

Jessika Pinheiro

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
jessikarquitetura@gmail.com

Antônio da Silva Sobrinho Júnior

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
sobrinhojr@hotmail.com

ESTRUTURAS VERTICAIS PRÉ-FABRICADAS DE MADEIRA NA ARQUITETURA: UMA REVISÃO DA LITERATURA

VERTICAL STRUCTURES WOOD PREFABRICATED IN ARCHITECTURE : A LITERATURE REVIEW

RESUMO

O objetivo deste estudo foi realizar uma revisão bibliográfica focada nas estruturas verticais pré-fabricadas de madeira na Arquitetura e na Engenharia civil. Através de pesquisas em diferentes meios de informação foram realizadas análises aprofundadas projetuais e de características específicas do material. Como resultado foi obtido a catalogação de informações direcionadas ao tema proposto, como também a elaboração de conceitos e a desmistificação de alguns conhecimentos vinculados, na academia, sobre a utilização da madeira e/ou dos elementos pré-fabricados. Através dos resultados obtidos houve a possibilidade de trazer as perspectivas do potencial da utilização dos elementos pré-fabricados de madeira no século XXI.

Palavras-Chave: Madeira. Pré-fabricados. Vertical. Arquitetura. Engenharia Civil.

ABSTRACT

The objective of this study was to conduct a literature review focused on prefabricated vertical structures built with wood in architecture and civil engineering. Through research in different sources of information were carried out in-depth projectual analyses and specific characteristics of the material. The result was beyond cataloguing information directed to the theme proposed, but also a elaboration of concepts and the demystification of some knowledge linked at the university about the use of wood and/or the prefabricated elements. Through the results it was possible to bring the potential prospects of the using prefabricated wood in the XXI century.

Keywords: Wood. Prefabricated. Vertical. Architecture. Civil Engineering.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a arquitetura e a engenharia passam por um período crucial no desenvolvimento de novas tecnologias capazes de fornecer estruturas que abriguem grandes densidades para que se possa atender as necessidades da urbanização e de rápida construção.

Tais inovações tecnológicas devem estar cada vez mais conectadas com o conceito atual de uso renovável dos recursos, pois as alterações climáticas crescem desordenadamente e a construção civil precisa dar respostas rápidas para que o desenvolvimento mantenha seu ritmo de crescimento sem aumentar o impacto ambiental.

Os materiais construtivos são elementos intrínsecos a esse tema, afinal a construção civil representa uma grande taxa da poluição gerada atualmente. Materiais como o concreto armado, por exemplo, por ser de fácil acesso, não necessitar de mão de obra muito qualificada, e pela não utilização de tecnologias alternativas, é um material usado em larga escala. Entretanto, é um dos que contribuem para a emissão de CO₂ na atmosfera. Juntos, o aço e concreto são responsáveis por 8% da emissão de CO₂ atualmente (GREEN, 2013).

Neste sentido, além de novas tecnologias alternativas que estão sendo desenvolvidas na atualidade, técnicas de construção milenares como a construção em madeira estão sendo acrescidas de processos industriais de ponta gerando produtos capazes de atingir os novos desafios da arquitetura e contribuir para a sustentabilidade.

A madeira é capaz de trazer várias vantagens para as estruturas através do seu caráter flexível, durável e de rápida construção. Para isso, se faz necessária uma desmitificação de seu uso.

Desta forma, o objetivo principal desse trabalho foi fazer uma revisão literária acerca das estruturas pré-fabricadas em madeira, suas características fundamentais e possíveis aplicações em larga escala e em grandes estruturas. Através da análise de correlatos, do estudo dos processos produtivos atuais de madeira laminada, testes e pesquisas correntes na área é possível trazer discussões acerca de controvérsias como madeira e sustentabilidade, por exemplo. Além de trazer novas perspectivas para o cenário nacional da construção civil, desmistificando a madeira apenas como material de composição e trazendo-a como material principal.

2 METODOLOGIA

Procedimentos metodológicos foram utilizados para a realização do trabalho em questão, divididos nas seguintes etapas: pesquisa bibliográfica em diversas fontes de informação

(livros, internet, monografias, artigos e projetos correlatos), pesquisa de legislações e normas brasileiras vigentes, acerca das estruturas verticais pré-fabricadas de madeira na arquitetura.

3 REVISÃO DA LITERATURA

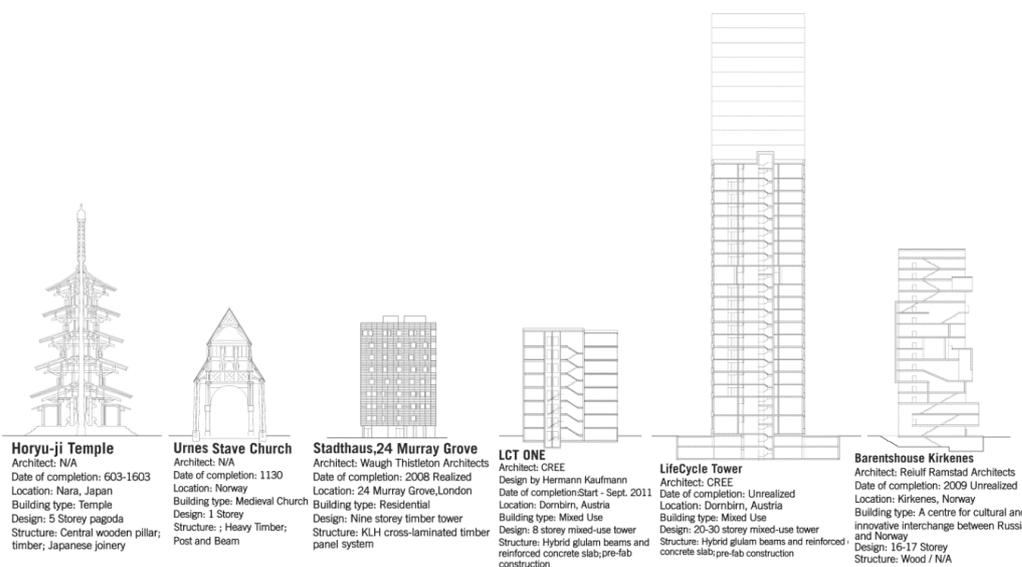
3.1 Breve Percurso Histórico

A madeira representa um dos primeiros materiais explorados pelo ser humano. Existem diversas evidências da sua utilização ao longo do tempo. O uso de pilares e vigas de madeira, por exemplo, data da pré-história. Vitruvio em Tratado de Architectura (27 d. C.), já cita o uso da madeira em estruturas (Vitruvio apud Vilela, 2013).

