países orientais em períodos de colonização e imigração oriental e são bem adaptadas, se comportando como nativas. Na América, existem espécies nativas como as pertencentes ao gênero *Guadua*, muito comuns em países como Colômbia e Equador, que também espécies exóticas estão presentes no Brasil (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O Brasil possui 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos (174 espécies consideradas endêmicas), sendo 16 consideradas do gênero herbáceo (ornamental) e 18 do gênero lenhoso. No país existem 89% de todos os gêneros e 65% de todas as espécies de bambus conhecidas na América. As mais comuns são algumas de gêneros exóticos como: *Bambusa* (espécies: *blumeana*, *dissimulator*, *multiplax*, *tulda*, *tuldoides*, *ventricosa*, *vulgaris*, *beecheiana*), *Dendrocalamus* (espécies: *giganteus*, *asper*, *latiflorus*, *strictus*), *Gigantochloa*, *Guadua*, *Phyllostachys* (espécies: *aurea*, *purpurata*, *bambusoides*, *nigra*, *pubescens*), *Pseudosasa*, *Sasa* e *Sinoarundinaria* (FILGUEIRAS & GONÇALVES, 2004 apud PEREIRA e BERALDO, 2008).

4.3.9. O Bambu na Construção civil

Utilizada desde os primórdios da civilização, os mais antigos exemplos de arquitetura utilizando bambu encontram-se na Ásia, sendo muito utilizado por japoneses, chineses e indianos em estruturas de pontes, casas, grandes vãos e grandes templos, como o Taj Mahal que inicialmente teve sua cúpula construída em bambu (MARQUEZ, 2006).

Da mesma maneira que na Ásia, em alguns países da América Latina, como: Colômbia, Costa Rica e Equador, o uso do bambu no setor da construção civil é bastante difundido, onde vários exemplos de edificações confirmam sua potencialidade como material construtivo. Além disso, por apresentar de grande flexibilidade, o bambu é considerado um excelente material para construções principalmente em regiões sujeitas a abalos sísmicos. Porém no Brasil, o bambu ainda é visto de maneira desconfiada e pejorativa, estando sua imagem ligada a equipamentos temporários e sem muito valor, conhecido como “a madeira dos pobres” (PEREIRA e BERALDO, 2008).

O preconceito na utilização da planta no Brasil tem relação com a época de combate à doença de chagas, quando as antigas construções de pau-a-pique serviam de habitat para o barbeiro transmissor da doença e o uso do bambu foi abandonado. Questões culturais influenciam no desprestígio dele, já que o brasileiro prefere construções em alvenaria, restringindo o emprego

da espécie a construções improvisadas como galinheiros, ou cercas no meio rural (FERREIRA, 2010).

No entanto, o emprego do bambu em estruturas construtivas poderia melhorar bastante ou até solucionar o problema de déficit habitacional no Brasil, já que com os devidos tratamentos, tem comprovadamente por estudos, a sua eficiência igualada a de qualquer outra madeira, podendo entrar em armações de lajes, sendo isolante térmico, e quando aplicado em paredes, pode ser combinado com os diversos tipos de argamassa, além de baratear os custos em material na obra (NETO, 2015).

Reunindo qualidades como: plasticidade, leveza, flexibilidade e resistência, o bambu permite sua aplicação para diversos fins numa construção, desde que se mantenham cuidados com secagem, tratamento e coleta, levando em consideração principalmente a idade dos colmos utilizados (PEIXOTO, 2008).

Embora possua fins diversos na construção, projetos com bambu devem contemplar grandes beirais com o intuito de evitar a sua exposição à chuva e sol e seus pilares não devem estar diretamente em contato com o solo, atendendo a sabedoria popular colombiana que diz: construções com bambus carecem de boas botas e um bom chapéu (SILVA, 2005).

O conforto térmico proporcionado pelas construções com bambu é resultado da sua característica de isolante térmico. Foi comprovado através de experimentos que a condutividade térmica no bambu para uma transmissão de calor no sentido radial é 15% mais baixa do que na madeira, nas mesmas condições de umidade e no sentido longitudinal, a condutividade é 25% mais baixa que na madeira (GHAVAMI, 2001 apud SILVA, 2005).

As longas fibras e fortes fibras do bambu fazem dele um material muito flexível e resistente as tensões de tração e compressão, ainda permitindo uma facilidade no seu fracionamento do sentido longitudinal dos colmos (PEIXOTO, 2008).

Dentre as diversas vantagens do material, pode-se destacar algumas no seu uso como matéria-prima na construção civil:

- a) Grande e constante produtividade nas plantações;
- b) Baixa massa específica, o que reduz o custo de seu manuseio e transporte;
- c) Forma tubular acabada, estruturalmente estável e com diversas aplicações construtivas, inclusive como tubos hidráulicos;

- d) Resistência mecânica compatível com os esforços solicitantes que estariam submetidas a estruturas adequadamente dimensionadas;
- e) Vida útil dentro das perspectivas normais de vida dos materiais convencionais, relativo as condições ambientais de onde é utilizado, seja ao ar livre ou envolvido por outros materiais;
- (GHAVAMI, 2006 apud PEIXOTO, 2008)
- f) Em relação a outros materiais da construção civil como a madeira, aço e concreto, o bambu compara-se satisfatoriamente, apresentando uma baixa energia necessária para a sua produção por unidade de tensão: 30MJ/m³/MPa, sendo 50 vezes menor que o aço (**Tabela 1**), o que ressalta o seu baixo custo (OLIVEIRA, 2006).

Tabela 1: Relação entre a energia de produção por unidade de tensão

MATERIAL	BAMBU	MADEIRA	CONCRETO	AÇO
MJ/m ³ /MPa	30	80	240	1500

Fonte: GHAVAMI, 1992 apud OLIVEIRA, 2006

Como já visto, os inúmeros usos do bambu dependem das características dos seus colmos e por isso é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. São mais utilizadas para vigas e colunas as extremidades inferiores do colmo por possuírem diâmetro e espessura maiores, sendo assim mais resistentes e mais indicadas para usos em que são aplicadas cargas de tração e compressão. A parte intermediária do colmo é mais empregada para paredes, muros, divisórias, pisos e vigotas e o terço superior é mais indicado para estruturas de telhado, suporte de telhas de barro e de coberturas de palha (SAGADO, 2002 apud PEIXOTO, 2008).

As espécies mais adequadas para o uso associado a construção civil e dentre as espécies prioritárias de bambu recomendadas pelo INBAR (International Network for Bamboo and Rattan), podem-se citar:

- *Bambusa bambos*;
- *Bambusa blumeana*;
- *Bambusa polymorpha*;
- *Bambusa tulda*;
- *Bambusa vulgaris*;
- *Dendrocalamus asper*;

- *Dendrocalamus giganteus*;
- *Dendrocalamus latiflorus*;
- *Dendrocalamus strictus*;
- *Gigantochloa apus*;
- *Gigantochloa levis*;
- *Melocanna bacífera*;
- *Phyllostachys pubescens*;
- *Guadua angustifolia*.

