ESTUDO DAS SOLUÇÕES UTILIZADAS PARA LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS EM SISTEMAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA, AÇO E TUBETES DE PAPEL[1]

DIAS, N. S., Universidade Estadual de Campinas, e-mail: nathalia.schimidt@hotmail.com;
SALADO, G. C., Universidade Estadual de Campinas, e-mail: gerusa@ft.unicamp.br

ABSTRACT

The connections must ensure a structural system capable of withstanding all the requesting efforts. They interrelate in the constructability, execution time, cost, durability and performance of the structures. Therefore, the material, format, dimensions, manufacturing (industrial or artisan), own weight, esthetics and cost of production are important. The objective of this work is to discuss the main solutions used to connect elements in structural systems of wood (wood frame), steel (light steel framing) and cardboard tubes, with some considerations on these. More than twenty types of connections and their details, used in the mentioned structural systems, were studied, being the main types, presented in this work. It can be said that for each structural system the choice of the type of connecting piece is associated with the attributes of the structural element (format, material etc) and also the needs of the project, as referring to the requested efforts.

***Keywords**: Connection. Connect element. Connecting piece. Structural system.*

1 INTRODUÇÃO

O comportamento de qualquer sistema estrutural não depende somente do material, mas também de como as forças são distribuídas na estrutura (ENGEL, 2015). Esse comportamento está relacionado à utilização de elementos de contraventamento (aumento da estabilidade) e de elementos de ligação (transmissão das forças).

Segundo Acker (2002), a função das ligações é garantir a interligação entre as peças, compondo um sistema estrutural capaz de resistir a todos os esforços solicitantes.

As diretrizes da NBR 15.575 (ABNT, 2013) afirmam que os elementos de ligação devem impedir o deslocamento ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculados a eles, considerando-se as ações permanentes e de utilização. As conexões influenciam na durabilidade das estruturas; portanto, para ter um bom desempenho devem-se considerar o seu tipo, material, uso de contraventamento etc.

As ligações constituem uma das principais dificuldades a serem enfrentadas pelos projetistas. Além do comportamento final da estrutura, o tipo de ligação implica diretamente na montagem e construtibilidade, no cronograma de execução e nos custos (EBELING, 2006).

[1] DIAS, N. S., SALADO, G. C. Estudo das soluções utilizadas para ligação entre elementos em sistemas estruturais de madeira, aço e tubetes de papel. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

O objetivo deste trabalho é abordar as principais soluções utilizadas para ligação entre elementos em sistemas estruturais de madeira (*Wood Frame)*, aço (*Light Steel Framing)* e tubetes de papelão, tecendo-se algumas considerações sobre estas.

Ambos sistemas apresentam características diferentes das estruturas convencionais em concreto armado, metálicas ou de madeira feitas por carpintaria. O estudo feito nas estruturas *Wood Frame*, *Light Steel Framing* e de tubetes de papel mostra uma gama maior de possibilidades de ligações, e as diferenças decorrentes dos formatos dos seus elementos estruturais (seção U, quadrada, cilíndrica – maciça ou vazada) e dos materiais (aço, madeira, papel).

Através de pesquisa bibliográfica foram estudados mais de vinte tipos de ligações e seus detalhes, empregadas nos sitemas estruturais mencionados, sendo os principais tipos apresentados neste trabalho. Tecnicamente, todas as soluções têm que ser eficazes, porém, em termos de construtibilidade, peso, custo, processo de fabricação etc, existem vantagens e desvantagens.

Pode-se dizer que para cada sistema estrutural a escolha do tipo de peça de ligação está associada aos atributos do elemento estrutural (formato, material etc) e também as necessidades do projeto, como referente aos esforços solicitantes.