Alguns países desenvolveram maior afinidade com as estruturas de madeira. No Japão e na China, com a abundância de madeira, observam-se em seus templos, construídos a partir do século XIII, estruturas modulares em seus templos (pagodes) atingindo até 19 pavimentos. Isso devido a sua flexibilidade que propicia o crescimento em altura e a utilização de ligações de alta complexidade feitas por encaixe sem o uso de ferragens a fim de diminuir os efeitos dos abalos sísmicos sobre a estrutura (Figura 1).

Na Idade Média podemos ver grandes inovações na Europa como a criação da estrutura de madeira maciça que, utilizando grandes troncos de madeira, atingiam até seis pavimentos. Posteriormente, no século XX, a estrutura de madeira maciça, com o avanço da tecnologia, dá origem ao “*Light Framing*”, sistema leve de madeiras que até hoje é largamente utilizado na América do Norte. Na Figura 1 é mostrada a evolução dos edifícios verticais de madeira entre os séculos X e XXI.

Figura 1- Linha do tempo acerca da evolução dos edifícios verticalizados.



Fonte: Adaptado de Green (2012).

A utilização da madeira em estruturas no Brasil surge com os indígenas e se aprimoram com a chegada dos colonizadores. As técnicas primitivas e originais são fundidas ao conhecimento prévio dos portugueses criando uma identidade própria. Os índios possuíam diferentes habilidades e afinidades com materiais e a maior utilização de estruturas de madeira foi encontrada no sul do País é ressaltado em Brasil (2010, p. 28).

O Brasil possui uma forte tradição de construção em alvenaria de tijolos de barro, trazida pelos portugueses desde a sua colonização. A construção de madeira foi muito utilizada nas regiões sul e sudeste como habitação, onde a matéria prima utilizada, o pinho do Paraná, era abundante.

Apesar de todos os avanços tecnológicos alcançados nas estruturas de madeira, a partir do século XX concomitantemente acontece a ascensão rápida do concreto armado e, com isso, sua consolidação como material principal na construção deixa a madeira em segundo plano. No Brasil, durante o século XX, por ser um material de fácil acesso, baixo custo e de rápida execução, a madeira é escolhida pela população de baixa renda que migrava para as grandes cidades, associando o uso da madeira à desvalorização econômica e criando preconceitos acerca da utilização desse material construtivo que permaneceram por décadas

3.2 Tipos de madeira, propriedades e suas ligações

A madeira pode ser classificada inicialmente em duas grandes classes: as madeiras duras e as madeiras macias. As madeiras duras são provenientes de árvores frondosas que possuem crescimento lento e são comumente conhecidas como madeiras de lei tais como a peroba, os ipês, entre outras espécies. Já as madeiras macias são oriundas das coníferas, em forma de agulha e escamadas, com um crescimento rápido como os pinheiros, araucárias e cedros.

A madeira pode ser classificada em diferentes tipos, os principais são:

- Madeira Roliça ou Bruta: em forma de troncos;
- Madeira Falquejada: A partir do tronco principal suas faces são aparadas resultando em uma seção retangular maciça;
- Madeira Serrada: O tronco passa por cortes longitudinais padronizados resultando em tábuas;
- Madeira Compensada: Formada pela colagem de lâminas finas alternadamente;
- Madeira Laminada: A madeira sofre cortes precisos que depois são colados formando os principais elementos estruturais, os pré-fabricados;

- Madeira Recompota: Produto gerado a partir da reunião dos resíduos do corte da madeira com baixa resistência, fortemente utilizado na indústria moveleira;

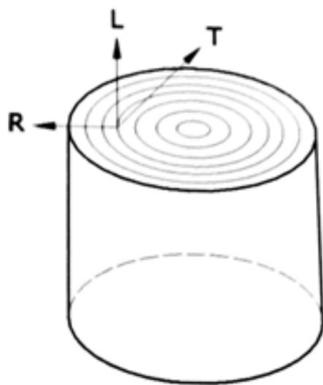
Segundo Pfeil (2013), a madeira possui várias propriedades físicas características que exigem conhecimento prévio a fim de auxiliar nas futuras escolhas de material. Sendo as principais:

Dentre as propriedades físico-mecânicas da madeira, destacam-se:

i) Anisotropia: se trata da característica que o material possui de que suas propriedades se alterem de acordo com a direção. No caso da madeira, ela possui três direções principais: a longitudinal, a radial e a tangencial. Essa anisotropia interfere diretamente em suas propriedades físicas, mecânicas e tecnológicas (Figura 2).

ii) Umidade: é um fator de grande importância nas estruturas de madeira. O grau de umidade é o peso de água contido na madeira e pode variar de acordo com a espécie, com a idade da planta e com a estação do ano. Quando a madeira é posta para secar, a água evapora e a madeira adquire um ponto de saturação final que influencia diretamente na autorização para a utilização da madeira em estruturas construtivas. Cada país utiliza diferentes parâmetros para a definição de seu nível de umidade aceitável. No caso do Brasil, de acordo com a NBR 7190 – Projeto de Estruturas de madeira, esse nível é 12%.

Figura 2 - Esquema da anisotropia da Madeira.



Anisotropia da madeira. São indicadas as direções longitudinal (L), radial (R) e tangencial (T).

Fonte: Pfeil (2013).

iii) Retração da madeira: A madeira pode sofrer retrações ou inchamentos de acordo com a variação entre a umidade original e o ponto de saturação. Com a ação do fenômeno anisotrópico de retração, algumas regiões da madeira passam a sofrer esforços extras de tensão que geram compressão das áreas internas e ocasionam rachaduras nas regiões mais externas.

iv) Dilatação Linear: O coeficiente de dilatação linear das madeiras, como a maior parte dos corpos sólidos, tende a variar sob os efeitos de calor. Entretanto, a variação da madeira é pequena e pode ser quase desconsiderada. Em comparação com outros materiais como, por exemplo, o aço, a madeira apresenta apenas 1/3 de seu coeficiente de dilatação linear.

v) Deterioração: A madeira, por ser um material oriundo da natureza, é bastante vulnerável a deterioração de diferentes ordens, sendo os principais:

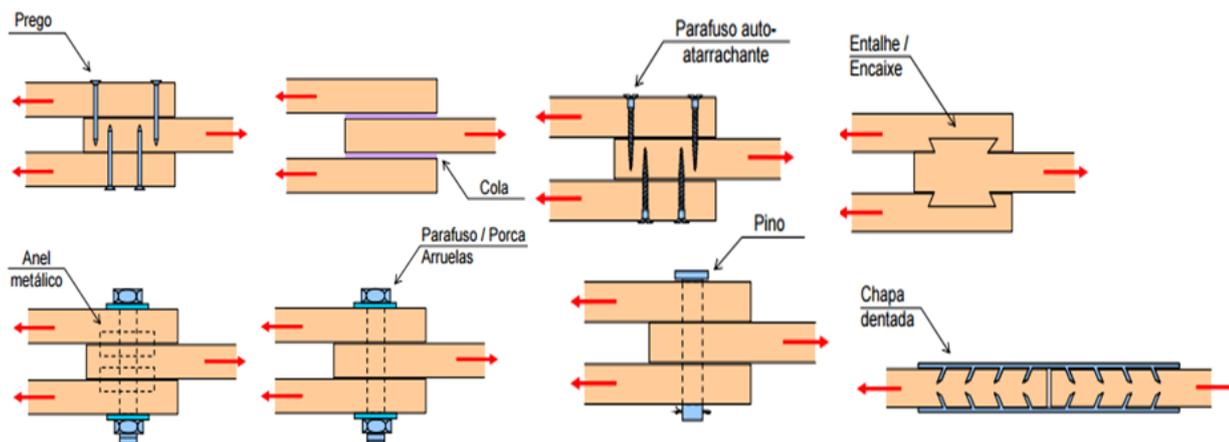
- Ataques Biológicos: A vulnerabilidade a ataques biológicos depende diretamente de que parte do tronco a madeira foi extraída, de sua espécie e das condições ambientais a que é exposta;

- Ataques do Fogo: É de conhecimento comum que a madeira é um material de pouca resistência ao fogo, mas muito pelo contrário, quando projetada, construída e/ou tratada de forma adequada, apresenta ótimo desempenho em frente à ação do fogo. As peças robustas de madeira possuem excelente resistência ao fogo já que oxidam lentamente devido a sua baixa condutividade do calor.

Os tratamentos químicos são ótimos aliados contra os fatores apresentados anteriormente, pois contribuem incrementando as propriedades do material, retardando a ação biológica e do fogo e/ou preservando as estruturas.

As propriedades mecânicas da madeira estão diretamente ligadas com a umidade, espécie, posição da peça na árvore, e tempo de aplicação da carga. A umidade é um dos fatores que mais afetam suas propriedades mecânicas, visto que quanto maior a umidade da madeira, menor será a sua resistência. Essa diminuição da resistência ocorre até a saturação das fibras da madeira. Após isso, a resistência mecânica permanece constante. A madeira possui ótimas propriedades mecânicas, possui alta resistência aos esforços de flexão e compressão podendo, assim, ser utilizado em elementos estruturais.

No que diz respeito às ligações, elas podem ter diferentes características e se adaptarem ao projeto devido à facilidade com que podem ser perfuradas, entalhadas, coladas e etc. A Figura 3 apresenta as principais ligações das peças de madeira.

Figura 3- Principais Ligações das peças de madeira.

Fonte: Pacheco (2014). Adaptado pelos autores.

Compete-nos salientar que os projetistas e engenheiros têm importante responsabilidade no que diz respeito à escolha de espécies, detecção de áreas que necessitam de tratamento especial e a adoção de elementos construtivos que favoreçam as condições ambientais ideais para o material.

3.3 Legislação Brasileira

A principal norma de regimento de construção de estruturas em madeira é a NBR 7190 – Projetos de Estrutura de Madeira, publicada em 1982 e atualizada em 1997. A referida norma conta com definições gerais, indicações de segurança, propriedades das madeiras, normas de dimensionamento, ligações, desenho técnico de estruturas, entre outros aspectos. O Manual de Obras Públicas-Edificações cita outras normas complementares que também podem ser utilizadas como:

- Práticas de Projeto, Construção e Manutenção de Edifícios Públicos Federais;
- NBR 6230 - Ensaio Físicos e Mecânicos da Madeira - Método de Ensaio;
- NBR 6627 - Pregos Comuns e Arestas de Aço para Madeira - Forma e Dimensões de Cabeça, Corpo e Ponta – Especificação;
- NBR 7203 - Madeira Serrada e Beneficiada;
- NBR 7511 - Dormentes de Madeira;
- Códigos, Leis, Decretos, Portarias e Normas Federais, Estaduais e Municipais, inclusive normas de concessionárias de serviços públicos;
- Instruções e Resoluções dos Órgãos do Sistema CAU/CONFEA

3.4 Madeira e sustentabilidade

O debate acerca de sustentabilidade e construção se torna ainda mais presente nos projetos arquitetônicos. Cada vez mais os projetistas têm a necessidade de se atualizar na busca de materiais que colaborem para um crescimento sustentável. Pauli (1998) define sustentabilidade como:

A capacidade de se produzir e a de se consumir de tal forma que não se ponha em risco a capacidade de gerações futuras de satisfazerem suas necessidades. A produção sustentada é a utilização e a extração de componentes de matérias-primas de tal forma que nada seja desperdiçado, e que tudo seja utilizado (PAULI, 1998, p. 48).

A madeira se encaixa perfeitamente nesta definição pois se trata de um material natural, orgânico e reciclável. Diversas utilizações são possíveis com a madeira, desde a utilização de madeira nova nas estruturas até a crescente tendência da utilização de madeira de demolição nos detalhes construtivos e na indústria moveleira.

A emissão de CO₂ e o gasto de energia para a produção de materiais vão na contra mão do desenvolvimento sustentável, pois na produção da construção civil o aço é responsável por 3% da emissão de carbono mundial e o concreto é responsável por uma parcela ainda maior, 5%. A construção em madeira favorece o meio ambiente porque além de ter um baixo gasto de energia, ao invés de emissão de CO₂, a madeira é capaz de armazenar o CO₂. Segundo o relatório *Building with Wood do BSLC – Binational Softwood Lumber Council*, 1m³ de madeira é capaz de armazenar uma tonelada de CO₂.

A preocupação crescente em relação à madeira são os altos índices de desmatamento, principalmente no Brasil. O uso consciente da madeira coíbe este tipo de prática através de pré-fabricação. Ao utilizar pré-fabricados de madeira é possível que haja um controle feito pelas empresas produtoras da origem da madeira, utilizando apenas madeira de reflorestamento sem que haja o crescimento do desmatamento de madeiras de lei que, diferente das madeiras típicas de reflorestamento - como por exemplo eucalipto e o pinus - que levam de 7 a 15 anos para atingir o tempo de corte, exigem mais de 100 anos de crescimento e ao serem cortadas causam imensos danos ao ecossistema local.