(NOIA, 2012)

O *Dendrocalamus giganteus*, conhecido como bambu-gigante ou bambu-balde, tem rizoma do tipo entouceirante e é um dos bambus mais usados na construção civil. Outro exemplo de bambu muito comum para fins de construção e também um dos mais resistentes é o *Guadua angustifolia*, aqui no Brasil conhecido como taquaruçu, que é do tipo alastrante. No Brasil é bastante utilizado em construções o já citado *Dendrocalamus giganteus* e o *Bambusa vulgaris*, do tipo entouceirante, os bambus alastrantes *Phyllostachys áurea* e como estrutura o *Phyllostachys pubescens*, conhecido como bambu-mosó ou bambu-chinês. Este gênero *Phyllostachys* é o mais variado, possui um grande número de espécies, além de colmos dos mais variados tipos, tamanhos, cores e formas (MARQUEZ, 2006).

5. APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA: O SISTEMA CONSTRUTIVO COM BAMBU

5.1. Considerações iniciais sobre o Sistema Construtivo

O sistema construtivo proposto pretende buscar, por meio da pré-fabricação de componentes estruturais modulares constituído de bambu laminado colado da espécie *Dendrocalamus Giganteus*, impulsionar o uso do bambu por meio da simplificação dos processos construtivos e a redução de impactos ambientais causados pelos métodos de construção convencionais.

De acordo com Da Rosa (2002 apud LIMA, 2013), as três maiores vantagens do bambu sobre os outros materiais são:

- a) O colmo de bambu vive em torno de sete anos e a sua colheita estimula o nascimento de novos colmos. Após retirada do bambuzal o colmo pode durar até 40 anos, caso seja tratado com preservativos;
- b) O colmo adquire resistência estrutural em pouco tempo, com três anos de idade;
- c) O consumo energético oriundo da produção do bambu é muito menor do que nos demais materiais.

A seguir serão apresentadas a espécie escolhida e a aplicação promissora do bambu que é o laminado colado. Em seguida, finalmente é descrito o sistema construtivo proposto, comprovando a possibilidade de uso estrutural e industrializado do bambu, estimulando o emprego deste material que embora seja tão vantajoso e abundante, é tão pouco aproveitado no setor de construção civil do nosso país.

5.1.1. A Espécie escolhida *Dendrocalamus Giganteus*

Conhecida popularmente como bambu balde ou bambu gigante, o bambu da espécie *Dendrocalamus Giganteus* é de origem asiática, sendo uma das espécies mais conhecidas no Brasil. É um bambu com grande aproveitamento do colmo sendo empregado em diversas aplicações como na produção de papel, brotos, móveis, laminados colados, construção civil, artesanato e outros usos (PEIXOTO, 2008).

Dendrocalamus Giganteus é uma espécie de grande porte, uma das maiores entre os bambus, apresentando colmos eretos com altura de 24 a 40 m, diâmetro variando de 10 a 20 cm,

espessura da parede entre 1 a 3 cm e internós variando entre 30 e 50 cm (PEIXOTO, 2008; PEREIRA e BERALDO, 2008).

Esta espécie adapta-se melhor em regiões tropicais úmidas até regiões subtropicais, tem preferência por solos ricos, suportando temperaturas entre -4°C a 25°C . Seus rizomas são do tipo entouceirantes e portanto são curtos, grossos e sólidos se desenvolvendo periféricamente formando touceiras, dificultando a extração por conta da proximidade dos colmos (PEIXOTO, 2008). Para o manejo adequado de espécies de grande porte como esta, é indicado o plantio de mudas com espaçamentos de 10 m x 5 m (GRAÇA, 1988 apud PEIXOTO, 2008).

As tabelas abaixo demonstram a distribuição dos elementos anatômicos ao longo do colmo (**Tabela 2**) e os teores de amido e fração fibrosa e residual (**Tabela 3**) da espécie *Dendrocalamus Giganteus*.

Tabela 2: Distribuição dos elementos anatômicos ao longo do colmo da espécie *Dendrocalamus Giganteus*.

Camada do colmo	Vasos (%)	Fibras (%)	Parênquima (%)
Interna	11	16	73
Intermediária	9	32	59
Externa	8	55	37

Fonte: BERALDO e ZOULALIAN, 1995 apud PEIXOTO, 2008

Tabela 3: Teores de amido e frações fibrosas e residual da espécie *Dendrocalamus Giganteus*.

Região do colmo	Amido (g/kg)	Fração fibrosa (g/kg)	Fração residual (g/kg)
Base	21,49a	700,68a	140,71a
Meio	38,28a	689,92a	182,37a
Ponta	21,66b	740,04a	175,82a
Média	27,14a	710,21a	166,30a
F	21,50**	0,68 n.s.	2,67 n.s.
D.M.S.	9,03	-	-
CV (%)	13,27	7,79	14,28

Fonte: AZZINI e BERALDO, 2000 apud PEIXOTO, 2008

Os polímeros de amido presentes nas células parenquimáticas dos bambus são um grande atrativo para o caruncho que ataca o colmo após o corte, portanto o teor de amido no colmo de bambu está diretamente ligado a sua susceptibilidade ao ataque do caruncho e consequentemente a sua durabilidade. De acordo com a **Tabela 3**, os teores de amido e açúcar contidos nos colmos da espécie *Dendrocalamus Giganteus* são considerados médios, o que confere a esta espécie uma boa resistência ao ataque de insetos (PEIXOTO, 2008).

Por possuir colmos eretos, com dimensões e espessuras avantajadas, essa espécie é uma das mais indicadas para extração de laminas, ripas ou partículas que poderão ser comercialmente

exploradas na fabricação de produtos através do seu beneficiamento (NOGUEIRA, 2008). Além disso, a velocidade de crescimento do colmo da *Dendrocalamus Giganteus* pode chegar a 40 cm/dia, enquanto que a velocidade média de crescimento dos colmos de bambu está na faixa de 8 a 10cm / dia (LOPÉZ, 1978 apud PEIXOTO, 2008).

Sabendo da necessidade de conhecer as propriedades físicas e mecânicas da espécie de bambu que se deseja utilizar em escala industrial, foi pesquisado na literatura, estudos com objetivos similares ao deste trabalho, que demonstrassem os valores das propriedades da espécie *Dendrocalamus Giganteus*.

Em seu trabalho de mestrado, Peixoto (2008) propôs um sistema construtivo que objetivava impulsionar o uso do bambu na construção civil, por meio da pré-fabricação de componentes modulares de modo a simplificar o processo construtivo com esta matéria prima. Para isto direcionou parte de suas pesquisas na obtenção dos valores das características físico-mecânicas da espécie *Dendrocalamus giganteus* buscando estabelecer as possibilidades estruturais dos laminados colados de bambu desta espécie. Os resultados encontrados estão demonstrados nas Tabelas 4, 5 e 6 abaixo.