2 OS ELEMENTOS DE LIGAÇÃO NAS ESTRUTURAS DE MADEIRA, AÇO E TUBOS DE PAPEL

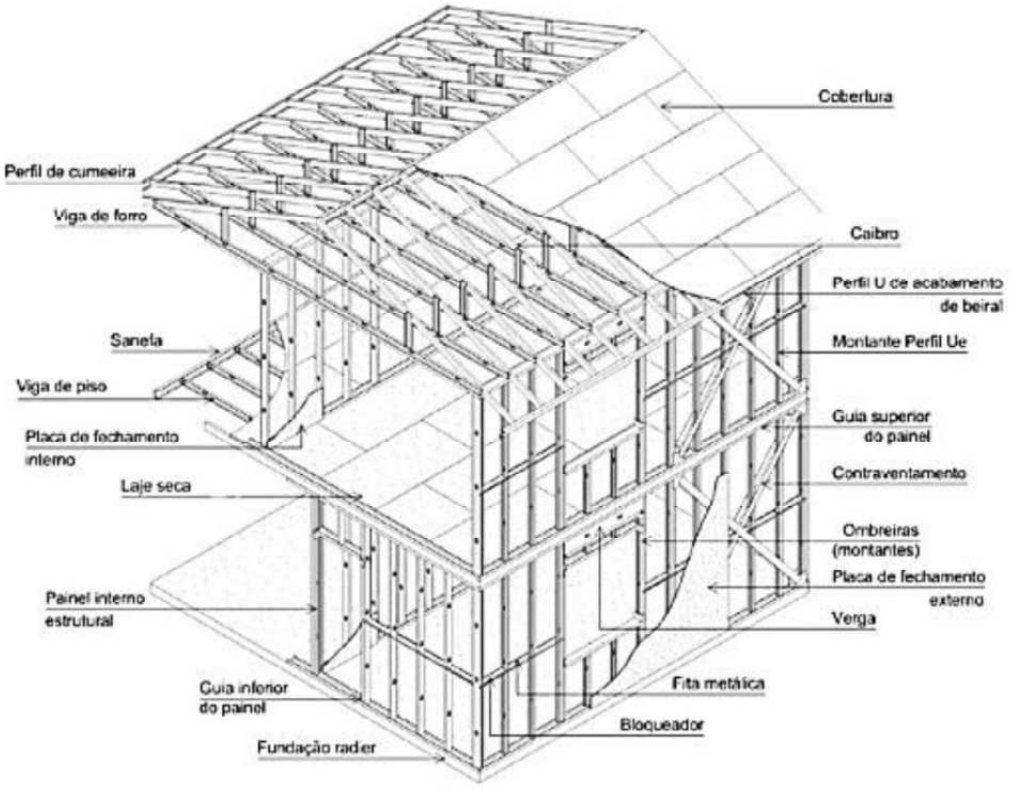
Os sistemas estruturais em *Wood Frame*, *Light Steel Framing* e tubos de papel têm em comum sua constituição basicamente por elementos verticais, horizontais e às vezes diagonais ligados na maioria dos casos por parafusos, pregos, chapas metálicas ou peças de conexão. Geralmente são construções executadas por montagem a partir de componentes construtivos feitos sob medida para cada projeto.

As ligações são os pontos de encontro entre os elementos, nos quais as cargas tendem a se concentrar tornando-os mais susceptíveis a ruptura; por isso, fatores como material utilizado nos elementos de conexão, formato, dimensões, fabricação (industrial ou artesanal) e durabilidade são muito importantes, além do peso próprio, construtibilidade (facilidade de execução e tolerâncias de montagem), estética e custo de produção.

2.1 Ligações em estruturas *Light Steel Framing*

O *Light Steel Framing (LSF)* é composto por perfis de aço galvanizado, projetados para suportar as cargas da edificação e garantir o seu desempenho em conjunto com outros subsistemas industrializados – figura 1 (SANTIAGO, 2008).