Falar de sustentabilidade é também falar de custos e geração de emprego. Com a produção regulamentada da madeira de reflorestamento se possibilita mais geração de renda para a população local através do cultivo de espécies pré-estudadas e adaptadas ao clima do local.

3.5 A pré-fabricação e a construção modular

O uso dos pré-fabricados se faz dependente da construção modular. A definição de módulos estruturais auxilia bastante na execução do projeto, projeto este em que já acontece a definição dos tamanhos, peças e detalhes dos pré-fabricados.

A partir do século XX, principalmente na América do Norte, as construções modulares ganham força junto ao movimento modernista. Tanto Schindler quanto Le Corbusier executam estudos relevantes sobre a modulação estrutural em madeira (BERRIEL, 2009, págs.73 a 75).

No século XXI, com a obtenção do conhecimento em programas computacionais avançados capazes de gerar modelos cada vez mais completos e softwares de cálculos precisos, a modulação se torna intrínseca à produção arquitetônica, especialmente no caso da madeira, inibindo os equívocos projetuais durante a execução da obra.

3.6 A pré-fabricação e a construção modular

3.6.1 *Tamedia Office Building / Shigeru Ban Architects*

Neste projeto o sistema estrutural de madeira define completamente a concepção arquitetônica. O autor do projeto é o escritório *Shigeru Ban Architects*.

Este projeto foi um dos selecionados vencedores pelo Premio Pritzker 2014. A proposição da estrutura de madeira é uma resposta não convencional a este tipo de edifício. Trata-se de um edifício corporativo onde os elementos estruturais são inteiramente visíveis no interior do edifício e são trabalhados juntamente com materiais translúcidos que evidenciam essa estrutura.

O projeto é sede da empresa de mídia suíça Tamedia em Zurique. O edifício desenvolve-se dentro de sete andares e dois pavimentos de subsolo, com uma área de 8.602,00 m² construídos, implantado com 50 metros de frente livre para o Rio Sihl, proporcionando visão privilegiada aos funcionários. Na fachada principal, o edifício dispõe de uma 'tela térmica' que, além de colaborar para o conforto ambiental, compõe áreas de encontros e reuniões informais para os funcionários e conexões visuais verticais entre os escritórios. As vistas internas são mostradas na Figura 4.

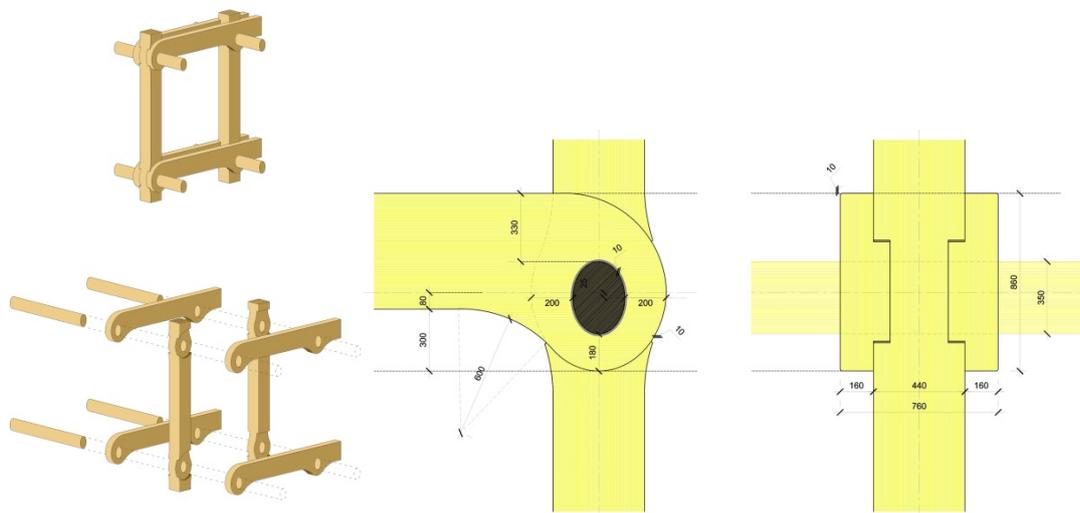
Figura 4 - Vistas internas do *Tamedia Office Building*.



Fonte: Extraído de *Summary Report* (2014).

O arquiteto neste projeto trata a madeira como um material High Tech e não como um material artesanal. As peças de madeira foram fabricadas usando ferramentas computacionais que propiciaram o corte a laser do material. A estrutura é composta por vigas duplas com extremidades arredondadas com encaixes ovais para os pilares. Essas conexões estruturais possibilitam, unidas, alcançar 20 metros de altura como é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Conexões estruturais do edifício Tamedia.



Fonte: Extraído de Archdaily (2014a)

3.6.2 *Earth Sciences Building / Perkins + Will*

O *Earth Sciences Building* faz parte do campus da Universidade British Columbia em Vancouver, Canadá. O projeto tem como objetivo principal promover uma máxima visibilidade. O

uso da madeira na estrutura promove um ambiente confortável e receptivo para os usuários, além de seguir rigorosos padrões de sustentabilidade exigidos pela instituição.

O edifício é composto por cinco pavimentos com 15.794,00 m² de área construída e dividido entre duas asas principais ligadas por um átrio. Além da estrutura em madeira, o projeto possui pisos, painéis e uma escada monumental em balanço, inovação mundialmente inédita, todos fabricados em madeira. Embora a madeira seja usada em abundância, no exterior do edifício a madeira é deixada de lado abrindo espaço para o vidro, as placas de cimento e a pedra em uma cartela monocromática, trazendo elegância ao edifício. O *Earth Sciences Building* é mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Vista Interna e foto do processo construtivo do *Earth Sciences Building*.



Fonte: Extraído de Cross Laminated Timber (2013) e Summary Report (2014).

Na estrutura deste edifício utiliza-se de grandes pilares e vigas pré-fabricados de madeiras em um típico esquema pilar-viga, engastadas nas lajes do tipo *wall* composta por madeira enriquecida com aço em formato de sanduiche que são capazes de vencer grandes vãos, cargas concentradas e balanços como, por exemplo, na grande escada em balanço no átrio em que suas ligações são feitas com a utilização de peças metálicas. Possui um piso misto de madeira e concreto que aumenta a absorção acústica e resistência a compressão. Essa composição de elementos traz uma melhor performance para a edificação onde o material é utilizado em total eficiência de acordo com as diferentes necessidades impostas pelo projeto.