Tabela 4: Propriedades físicas do bambu

Espécies	Colmos		
	Comprimento (m)	Diâmetro (cm)	Massa ⁴ (kg)
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	16,0	14,2	84,5
<i>Bambusa stenostachya</i>	15,1	8,2	17,5
<i>Dendrocalamus asper</i>	14,5	12,2	61,3
<i>Bambusa tulda</i>	11,9	6,6	11,9
<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	11,5	11,5	40,7
<i>Ochlandra travancorica</i>	11,3	9,4	26,0
<i>Bambusa vulgaris</i>	10,7	8,1	12,5
<i>Dendrocalamus strictus</i>	10,5	7,6	15,0
<i>Bambusa nutans</i>	10,0	5,8	7,8
<i>Bambusa oldhami</i>	9,9	6,9	8,4
<i>Bambusa dissimulator</i>	9,5	4,6	5,2
<i>Bambusa vulgaris var. vittata</i>	9,3	7,2	10,3
<i>Bambusa ventricosa</i>	9,3	4,8	4,5
<i>Bambusa tuldoides</i>	9,2	4,3	3,8
<i>Bambusa beecheyana</i>	9,0	7,8	10,5
<i>Bambusa textilis</i>	8,1	4,8	3,3
<i>Bambusa maligensis</i>	7,4	4,3	3,5
<i>Phyllostachys edulis</i>	4,4	3,6	2,1

Fonte: GRAÇA, 1988 apud PEIXOTO, 2008

Tabela 5: Propriedades mecânicas do bambu *Dendrocalamus Giganteus*

Propriedades do Bambu	Sem Nó	Com Nó
Módulo de elasticidade à tração (GPa)	23,75	13,14
Resistência à tração (MPa)	277,19	97,51
Módulo de elasticidade à compressão (GPa)	20,50	21,88
Resistência à compressão (MPa)	56,65	57,99

Fonte: LIMA JR. E DIAS, 2001 apud PEIXOTO, 2008

Tabela 6: Resistência a flexão do *Dendrocalamus Giganteus*

Limite elástico (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	MOE (GPa)
86	151	12

Fonte: BERALDO apud MOIZÉS, 2007 apud PEIXOTO, 2008

Dentro das características físico-mecânicas que foram apresentadas a respeito da espécie *Dendrocalamus Giganteus*, pode-se concluir que ele possui propriedades que permitem sua aplicação como material construtivo na formação do laminado colado que serão usados na constituição dos elementos estruturais do sistema proposto neste trabalho. Aliado a isto estão a facilidade de obtenção desta espécie no território brasileiro e as demais características favoráveis da espécie descritas ao longo deste capítulo, ocasionando a escolha da espécie para a proposta do Bambu-*framing*.

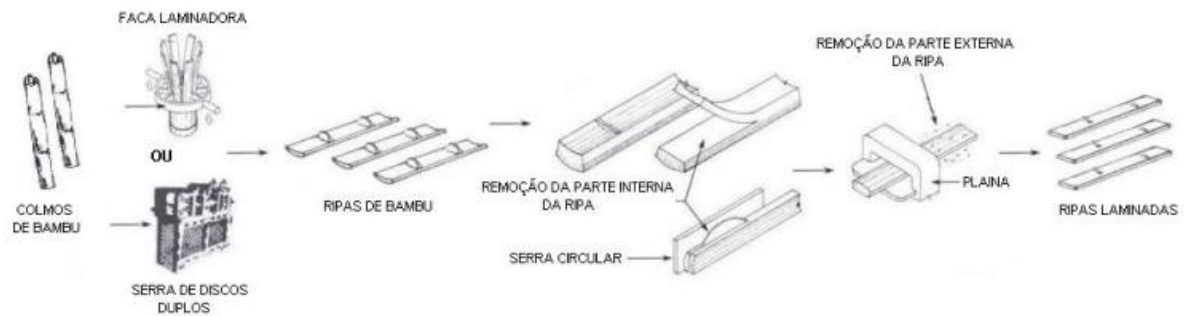
5.1.2. Bambu Laminado Colado

As estruturas laminadas surgiram primeiramente com o uso da madeira, entretanto com a escassez de madeiras nativas para construção civil, tanto como consequência de seu alto custo, como por resultado de pressões ambientais, o mercado na construção vem sendo obrigado a buscar alternativas mais abundantes, disponíveis e financeiramente mais acessíveis. Neste contexto, a aplicação do bambu torna-se conveniente uma vez que além de mais barato, possui rápido crescimento e seu uso é favorável a preservação do meio-ambiente (PEIXOTO, 2008).

Embora apresente as excelentes propriedades físicas e mecânicas, possuir alta produtividade e fácil cultivo, o bambu acaba sendo pouco utilizado como material na indústria da construção civil principalmente por dois fatores. Um deles está relacionado com a sua configuração geométrica particular, onde os colmos em sua imensa maioria possuem formato cilíndrico, apresentam muitas variações dimensionais numa mesma peça, além da presença de muitos nós, que são pontos de menor resistência mecânica, restringindo seu uso em situações em que são exigidas estruturas mais homogêneas. O outro fator é a sua baixa resistência ao cisalhamento, não permitindo a cravação de pinos e a execução de entalhes, dificultado projetos estruturais de maior porte que necessitem de emendas ou ligações (LIMA, 2013).

Diante dessas dificuldades, justifica-se o uso do bambu em formas de ripas na construção, uma vez que a constituição do seu colmo permite uma facilidade em cortes e fracionamentos de modo que haja um aproveitamento mais racional do material que no formato de lâminas pode ser mais eficiente para diversos usos como estruturas, pisos, paredes, telhados e outros (PEIXOTO, 2008).

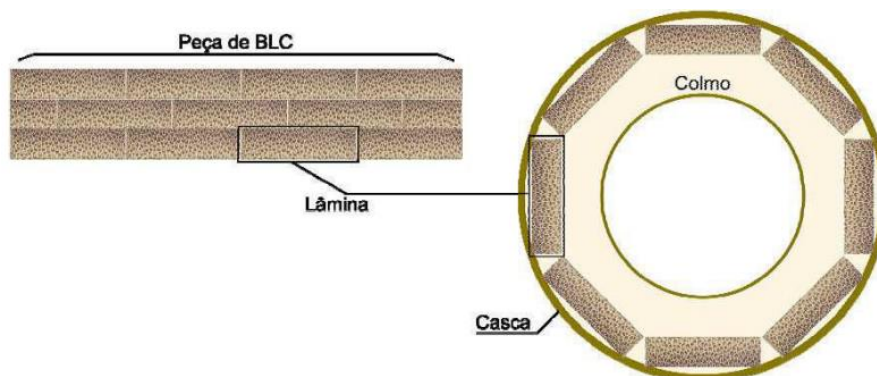
Figura 25: Modo de produção de laminas de bambu



Fonte: PEIXOTO, 2008

A produção dos painéis de Bambu Laminado Colado acontece da mesma maneira que nos compensados de madeira. Com o uso de adesivos é feita a colagem lateral das ripas na direção longitudinal, com as fibras das laminas orientadas no mesmo sentido. As ripas ou laminas são extraídas convenientemente da parte mais externa da parede dos colmos (**Figura 26**), por apresentarem maior resistência mecânica, resultante de maior concentração de fibras nesta região (MOIZÉS, 2007 apud LIMA, 2013; MOIZÉS, 2007 apud NOGUEIRA, 2008).