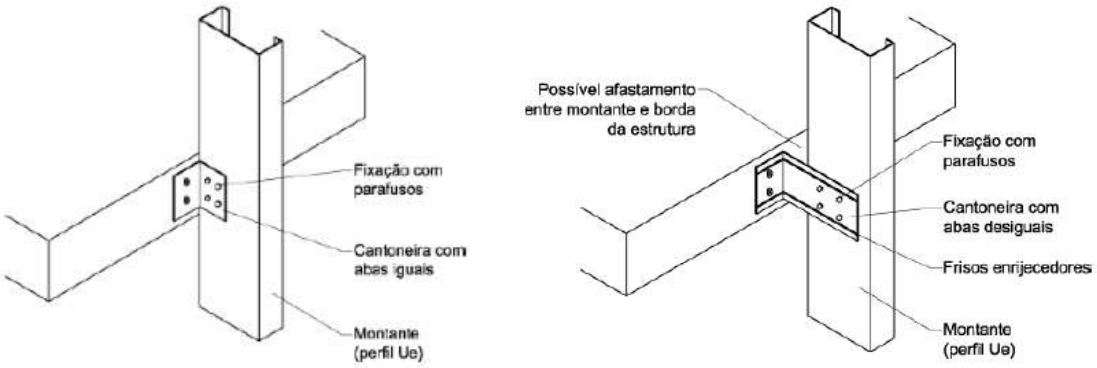
Figura 1 – *Light Steel Framing*



Fonte: Santiago, 2008, p. 11

As ligações são rígidas ou não-rígidas. As rígidas, figuras 2 e 3, são responsáveis por resistir às cargas horizontais e aos carregamentos verticais provenientes do peso próprio dos painéis e seus acabamentos. A sua execução é feita através de cantoneiras fixadas por parafusos ou solda.

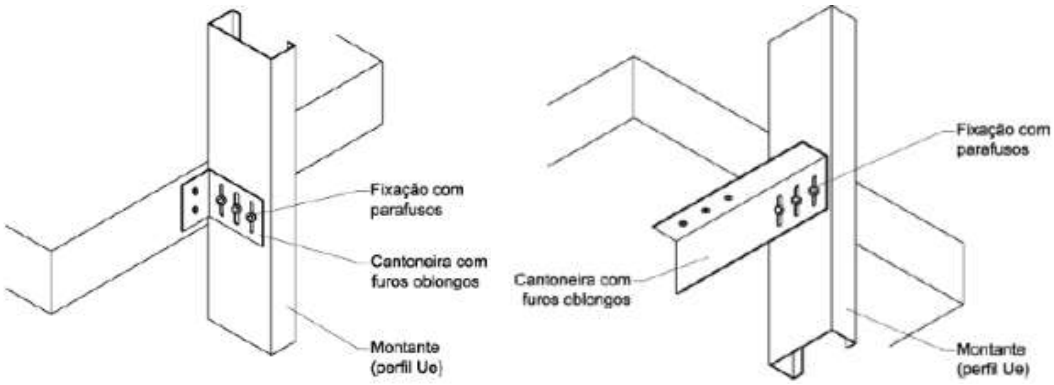
Figuras 2 e 3 – Ligações rígidas com cantoneiras comum e de aba longa



Fonte: Santiago, 2008, p.75-6

As ligações não-rígidas permitem a movimentação vertical entre os elementos no LSF. As peças utilizadas possuem a função estrutural de resistir apenas às cargas horizontais do vento – figuras 4 e 5 (SANTIAGO, 2008).