Figura 7 - Ligações do Earth Sciences Building.

Fonte: Extraído de Wood (2013).

3.6.3 Aspen Art Museum / Shigeru Ban Architects

Este projeto concebido por *Shigeru Ban Architects* é localizado em Aspen, Colorado – USA e inaugurado em 2014. Possui quatro pavimentos e 3.065,00 m², planta flexível e grandes vãos para a instalação das exposições itinerantes características do museu. Com um conceito de envoltória, o edifício se projeta para dentro sem dar as costas à bela paisagem montanhosa ao fundo.

Os acessos são bem demarcados e os três diferentes níveis se conectam por uma grande escada instalada entre os pavimentos e a malha exterior do edifício. O site archidaily ressalta que essa malha trançada, externa do edifício, é composta por um material não convencional - o *Prodema* - composto por papel e resina encaixados dentro de um folhado de madeira conferindo maior originalidade ao projeto, além de ser impermeabilizado contra raios UV, filtra a luz natural contribuindo para o conforto ambiental do edifício que precisa resistir ao forte sol da região.

Figura 8 - Perspectivas do Aspen Art Museum.

Fonte:

Fonte: Extraído de Shigeru Ban Architects (2014).

Estruturalmente o edifício é composto de três materiais: a madeira, o aço e o concreto. São utilizados módulos pós-tensionados *in loco* de concreto protendido nos primeiros dois pavimentos, unidos a uma estrutura mista de madeira e aço que possui diferentes organizações dentro do edifício,

além do esquema pilar – viga em madeira. O arquiteto explora o uso das treliças espaciais em madeira pré-fabricadas dimensionadas em programas computacionais. Esse é um método não convencional em contraposição as treliças planas comumente utilizadas. As treliças são escoradas em grandes pilares árvore de aço e paredes estruturais também em aço. Em alguns espaços do edifício a madeira se une diretamente com painéis estruturais de *Steel Framing* como, por exemplo, na escada, criando uma fachada ventilada e apoiando a malha de *Prodema*.

Figura 9: Detalhe Axonométrico e vista da treliça espacial do *Aspen Art Museum*.



Fonte: Extraído de Archdaily (2014b).

3.6.4 *Federal Center South Building 1202 / ZGF Architects*

O *Federal Center South Building* foi fruto de uma iniciativa do *American Recovery and Reinvestment Act (ARRA)* em união com o Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA na busca de uma oferta de design e arquitetura sustentável para seu novo edifício. Após concorrer com diversos outros escritórios, o *ZGF* Arquitetos venceu a disputa dentro de parâmetros altos de sustentabilidade, além de trazer um edifício que levasse a engenharia e a arquitetura aos limites sem perder a conexão com o local.

Figura 10 - Vistas internas do *Federal Center South Building 1202*.

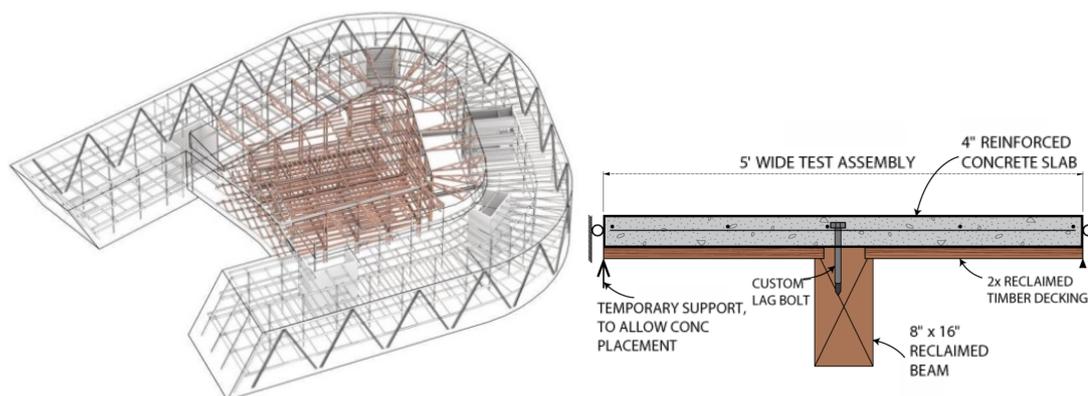


Fonte: Extraído de Architect Magazine (2015).

Localizado em Seattle, USA, às margens do canal *Duwamish*, com uma área de 209.000,00 m² e concluído em 2012, o edifício traz a dualidade do público e privado intrínseco em seu projeto. Afinal, por ser um edifício de base governamental deve ser de acesso restrito, mas os arquitetos se restringiram apenas as barreiras físicas do terreno, pois dentro do edifício através de um átrio e largas vistas para o canal, a conexão visual entre os trabalhadores e o local é nitidamente abordada. Os espaços de trabalho são bastante flexíveis para atender as diferentes necessidades dos empregados e percebe-se uma atenção especial ao coração do edifício, o átrio e suas escadas monumentais, que são utilizadas como espaços informais de interação e colaboração (Figura 10).

A estrutura da edificação traz alguns quesitos interessantes a ressaltar. Desde o início da execução da obra houve um desejo conjunto do cliente e dos projetistas de utilizarem madeira de demolição de antigos armazéns que antes estavam locados no terreno. Para que essa utilização fosse possível foram feitos diversos testes de resistência e de cisalhamento para que o material fosse considerado apto para utilização.

Figura 11 - Projeto da estrutura do *Federal Center South Building 1202* e corte esquemático modificado pela autora do *Wood Deck* utilizado no projeto.



Fonte: Extraído de Swenson e Black (2013).

Para possibilitar o uso da madeira como elemento estrutural vertical, foram feitas outras pesquisas e os engenheiros/projetistas testaram diferentes materiais para o fortalecimento da estrutura. Utilizaram pré-fabricados de madeira nas estruturas para o fortalecimento e o *stell deck*, trazendo suas propriedades de resistência e rapidez de execução unida às estruturas de madeira e também um sistema não usual, ou seja, a madeira atrelada ao concreto como podemos ver no esquema da Figura 11, unindo nos pisos madeira, concreto e aço. A madeira de demolição em sua maioria foi utilizada em fechamentos e detalhes do edifício.