Figura 26: Detalhe extração das ripas de bambu do colmo

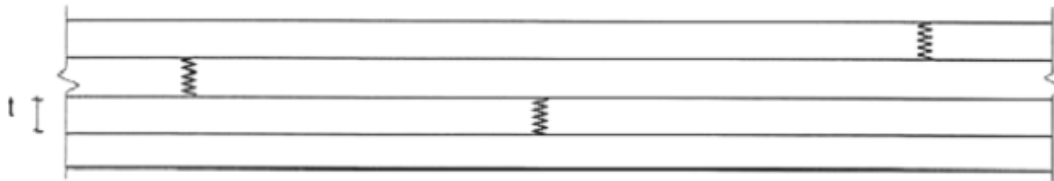


Fonte: LIMA, 2013

As pesquisas com o uso de bambu em forma de laminado ainda são muito recentes de modo que são utilizados os procedimentos prescritos na norma NBR 7190/97 referente ao uso da madeira, fazendo-se as devidas adaptações quando necessário. A ABNT NBR 7190/97 determina que peças em madeira laminada colada devem ser formadas por laminas de madeira

de primeira categoria com espessuras não superiores a 30 mm, coladas com adesivos à prova d'água, à base de fenol formaldeído sob pressão em processo industrial, solidarizando permanentemente o sistema. As emendas devem estar dispostas espaçadamente ao longo da peça, sendo estabelecida pela norma que em lâminas adjacentes de espessura t , suas emendas devem estar afastadas entre si a uma distância maior ou igual a $25t$ ou à altura h da viga (**Figura 27**) (LIMA, 2013).

Figura 27: Detalhe distribuição das emendas longitudinalmente à viga.



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2003 apud LIMA, 2013

Produtos de diferentes funções estruturais são produzidos a partir da composição de lâminas coladas. A facilidade da fração no sentido longitudinal dos colmos de bambu aumenta as possibilidades de uso uma vez que permite o controle sobre suas propriedades. Isto acontece porque através do processo de laminação é possível selecionar ripas de acordo com suas características físicas e mecânicas, destinando-as a melhor aplicação e conseqüentemente o melhor desempenho do produto que será fabricado (PEIXOTO, 2008).

O sucesso final na fabricação das peças estruturais industrializadas em laminado colado dependem de um rigoroso controle de qualidade em todas as etapas de produção, de maneira a garantir as características mecânicas e a durabilidade da peça. A distribuição das lâminas na peça de laminado colado faz da peça estrutural industrializada mais homogênea do que a peça ao natural serrada, uma vez que no processo de industrialização os nós e os defeitos das laminas são distribuídos aleatoriamente ao longo da peça fabricada. Outras vantagens dos laminados colados estão na execução de peças de grandes dimensões, o melhor controle de umidade, a prevenção de defeitos resultantes de secagem irregular, a seleção de laminas em posição referentes ao nível de tensão, obtenção de peças com formatos variados de acordo com as solicitações de projeto arquitetônico (até mesmo curvo) (LIMA, 2013).

A tecnologia de produção do bambu laminado colado (BLC), praticamente anula os problemas de cisalhamento e geometria existente na peça ao natural admitindo um uso mais racional na engenharia estrutural. Outra vantagem pode ser acrescentada ao emprego do BLC que é a industrialização das construções, obtendo-se maior agilidade e praticidade na montagem das

estruturas e redução no tempo de obra, além de possuir a vantagem do aproveitamento das peças de pequenas dimensões em comparação ao bambu em estado natural (PEIXOTO, 2008).

5.2. Sistema Proposto: Bambu Framing

O surgimento de sistemas construtivos que se baseiem na pré-fabricação dos elementos constituintes, proporciona muitos ganhos a indústria da construção, uma vez que algumas etapas da construção tradicional e artesanal são substituídas por elementos produzidos industrialmente, proporcionando soluções técnicas funcionais e redução dos custos em serviços e do tempo no canteiro de obras (PEIXOTO, 2008).

Para entender melhor o conceito de um sistema construtivo, a analogia ao “jogo de montar” funciona bem, pois o produto final é o resultado do encaixe de peças projetadas especialmente para cada função (FREITAS, 1991 apud PEIXOTO, 2008).

A utilização de elementos pré-fabricados impulsiona a racionalização do processo construtivo, onde a repetição na fabricação do elemento por mão-de-obra especializada e equipamentos adequados, permite que se efetive maior controle de produção tanto na recepção da matéria-prima, como na saída das peças, com maior agilidade, qualidade, padronização de estoque e procedimentos programados (PEIXOTO, 2008).

A arquitetura ecológica, assim como seus sistemas construtivos enquanto tecnologia, é responsável por evitar desequilíbrios sociais e ambientais. Uma obra é considerada mais sustentável à medida que se preocupa e responsabiliza-se pelas questões sociais, culturais e econômicas, assim como por tudo que consome, gera, processa e descarta, tendo como marca a sua capacidade de planejamento em relação aos possíveis impactos no ambiente urbano e natural, antes, durante e depois da sua vida útil.

O Brasil, ao mesmo tempo que é um país com elevado potencial para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de construção, pouco explora estas alternativas (BERNARDES, FOLLE, GARCIA, MARTINS, ROMANINI, 2014).

Como forma de incentivo a formação de uma consciência ecológica na implementação de projetos por meio da sociedade e também como forma de contribuir para a melhoria do setor de construção civil no Brasil, que atualmente utiliza predominantemente um sistema construtivo

nocivo ao meio ambiente, foi elaborado o presente trabalho, onde é proposto um novo modelo de construção que alia matéria-prima renovável a uma técnica construtiva sustentável.