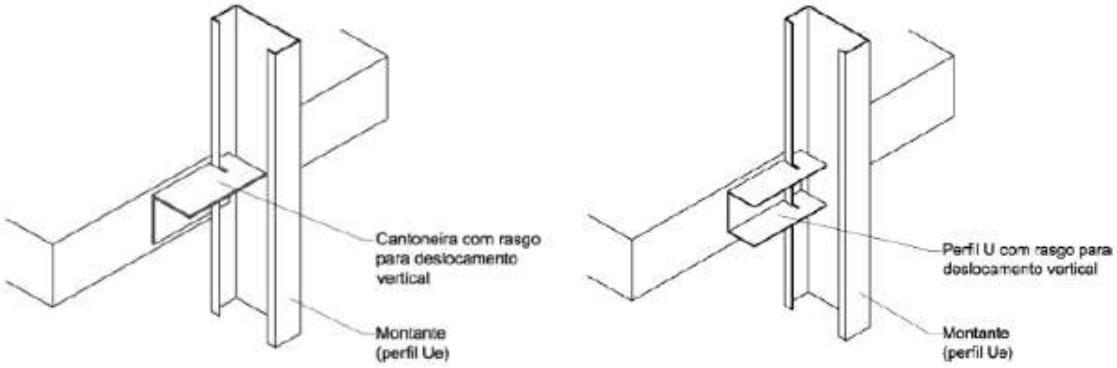
Figuras 4 e 5 – Ligações não-rígidas



Fonte: Santiago, 2008, p.78 e 80

As ligações não-rígidas conectadas às mesas e enrijecedores dos montantes permitem a movimentação vertical destes em relação à estrutura principal, com a função de resistir apenas às cargas horizontais. Segundo Santiago (2008), a forma mais simples e barata dessa ligação consiste numa cantoneira convencional com abas largas e um corte transversal - figuras 6 e 7.

Figuras 6 e 7 – Ligações não-rígidas com cantoneira e perfil U

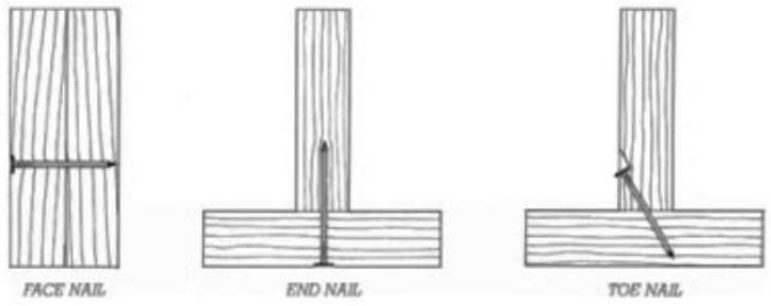


Fonte: Santiago, 2008, p.81-2

2.2 Ligações em estruturas *Wood Frame*

No *Wood Frame* a maioria das ligações é feita por pregos. Existem três formas de pregação (figura 8) que se adaptam a situações específicas de acordo com o método construtivo. A pregação em ângulo, chamada de *toe nail*, é utilizada somente em casos onde não é possível realizar a do tipo *end nail*, como por exemplo na conexão entre tesouras de madeira e a soleira superior (CARDOSO, 2015).

Figura 8 – Tipos de pregação



Fonte: Cardoso, 2015, p.52

Segundo Molina e Calil Junior (2010), em países onde a madeira é bastante utilizada o prego é considerado um excelente recurso para fixação. No sistema *Wood Frame* são utilizados pregos do tipo ardox ou anelado (figura 9) que dificultam o arrancamento, principalmente em madeiras macias como as comumente utilizadas.

Figura 9 – Pregos ardox e anelado



Fonte: Comercial Gerdau, 2015

Segundo Cardoso (2015), para efetuar as ligações entre os elementos que compõem a estrutura devem-se seguir algumas especificações quanto ao tipo de prego, espaçamentos e tipo de pregação. A tabela 1 apresenta de maneira sintetizada todas as possíveis conexões na estrutura.