3.6.5 Escritório da Hidrelétrica *Montafon*, *Hermann Kaufmann*

O Escritório da Hidrelétrica *Montafon*, projetado pelo arquiteto *Kaufmann*, vencedor do concurso promovido com este fim, investe na madeira como material principal do projeto. O edifício localizado em Vandans, Áustria possui aproximadamente 10.000,00 m² de área construída e cinco

pavimentos e foi inaugurado em 2013 após apenas seis semanas de construção mostrando, assim, que o método construtivo é rápido. Possui duas das suas fachadas de 120 metros de extensão contendo 25% das suas fachadas inseridas diretamente no lago frontal e rodeado por uma paisagem exuberante, repleto de transparências. O edifício possibilita aos seus 270 empregados acesso a iluminação natural abundante e uma vista excepcional devido aos materiais translúcidos utilizados nos fechamentos externos (Figura 12).

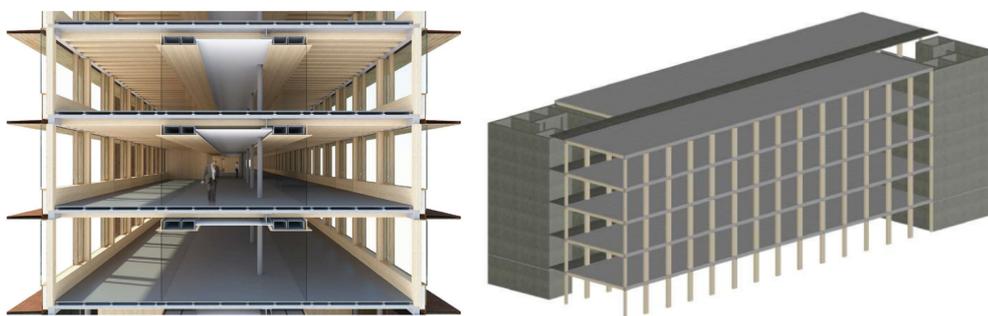
Figura 12 - Vista externa e interna do Escritório da Hidrelétrica *Montafon*.



Fonte: Extraído de Wood Works (2013).

O edifício utiliza madeira laminada CLT (*Cross Laminated Timber*) em sua estrutura num sistema viga-pilar de madeira e piso elevado de concreto. Como é possível ver no corte perspectivado da Figura 13, os pré-fabricados de madeira possibilitam as instalações prediais embutidas através de testes computadorizados.

Figura 13 - Corte esquemático e esquema computacional estrutural do Escritório da Hidrelétrica *Montafon*.



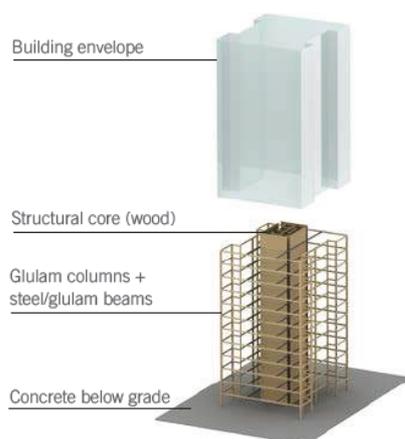
Fonte: Wood Works (2013) e The Wood Products Council (2012).

3.7 Perspectivas das estruturas pré-fabricadas de madeira

Um importante passo na produção de edifícios verticais pré-fabricados de madeira foi a publicação *The case of the tall wood buildings, How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly for Tall Building Structures* produzido por *MGB Architecture + Design* e *Michael Green* em 2012. A publicação abrange uma nova forma de construção em madeira chamada pelos autos de FTTT (*Finding and Forest Through the Trees*) que foi inicialmente conceituado em 2008 por Michael Green.

O FTTT se trata de um sistema construtivo baseado na pré-fabricação de elementos horizontais e, posteriormente, içá-los na posição vertical e definitiva conhecida como *tilt-up*. O sistema se baseia em um esquema em pilares de seção maiores e vigas com seções menores em que os pilares são dispostos em vãos padronizados e, para que as cargas sejam recebidas adequadamente, são dispostos grandes painéis de madeira que reforçam a estrutura distribuindo os esforços horizontais como é possível verificar na Figura 14.

Figura 14 - Diagramas Axonométricos do método construtivo FTTT.



Fonte: Extraído de Green (2012). Modificado pelos autores.

Para a execução do FTTT são fabricados diferentes tipos de madeira: o CLT (*Cross Laminated Timber*) que consiste em várias camadas de placas empilhadas transversalmente e coladas em ambas as faces; o LSL (*Laminated Strand Lumber*) que se trata de uma madeira composta para fins estruturais com diferentes combinações de espécies de madeira a fim de atingir maiores resistências e posteriormente coladas e, por fim, o LVL (*Laminated Veneer Lumber*) produzida através de diversos folheados de madeira que são colados com um adesivo à prova d'água trazendo novas propriedades à madeira. São utilizados painéis de madeira nos pisos, nos fechamentos e no núcleo do edifício.

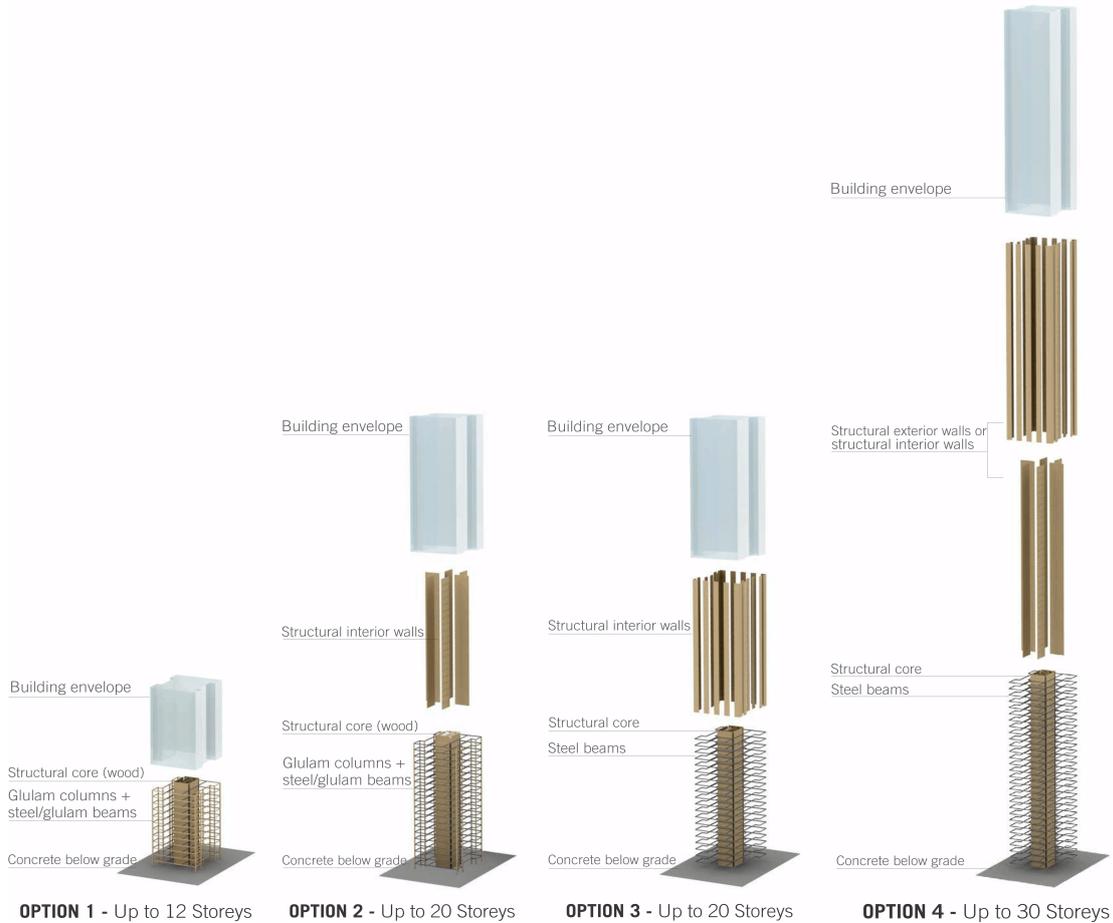
Figura 15 - Esquema de produção dos painéis de CLT e fabricação de painéis de CLT.