Dentre os modelos construtivos existentes, o sistema *framing* (*Steel Light Frame* e *Wood Frame*) se apresenta como uma solução industrializada que vem crescendo por se tratar de um modelo sustentável, fazendo parte do sistema de Construção Energitérmica Sustentável (CES). Energitérmica por proporcionarem excelente desempenho à edificação e pelo ganho na economia de energia, tanto durante o processo construtivo, como após a ocupação do imóvel. Além disso, ele reúne um conjunto de outras vantagens citadas a seguir:

- Menor prazo de execução com redução de até 60% no tempo da obra em comparação a processos convencionais;
- Fidelidade orçamentária por ser um sistema inteligente, o orçamento previsto é igual ao realizado;
- Racionalização de materiais e mão-de-obra por ser um sistema construtivo industrializado, reduzindo significativamente o desperdício de materiais com índices abaixo de 1%. Como parâmetro o sistema convencional tem perdas de até 30%;
- Organização do canteiro de obras, já que como a estrutura pode ser industrializada, a presença de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens são eliminada do canteiro. O ambiente limpo com menor geração de resíduos oferece melhores condições de segurança ao trabalhador, contribuindo para a redução dos acidentes na obra;
- Custo até 30% menor devido ao menor prazo de execução, racionalização da mão-de-obra e de materiais, maior produtividade, menor custo de fundação por ser uma construção leve e com sistema de distribuição de cargas uniforme e redução dos custos indiretos;
- Versatilidade: Extremamente flexível, a construção CES aceita qualquer tipo de acabamento exterior e interior, permitindo diversos estilos arquitetônicos. É indicada para edificações comerciais ou residenciais de até 5 pavimentos;
- Retorno do investimento mais rápido em função da maior velocidade na execução da obra, o sistema traz um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido;
- Resistência, pois o sistema constituído de perfis contraventados adquire uma resistência superior ao sistema convencional, resistindo a ventos de até 300 km/h;

- Ótimo desempenho térmico e acústico;
- Manutenção, pois possui maior facilidade e praticidade, evitando os tradicionais “quebra-quebras”, além da redução de custos de manutenção em 1/3 quando comparado ao sistema convencional, devido à garantia e durabilidade dos materiais empregados;
- Maior área útil, já que as seções das paredes e estruturas são mais esbeltas do que as equivalentes em alvenaria, ampliando o espaço interno em até 4% da área útil da edificação;
- Baixa emissão de CO₂, pois o sistema CES emite aproximadamente 5 vezes menos CO₂ quando comparado ao processo construtivo convencional;
- Preservação do meio ambiente já que ocorre uma redução do consumo de energia na construção em comparação aos sistemas tradicionais. Posteriormente, traz também redução no consumo com equipamentos de condicionamento do ar, uma vez que a construção tem melhor qualidade térmica.

(LPBRASIL, 2015)

Em paralelo, o bambu vem ganhando espaço no setor da construção civil, por se tratar de uma matéria-prima renovável de grande capacidade reprodutiva e uso milenar em construções, especialmente nos países orientais, demonstrando um potencial construtivo menos agressivo ao meio ambiente. A madeira, embora se trate de matéria-prima renovável, para serem utilizadas causam graves danos como desmatamento e degradação de floras nativas. Diante disto, o bambu se mostra uma alternativa eficiente, reunindo as vantagens já descritas ao longo do trabalho, como:

- Matéria-prima disponível em todo território brasileiro;
- Fácil plantio e disponibilidade, adequado ao clima do Brasil;
- Rápida reprodução, altamente produtivo;
- Não causa danos ao solo da plantação;
- Facilidade de corte, utilização de ferramentas simples e manuais
- É leve e flexível, fácil de ser manuseado, transporte e armazenado;
- Consume mais Co₂ do que outros vegetais e árvores;
- Possui características de isolamento térmico e acústico;
- É econômico, sua produção depende de processos fotossintéticos, não precisa de reflorestamento;

- O módulo de elasticidade do bambu situa em torno de 20.000 MPa, cerca de um décimo do valor do aço;
- Possui excelentes propriedades de resistência, cabos de bambus trançados oferecem resistência similar ao aço e pesam apenas 10% do metal;
- O gasto energético para sua obtenção é bem inferior que os outros materiais, conforme demonstrado na **Tabela 1** pg. 55 (MORAIS, 2015; LIMA, 2013).

Diante destes conhecimentos, foi considerada promissora a união entre os princípios da tecnologia construtiva *framing*, ao bambu, surgindo assim a proposta do Bambu *Frame*.

Estruturalmente, o sistema bambu frame consistiria na divisão da estrutura em uma grande quantidade de elementos estruturais, de tal maneira que cada um deles resistisse a uma pequena parcela da carga total aplicada. Dessa forma seria possível utilizar perfis mais esbeltos e painéis mais leves e fáceis de manipular. Para constituição desses perfis é proposto o uso do bambu laminado colado, uma vez que para fins industriais, a utilização deste material em sua forma natural provocaria a ausência de soluções padronizadas, tornando o trabalho artesanal e complicado, transformando cada obra em um projeto específico a ser desenvolvido, descaracterizando a sistematização industrial. Assim como com outros materiais, o bambu pode passar por um processo de transformação em BLC onde seriam fabricados de perfis estruturais de seção transversal retangular padronizados.

Para avaliar a possibilidade de utilização de perfis de BLC como estrutura, foram analisados alguns trabalhos onde os autores realizaram ensaios para determinação das propriedades mecânicas do bambu laminado colado. De acordo com Pereira e Beraldo (2008), poucos estudos foram desenvolvidos no Brasil para o bambu laminado colado (BLC). Pereira (apud Pereira e Beraldo, 2008) desenvolveu um estudo sobre bambu laminado colado, utilizando a espécie *Dendrocalamus Giganteus*, cultivadas no campus da Unesp/Bauru. Para a confecção do corpo-de-prova, as laminas foram retiradas de colmos maduros com 3 anos de idade e o mais próximo possível da casca, por ser esta a região mais rica em fibras, com dimensões entre 5 e 6 mm de espessura e 20 mm de largura. Os corpos-de-prova confeccionados foram submetidos a ensaios de massa específica, tração paralela, compressão paralela e flexão estática adaptados à NBR 7190/97 de madeira, obtendo-se os resultados apresentados na **Tabela 7**. Na **Tabela 8** são demonstrados os comportamentos dos adesivos empregados no estudo, Cascorez 2590 e Waterbond em relação a tração normal e o cisalhamento na linha de colagem dos laminados.

Tabela 7: Características mecânicas do Bambu Laminado Colado.

	f₀ (MPa)	E₀ (Gpa)	U (%)
Tração	143,7	20,6	11,2
Flexão	98,9	13,6	11,3
Compressão	65,5	18,1	11,2
ρ (g/cm ³)	0,79		11,0

Fonte: PEREIRA e BERALDO, 2008

Tabela 8: Tração normal e cisalhamento na linha de colagem do BLC

N=16	Tração normal (MPa)	Cisalhamento (MPa)
Cascorez 2590	2,82	8,11
Waterbond	1,62	7,03

Fonte: PEREIRA e BERALDO, 2008

Gonçalves et. al. (2000 apud PEREIRA e BERALDO, 2008) também realizaram ensaios sobre BLC utilizando a espécie *Dendrocalamus Giganteus*, por meio de amostras confeccionadas de acordo com NBR 7190/97, estando os resultados obtidos na **Tabela 9**.