Tabela 1 – Conexões entre os elementos estruturais

Conexão	**Pregos**	**Pregação**	**Espaçamento**
Soleira superior – soleira superior	2 pregos comuns 19x36	*Face Nail*	30 cm
Soleira superior em interseções	4 pregos comuns 19x36	*Face Nail*	Em ambos os lados da junta
Montante – Montante	2 pregos comuns 19x36	*Face Nail*	60 cm
Montante – Soleira inferior	2 pregos galvanizados 19x36	*End Nail*	Por conexão
Montante – Soleira superior	2 pregos comuns 19x36	*End Nail*	Por conexão
OSB – Quadro estrutural	pregos comuns 17x27	*Face Nail*	15 cm nas bordas e 30 cm no inferior do painel

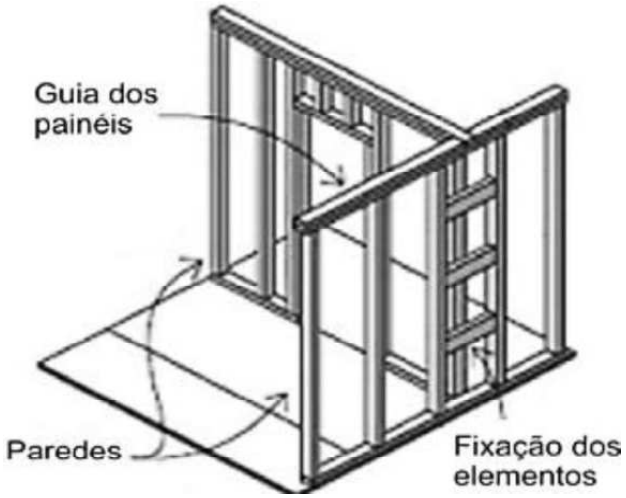
Fonte: Cardoso, 2015, p.53

As ligações entre os elementos estruturais no painel são efetuadas pela utilização de pregos, sendo que estes elementos metálicos de fixação

devem necessariamente ser galvanizados, uma vez que deverão ter longa vida de serviço (MOLINA e CALIL JUNIOR, 2010).

As figuras 10 e 11 mostram detalhes da fixação entre os painéis de vedação do sistema *Wood Frame*.

Figura 10 – Detalhe do sistema *Wood Frame*



Fonte: Civilização Engenheira, 2016

Figura 11 – Composição do painel em *Wood frame*



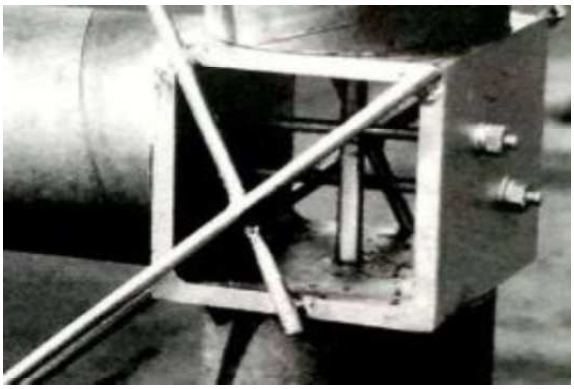
Fonte: Civilização Engenheira, 2016

2.3 Ligações em estruturas de tubos de papelão

A maioria das estruturas com tubetes de papel até hoje foram feitas pelo arquiteto Shigeru Ban. Os sistemas estruturais são variados, bem como as ligações, destacando-se as de madeira, metálicas ou polímero.

As conexões metálicas podem ter formato de caixa ou estrela (articulada ou não) e devido ao formato, resistência do material e dimensionamento, suportam os esforços atuantes na estrutura - figuras 12 e 13. São leves, têm boa durabilidade e facilidade de montagem.