Fonte: Extraído de Multi-Generational Living (2014).

Na publicação supracitada são apresentados quatro casos de estudos. O primeiro para construção até 12 pavimentos, o segundo para construção de até 20 pavimentos com paredes exteriores sem função estrutural, o terceiro para construções de até 20 pavimentos com paredes exteriores estruturais e o quarto caso para construções de até 30 pavimentos. A básica diferença estrutural entre eles é que construções até 12 pavimentos não precisam de enriquecimento de aço em sua estrutura. Entretanto, a partir de 13 pavimentos esse enriquecimento do material se faz necessário, assim como a utilização de mais paredes como elemento estrutural (Figura 16).

A publicação sugere um novo método flexível de construção que pode ser acrescido, modificado e retificado de acordo com as necessidades do projeto, do uso e do terreno. A flexibilidade foi um ponto crucial na elaboração dos protótipos para que os casos de estudos pudessem atender o máximo de necessidades e diferentes características exteriores de acordo com a vontade dos projetistas, tornando o trabalho ainda mais generalista.

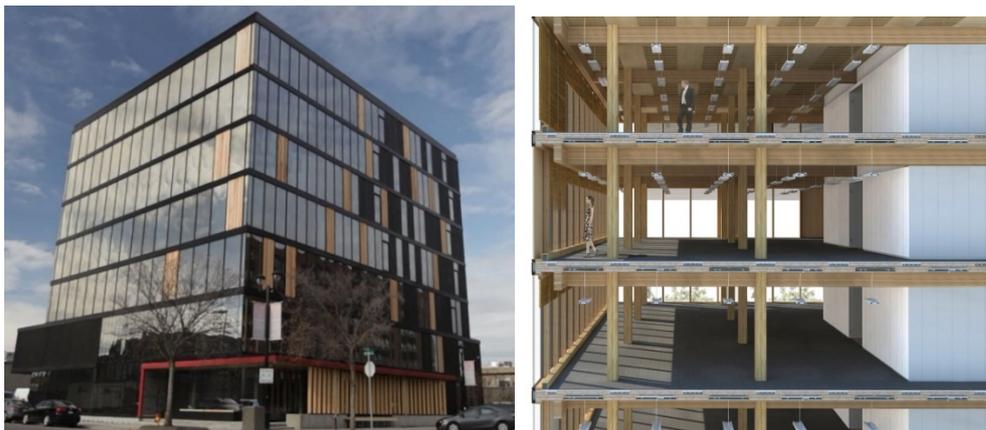
Figura 16 - Quatro casos de estudos explorados na publicação *The case of the tall wood buildings, How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly for Tall Building Structures*.



Fonte: Adaptado de Green (2012).

Vários fatores como sustentabilidade, proteção contra incêndios, infiltrações, fundações, mesclagem com outros materiais, códigos de normas, perspectivas de mercado e custos são abordados na publicação através de testes realizados previamente a fim de trazer um leque de informações necessárias para a decisão da utilização do método pelo projetista. Um fator interessante na realização de projetos como estes é a ligação estreita entre os projetistas e os engenheiros que devem trabalhar em conjunto desde as primeiras até as últimas etapas do projeto para que haja sucessão na execução. A concretização disto somente será possível através da realização de protótipos computadorizados BIM (*Building Information Model*) detalhados para a pré-fabricação dos elementos.

Após a publicação desse material, *Michael Green Architects* idealiza um projeto em método FFTT, o *Wood Innovation and Design Centre* em British Columbia, Canadá que se torna emblemático. Inaugurado em 2014 com 4.820,00 m² construídos e oito pavimentos. Tal iniciativa traz para além do papel novas perspectivas reais para a construção pré-fabricada de madeira.

Figura 17 - Vista externa e corte computadorizado esquemático do Wood Innovation and Design Center.

Fonte: Extraído de UNBC (2015) e ARCHDAILY (2015).

Nos últimos três anos diversas promessas de estruturas verticais de madeira vêm surgindo desafiando, cada vez mais, os limites da engenharia embora continuem esbarrando em códigos de urbanismo e de incêndio. Assim, o campo se abre cada vez mais e os testes dos materiais se tornam mais presentes forçando que se derrubem barreiras gravadas no senso comum em relação ao material.

Atualmente, as propostas para concursos de arquitetura com madeira aumentam velozmente como, por exemplo, o edifício proposto pelo escritório *Rüdiger Lainer and Partners* em Viena, Áustria, denominado de *The Hoho building* que promete ser o edifício mais alto do mundo construído com madeira. O edifício multifuncional contará com apartamentos, hotel, restaurantes, *spa* e escritórios distribuídos em seus 24 pavimentos com 76% de sua composição em madeira. O edifício foi o vencedor. O início da construção está previsto para 2016 e custará cerca de 60 milhões de euros.

Figura 18 - Perspectivas renderizadas do Edifício Hoho.