Os valores de resistência a compressão e de resistência a tração paralela as fibras demonstrados nas **Tabelas 7 e 9**, dos diferentes autores PEREIRA (apud PEREIRA e BERALDO, 2008) e GONÇALVES (2000 apud PEREIRA e BERALDO, 2008) situaram-se próximos.

Tabela 9: Resistência mecânica do BLC

BAMBU LAMINADO COLADO	
Ensaio	Resistência (MPa)
Dureza	352
Compressão Paralela as Fibras	55
Compressão Normal as Fibras	18
Tração Paralela as Fibras	195
Tração Normal as Fibras	2,5
Cisalhamento	10
Flexão	166

Fonte: PEREIRA e BERALDO, 2008

Nogueira (2008) realizou uma pesquisa com o objetivo de avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis estruturais fabricado a base de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* para uso na construção civil. Os ensaios físicos e mecânicos feitos se basearam na NBR 7190/97 para madeira e a médias dos valores obtidos foram comparadas a de algumas madeiras tradicionais, tanto de reflorestamento, quanto nativas, como também a valores de BLC encontrados na literatura, alguns já demonstrado em tabelas anteriores (**Tabela 10**).

Tabela 10: Valores de propriedades físicas e mecânicas (em MPa) de bambu laminado colado e algumas espécies referenciais de madeira

Propriedade	Madeira Maciça (U=15%)				BLC (U=12%)	BLC (Literatura)
	Peroba Rosa (<i>Aspirospora peroba</i>)	Ipê Roxo (<i>Tecoma Impetiginosa</i>)	Pinus (<i>Pinus ellioti</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptou s saligna</i>)	Bambu (<i>Dendrocalamus Giganteus</i>)	
Resistência à compressão	58,0	74,5	32,1	50,2	61,73	55 ⁵
Resistência ao cisalhamento	12,2	14,5	5,9	9,4	10,58 15,56 ⁶	105
Resistência ao cisalhamento no plano de cola	*	*	*	*	2,28 6,85 ⁶	8,11 ⁴
Módulo de ruptura na flexão estática	106,4	163,2	71,0	103,6	78,4	99 ⁴
Módulo de elasticidade na flexão estática	9950 ¹	16500 ¹	6590 ¹	12110 ¹	9556	13600 ⁴
Dureza	71,4	88,5	19,7	46,2	35,78	35,2 ⁵
Massa específica (g/cm ³)	0,8	0,96	0,48	0,69	0,75	0,79
Inchamento radial (%)	4,10	4,00	3,40	6,80	14,66	16,2 ² (2,86) ³

¹condição verde; ²inchamento em aglomerado de bambu com 5% de resina (BERALDO e JOSÉ apud PEREIRA e BERALDO, 2008); ³inchamento da lâmina (PEREIRA apud PEREIRA e BERALDO, 2008); ⁴PEREIRA apud PEREIRA e BERALDO, 2008; ⁵GONÇALVES et al. (2000 apud NOGUEIRA, 2008); ⁶Relatório interno do Laboratório de Engenharia da Madeira da ESALQ/USP (apud NOGUEIRA, 2008)

Fonte: IPT (1956 apud NOGUEIRA, 2008); PEREIRA e BERALDO, 2008.

A média do resultado obtido por Nogueira (2008) no ensaio de compressão demonstrou que o BLC é superior às de algumas madeiras de reflorestamento como Eucalipto e Pinus e da madeira nativa Peroba Rosa, que foi muito utilizada em estruturas, mantendo-se como espécie referência no tema. Os valores obtidos de resistência ao cisalhamento do BLC foram superiores aos das madeiras de reflorestamento, mas diferentes entre si, mostrando que pode existir grandes de lote para lote.

A resistência ao cisalhamento no plano de cola foi a propriedade mais crítica estudada no trabalho de Nogueira (2008) e responsável pelo baixo módulo de ruptura na flexão estática do BLC produzido, o que significa que uma melhoria na adesão das laminas provavelmente resultará numa melhoria imediata nessa propriedade, uma vez que a ruptura no ensaio de flexão ocorreu por cisalhamento do plano de cola e não por cisalhamento no plano central fibroso do painel onde as tensões de cisalhamento são críticas. O módulo de elasticidade também é elevado com a melhoria da adesão da cola, mas o valor achado já apresenta que o BLC possui boa característica elástica. Na propriedade de dureza e nos módulos de ruptura e de elasticidade, o

BLC mostrou-se superior a madeira pinus e inferior a eucalipto e as nativas, embora possa ser comparada a peroba rosa no módulo de elasticidade.

No capítulo sobre os modelos *framing* de construção foi visto que cada elemento no sistema recebe esforço de diferente natureza e divide com outro elemento, porém, os perfis verticais e horizontais obedecem a mesma modulação, gerando o conceito de estrutura alinhada, garantindo o predomínio de esforços axiais dos elementos da estrutura, ou seja, de tração e compressão em relação ao eixo longitudinal do perfil. A resistência a flexão também é importante no sistema, uma vez que os montantes pertencentes aos painéis de parede serão exigidos pela força do vento, assim como as vigas de piso serão exigidas pelo próprio da estrutura e pelas cargas acidentais.

Diante disto e da análise dos quadros demonstrados acima, foi possível observar valores satisfatórios para os esforços testados e principalmente, o excelente desempenho do BLC nos três principais esforços exigidos no sistema *framing*, que são tração, compressão e flexão. De acordo com os estudos apresentados percebe-se a praticabilidade do bambu laminado colado para constituição de elementos estruturais, trazendo a grande vantagem em relação ao bambu natural no que diz respeito a pré-fabricação desses elementos.

O principal obstáculo certamente está ligado à inexistência de normas para realização de ensaios e dimensionamento dos elementos estruturais em bambu. Como já dito, os testes realizados e descritos ao longo do trabalho foram baseados em normas da ABNT para madeira, porém é sabido que as características geométricas desses dois materiais são muito distintas, não sendo possível obter determinadas proporções entre os elementos constituintes do bambu, fazendo-se necessária a criação de normas específicas para ensaios com esse material (PEREIRA e BERALDO, 2008).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada demonstrou por meio da revisão de literatura que o bambu, material pouco valorizado culturalmente, socialmente e economicamente na sociedade brasileira, é adequado para a utilização na construção civil, proporcionando benefícios técnicos e ambientais, uma vez que além de ser uma matéria-prima renovável, tem a capacidade de recuperar áreas degradadas controlando erosão de solo, resgatando gás carbônico, entre outros.

Diante das inúmeras possibilidades de uso do bambu na construção civil, percebe-se a sua importância como alternativa conveniente frente a necessidades de conservação do meio ambiente, uma vez que o cultivo do bambu através de um manejo sustentável, além de caracterizar uma fonte de matéria-prima permanente, oferece uma opção tecnológica para o desenvolvimento de novos sistemas construtivos menos nocivos do que os métodos convencionais (PEIXOTO, 2008).

Nota-se que a forma geométrica natural e particular de cada colmo de bambu, com grandes variações dimensionais, limita o interesse da indústria construtiva do país. Desta forma, a assimilação dos conceitos da pré-fabricação para a concepção de estruturas em bambu abre novos horizontes de uso de modo racionalizado no setor da construção civil. Trata-se de um avanço na direção industrial deste material, que ao caminhar rumo a produção em série, oferece uma padronização e obtenção de produtos de maior qualidade e grande agilidade de execução, características que irão permitir a sua concorrência com os sistemas que hoje dominam o mercado.

Constatou-se que a maneira de industrializar e padronizar estruturas em bambu seria a por meio da formação de perfis de bambu laminado colado. Embora a ideia da utilização do BLC como elemento estrutural não seja inovadora, a proposta de associá-lo a um sistema industrializado de construção que siga os princípios frame, caracteriza uma intenção nova que poderia resultar em um modelo alternativo de construção muito promissor.

No presente trabalho, foram descritas as capacidades de resistência do bambu laminado colado, comprovando a sua eficácia como elemento estrutural, assim como também foi chamada atenção para a necessidade de serem elaboradas normas técnicas que regulamentem o uso do bambu na construção, oferecendo respaldo técnico e mais segurança a elaboração de projetos estruturais.

Foi possível perceber também que o bambu pode ser um material ainda mais resistente e duradouro, desde que seja tratado adequadamente após seu corte, através de processos químicos ou naturais, garantindo desta forma suas propriedades.

É importante salientar, que o trabalho seguiu sua intenção de mostrar uma opção para estudo, sem a pretensão de estabelecer resultados precisos sobre a funcionalidade do sistema construtivo sugerido e nem o dimensionamento dos perfis de bambu laminado colado proposto, uma vez que os ensaios aqui apresentados não foram repetidos e avaliados em laboratório, por não ser objeto deste estudo. No entanto, pode-se afirmar baseando-se nos estudos demonstrados ao longo de trabalho, que estruturas pré-fabricadas em bambu laminado colado configuram-se como uma alternativa real, que traz benefícios ambientais e têm capacidade de ser inseridas no setor construtivo brasileiro.

Acredita-se que uma grande vantagem em um sistema que engloba a pré-fabricação de elementos construtivos em bambu seja, além da utilização racional do material, a agilidade no processo de fabricação do elemento e na montagem das estruturas. Porém, segue como sugestão para elaboração de trabalhos futuros, a realização de estudos sobre a viabilidade econômica do sistema proposto.

Ficou claro que o país ainda tem um longo caminho a ser percorrido em relação ao desenvolvimento de componentes padronizados para construções que gerem menos impactos ambientais, sejam mais econômicos e produtivos, reduzindo o desperdício de materiais, demandando menos consumo de energia. Pesquisas nesta área somadas a intervenções político-sociais são fundamentais para estimular o desenvolvimento dessas tecnologias.

A divulgação e simplificação do uso do bambu como elemento estrutural na construção civil, como um material natural, renovável, de rápido crescimento e excelente qualidade poderá consolidá-lo como uma alternativa ainda mais sustentável, atendendo às extensas demandas da construção civil, inclusive nas políticas de habitação popular.

Por fim, espera-se que a constatação de que o emprego de perfis estruturais pré-fabricados em bambu laminado colado da espécie *Dendrocalamus giganteus* em um sistema construtivo aberto (*Frame*) seria factível, estimule novas investigações no sentido de tornar esta proposta uma realidade ou que se busque novas propostas de tecnologias construtivas que façam uso do bambu, especialmente aqui no Brasil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APOYAN, V., JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. São Paulo: Ed. Blucher, 2011. 141p. 24cm. (Série Sustentabilidade, 5). Bibliografia: p. 139-141. ISBN 978-85-212-0610-1

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/ISO 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/14724 - Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/6023 - Informação e documentação - Referências - Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

BERNARDES, M.; FOLLE, D.; GARCIA, S.; MARTINS, M.S.; ROMANINI, A. **Sistema Construtivo Wood Frame**. In: VIII Mostra de Iniciação Científica – Núcleo de Estudo e Pesquisa em Edificações Sustentáveis (NEPES), IMED, 2014
Disponível em: <https://www.imed.edu.br/Uploads/micimed2014_submission_147.pdf>
Acesso em: Agosto 2016

BERNARDES, M.; NILSSON, S.G.; MARTINS, M.S.; ROMANINI, A. **Comparativo econômico da aplicação do Sistema Light Steel Framing em habitação de interesse social**. In: Revista de Arquitetura da IMED, Vol. 1, n. 1, jan./jun. 2012, p. 31-40.

CALIL JUNIOR, C.; MOLINA, J. C. Sistema Construtivo em Wood Frame para Casas de Madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, V. 31, n. 2, p 143-156, jul./dez. 2010.
Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/4017/6906>>
Acesso em: Agosto de 2016

CAMPELLO, G. **Construções de Bambu**. Revista Técnica. Março/2006. Edição 108
Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/108/artigo286055-1.aspx>>
Acesso em: Outubro 2016

CARDOSO JUNIOR, R. **Arquitetura com Bambu**. 2000. 109 f. Dissertação – PROPAR (Programa de Pós-Graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal.

CARVALHO, M. S. **Caracterização Mecânica e Química do Bambu e sua Aplicação como Reforço em Compósito de Poliestireno**. 2004. 119 f. Dissertação – REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, CETEC, Universidade do Estado de Minas Gerais.

CASAGRANDE JR, E. F. **Bambu Matéria Prima do Século 21**. In: 7º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 14-16 set. 2005, Viçosa / MG
Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/bambu-materia-prima-do-seculo-21-1.html>>
Acesso em: Setembro 2015

FERREIRA, G. C. S. **Vigas de Concreto Armadas com Taliscas de Bambu Dendrocalamus Giganteus**. 2007. 195 f. Tese – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas / SP

FERREIRA, M. F. **A Utilização do Bambu na Construção Civil: Características e Diversidades de Uso.** 2010. 47 f. Trabalho final como parte dos requisitos de avaliação da disciplina CIV 352, Materiais na Arquitetura – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG.

FREITAS, A. M. S., CRASTO, R. C. M. **Steel framing: Arquitetura.** 2006. 121 f. 29cm. (Série Manual de Construção em Aço). Instituto Brasileiro de Siderurgia – Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro/RJ.

GENEROSO, A. L. **Caracterização Morfológica e Cultivo In Vitro de Espécies de Bambu.** 2014. 71 f. Dissertação – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes / RJ.