Fonte: Extraído de Moneo (2015) e Cameron (2015)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi feita uma revisão de literatura acerca das estruturas verticais pré-fabricadas de madeira na arquitetura e observou-se que tais estruturas apresentam vantagens na concepção arquitetônica e na construção valorizando e destacando a estética, modulação, resistência e rapidez na execução. Observou-se, ainda, que esse tipo de construção é uma crescente mundial, porém, no Brasil, ainda é insipiente devido principalmente a madeira apresentar um preconceito no tocante a durabilidade devido a ser um material natural, existir pouco conhecimento sobre o método construtivo e, além disto, o custo alto da industrialização de madeiras de boa qualidade, no Brasil, ainda é alto.

Verificou-se a grande diversidade de tipos de madeira, a possibilidade de associação com outros materiais, sua adaptabilidade ao projeto modular e a afinidade com os programas computacionais BIM que propiciam o total conhecimento do projeto até a sua execução.

A pré-fabricação, além de tornar o projeto mais rápido, traz um interessante caráter de aproximação entre os profissionais envolvidos, pois além da necessidade de profissionais bem qualificados, exige uma proximidade, um contato direto entre arquitetos e engenheiros envolvidos na concepção do projeto para que não haja falhas e perdas durante o processo projetual/construtivo.

As perspectivas futuras dessas estruturas verticais de madeira são promissoras devido às vantagens já apresentadas e também por causa da maior facilidade na concepção dos projetos em virtude da existência de softwares computacionais que facilitam a sua elaboração.

REFERÊNCIAS

ARCHDAILY. 2014. Tamedia Office Building / Shigeru Ban Architects. 2014. Disponível em: <http://www.archdaily.com/478633/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects>. Acesso em: 19/05/2015.

ARCHDAILY. 2014. Aspen Art Museum / Shigeru Ban Architects. Disponível em: <http://www.archdaily.com/478633/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects/>. Acesso em: 29/05/2015.

ARCHDAILY. 2015. Wood Innovation Design Centre / Michael Green Architecture. Disponível em: <http://www.archdaily.com/630264/wood-innovation-design-centre-michael-green-architecture/>. Acesso em: 21/05/2015.

ARCHITECT MAGAZINE. 2015. USACE Federal Center South Building 1202. Disponível em: <http://www.architectmagazine.com/project-gallery/usace-federal-centersouth-building-1202>. Acesso em 22/05/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BERRIEL, Andrea. Arquitetura de madeira: reflexões e diretrizes de projeto para concepção de sistemas e elementos construtivos. 2009.363 págs. Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais – UFPR, Curitiba.

BRASIL. 2010. Trajetória e Estado da arte da Formação em Engenharia, Arquitetura e Agronomia (Vol. II). Disponível em: <http://www.ufjf.br/observatorioengenharia/files/2012/01/vol2.pdf>. Acesso em: 12/04/2015.

CAMERON, Charley. 2015. Vienna set to build the world's tallest wooden skyscraper. Disponível em: <http://journalofcommerce.com/Associations/News/2015/4/Associations-weigh-in-on-wood-building-1007098W/>. Acesso em: 23/05/2015.

EVANS, Layne. Cross Laminated Timber, Taking wood buildings to the next level. Engineering News Record. Out. 2013.

DOVETAIL,Partner Inc. 2015. Building with wood. Disponível em: http://www.dovetailinc.org/report_pdfs/2015/building_with_wood.pdf. Acesso em: 10/05/2015.

GREEN, M. 2013. Why We Should Build Wooden Skyscrapers. Disponível em: https://www.ted.com/talks/michael_green_why_we_should_build_wooden_skyscrapers/transcript. Acesso em: 13/04/2015.

MGB, Architecture; GREEN, Michael. 2012. The case for tall wood buildings: How mass timber offers a safe, economical, and environmentally friendly alternative for tall buildings structures. Fev. 2012. 237 págs.

MONEO, Shannon 2015. Associations weigh in on wood building. Disponível em: <http://inhabitat.com/vienna-set-to-build-the-worlds-tallest-wooden-skyscraper/>. Acesso em: 23/05/2015.

MULTI-GENERATIONAL LIVING. 2014. Construction Materials. Disponível em: <https://mgenhaus.wordpress.com/research/construction-materials/>. Acesso em: 13/04/2015.

PACHECO, Alexandre. 2014. Estruturas de aço e de madeira. Disponível em: https://chasqueweb.ufrgs.br/~apacheco/ENG01173/Notas%20de%20Aula/ENG01173_13%20Ligacoes%20em%20Madeira.pdf. Acesso em: 20/06/2015.

PAULI, Gunter. UPSIZING. São Paulo: Fundação Zeri do Brasil, 1998.

PFEIL, Walter e Michèle. Estruturas de Madeira. 6ª edição. Rio de Janeiro, Brasil: Editora LTC, 2013, 223 p.

SUMMARY REPORT. 2014. Survey of Internacional Tall Wood Buildings. Disponível em: <http://www.tagesanzeiger.ch/zuerich/stadt/Ich-hasse-einfach-dieVerschwendung/story/>. Acesso em: 20/05/2015.

SHIGERU BAN ARCHITECT. 2014. Aspen Art Museum. Disponível em: http://www.shigerubanarchitects.com/works/p13_aspen-art-museum/index.html. Acesso em: 29/05/2015.

SWENSON, Jim O.; BLACK, Jason. 2013. A Worthy Wager. Disponível em: <http://www.structuremag.org/?p=449>. Acesso em: 20/05/2015.

THE WOOD PRODUCTS COUNCIL. The Wood Products Council, 2012. Disponível em: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/C-WSF-2012-NABIH-LCT-1.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2015.

UNBC – University of Northern British Columbia. 2015. The Wood Innovation and Design Centre. Disponível em: <http://www.unbc.ca/engineering-graduate-program/wood-innovation-and-design-centre>. Acesso em 21/05/2015.

VILELA, Maria Isabel Marques. A madeira na construção de habitação coletiva. 2013. 152 págs. Faculdade de comunicação, artes, arquitetura e tecnologias da informação - Universidade lusófona do Porto, Porto.

WOOD, Works. 2013. Wood in Higher Education. Wood in educational buildings. Disponível em: <http://www.naturallywood.com/sites/default/files/Wood-in-Higher-Education.pdf>. Acesso em: 01/05/2015..

Jessika Pinheiro

Discente do Curso de Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal da Paraíba.

Antônio da Silva Sobrinho Júnior

Professor Adjunto do Departamento de Arquitetura e
Urbanismo da UFPB.
Professor do Curso de Engenharia Civil do UNIPÊ.