KOOLHAS, R. **Avanços versus Apocalipse.** In: MOSTAFAVI, M.; DOHERTY, G. (Org.). *Urbanismo Ecológico.* p.56-71. São Paulo: Gustavo Gilli, 2014.

LAHR, F.A.R.; LEITE, J. C. P. S. **Diretrizes básicas para projeto em Wood Frame.** 2015. Disponível em: <www.fumec.br/revistas/construindo/article/download/4017/1998>
Acesso em: Agosto de 2016

LAUS, Egeu. **Rede Social do Bambu.** 2010. Disponível em: <<http://bamboo.ning.com>>
Acesso em: Agosto 2015

LIMA, D. M. **Bambu laminado colado (Dendrocalamus giganteus) aplicado à treliça plana do tipo Howe e à viga retangular.** 2013. 236 f. Dissertação – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru / PE

LOPES, E. C. A. **Tecnologias Sustentáveis em Obras de Pequeno e Médio Porte – Custos, Vantagens e Desvantagens no Uso do Wood Frame.** 2013. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília, Brasília / DF.

LOPES, C. R.; GOMES, C. F. M. MENEGHIN, R. C. SOARES, S. L. **Steel Framig.** 2008. 61 f. Tecnologia de Edificações IV – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte / MG.

LPBRASIL
Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/sistemas/sistema-ces.html>>
Acesso em: Setembro 2015

MANHÃES, A. P. **Caracterização da Cadeia produtiva do Bambu no Brasil: Abordagem preliminar.** 2008. 39 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ

MARÇAL, V. H. S. **O Uso do Bambu na Construção Civil.** 2008. 60f. Monografia de Projeto Final 1 em Engenharia Civil e Ambiental – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília/DF.

MARQUEZ, F. L. **Arquitetura em Bambu: Técnicas construtivas na utilização do bambu como material arquitetônico.** 2006. 27 f. Trabalho de Iniciação Científica – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, PIBIC Makenzie, São Paulo/SP.

MICHAELIS: **Dicionário escolar inglês**. São Paulo: Editora Melhoramentos, 2009. – (Dicionário Michaelis)

MORAIS C. **O bambu pode ser usado desde na estrutura da casa até em objetos de decoração e móveis**. *Jornal A Tarde – Grupo Estado*. 19. Maio. 2007.

Disponível em: <<http://www.feagri.unicamp.br/destaques.php?secao=1012007estruturabambu>>

Acesso em: setembro 2015

MURAD, J. R. L. **As Propriedades Físicas, Mecânicas e Meso-Estrutural do Bambu Gradua Weberbaueri do Acre**. 2007. 124 f. Dissertação – Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/ RJ.

NAKAMURA, J. **Light Wood Frame**. *Revista Técnica*, ed. 148, jul. 2009

Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/148/artigo286608-1.aspx>>

Acesso em: Agosto 2016

NETO, F. M. **Construções em Bambu**.

Disponível em: <<http://www.precisao.eng.br/fmnresp/bambu.htm>>

Acesso em: Agosto 2015.

NETO, F. M. **Sistema framing se construção**.

Disponível em: <<http://www.precisaoconsultoria.com.br/fmnresp/framing.htm>>

Acesso em: Agosto 2015.

NOGUEIRA, C. L. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 2008. 94 f. Dissertação – Universidade de São Paulo, Piracicaba / SP

NOIA, P. R. C. **Sustentabilidade Socioambiental: Desenvolvimento de sistemas construtivos em bambu no Vale do Ribeira, SP**. 2012. 203 f. Dissertação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e Arquitetura: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestre) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL.

PEIXOTO, L. K. **Sistema Construtivo em Bambu Laminado Colado: Proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo Warren**. 2008. 205 f. Dissertação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília / DF.

PEREIRA, M. A. R., BERALDO, A. L. **Bambu de Corpo e Alma**. Bauru: Ed. Canal 6, 2008. 240 f. 21cm. ISBN 978-85-99728-28-4

ROMÉRO, M. A., BRUNA, G. C. **Metrópoles e o Desafio Urbano Frente ao Meio Ambiente**. São Paulo: Ed. Blucher, 2010. 119p. 24cm. (Série Sustentabilidade, 6). Bibliografia: p. 113-119. ISBN 978-85-212-0574-6

SACCO, M. F.; STAMATO, G. C. **Light Wood Frame: construções com estrutura leve de madeira**. *Revista Técnica*, ed. 140, nov. 2008

Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/140/artigo117396-3.asp>>

Acesso em: Agosto 2016

SANTI, T. **Bambu para toda obra**. Revista O papel - revista mensal de tecnologia em celulose e papel. Ano LXXVI, n. 4, p. 22-34, abril. 2015.

Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1429277844_8a47ecf889f6c2e83ab532a70c82e6da_1666124705.pdf>

Acesso em: Agosto 2015

SANTIAGO, A. K. **O Uso do Sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. 2008. 168 f. Dissertação – Escola de Mimas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG.

SILVA, C. A. **Avaliação de Características Mecânicas de um Sistema Autoportante**. 2014. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba / PR.

SILVA, R. M. C. **O Bambu no Brasil e no Mundo**. 2005.

Disponível em: <http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf>

Acesso em: Setembro 2015

SOARES, S. F. B. S. **Estruturas em Bambu**. 2013. 150 f. Dissertação – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

TECVERDE. **Como projetar em Wood Frame: Principais características do sistema construtivo Wood frame e diretrizes para desenvolvimento de projetos arquitetônicos**.

Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/78512406/6491-Diretrizes-Para-Projetar-Em-Wood-Frame-Tecverde>>

Acesso em: Março de 2016

TROCA, J. R. **Reciclagem de RCD de acordo com a resolução no 307 do Conama**. Revista Técnica. Fev/2008. Edição 131

Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/131/artigo287525-1.aspx>>

Acesso em: Novembro 2016

TUTI ARQUITETURA + VERDE. **A história do steel frame – você conhece?** Jun/2015.

Disponível em: <<http://www.tuti.arq.br/blog/historia-do-steel-frame>>

Acesso em: Agosto de 2016

VIEIRA, J. P. B., TAVARES, M. H. **Entenda o Acordo de Paris**. Nov /2016

Disponível em: <<http://www.politize.com.br/acordo-de-paris/>>

Acesso em: Novembro 2016

WIKIPÉDIA. **Bambu**.

Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Bambu>>

Acesso: Setembro de 2016

WIKIPÉDIA. **Desenvolvimento Sustentável**.

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Desenvolvimento_sustent%C3%A1vel>

Acesso: Agosto de 2016

WIKIPÉDIA. **Light Steel Framing**.

Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Light_Steel_Framing>

Acesso: Setembro de 2015

WIKIPÉDIA. **Taxonomia.**

Disponível em: < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Taxonomia> >

Acesso: Setembro de 2016