Figuras 12 e 13 – Conexões metálicas em caixa ou estrela não-articulada

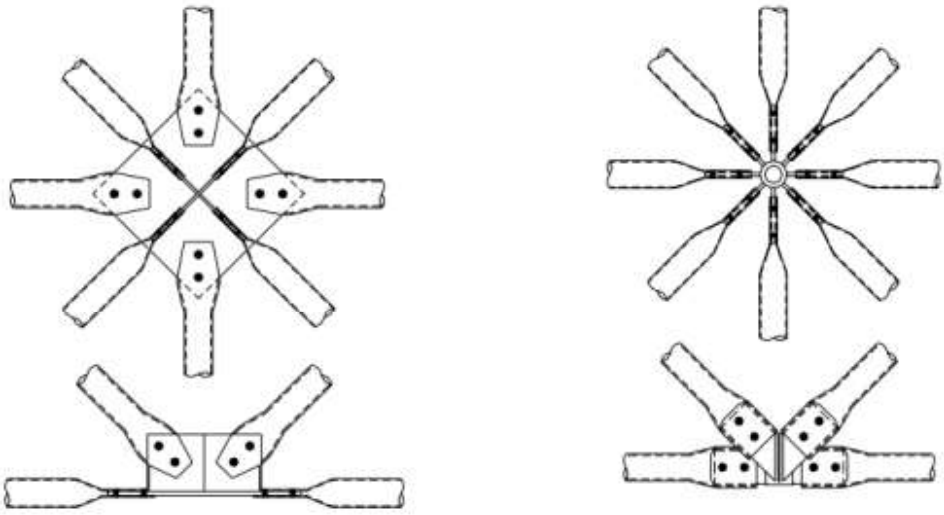




Fontes: Miyake, 2009, p.31 e Jodidio, 2015, p.321

As ligações em formato de estrela articulada são feitas em aço e possibilitam a construção de estruturas espaciais, permitindo flexibilidade - figuras 14 a 16.

Figura 14 – Nós de aço articulados



Fonte: Souza, 2003, p.78

Figuras 15 e 16 – Conexões metálicas articuladas empregadas nas obras de Ban

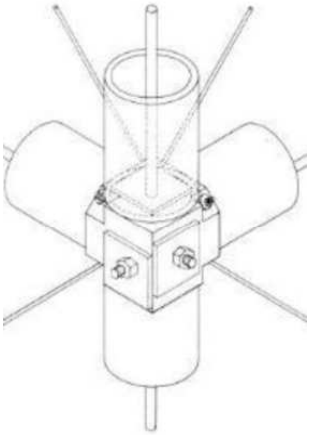




Fontes: Miyake, 2009, p.108 e *DesingBoom,* 2009

Outras ligações são esculpidas em madeira de lei ou laminada, tendo bastante resistência, peso próprio elevado e variabilidade dimensional – figuras 17 a 20.

Figuras 17 e 18 – Ligação em madeira de lei

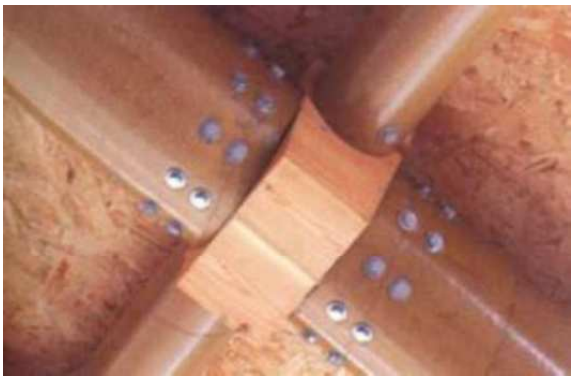




Fonte: Jodidio, 2015, p.89

Figuras 19 e 20 – Conexão em madeira laminada





Fonte: The Japan Architect, summer 1998, p.83

As conexões de polímero são leves, rígidas, fáceis de encaixar, produzidas industrialmente e utilizadas em obras com menor sobrecarga (figuras 21 e 22).

Figuras 21 e 22 – Conexões de polímero





Fonte: Editado de Worrall, 2013

Existem ligações flexíveis feitas com tiras de tecido, e ligações através de encaixes entre os tubos (figuras 23 e 24).

Figura 23 – Ligações flexíveis com tiras de tecido



Fonte: Fonte: McQuaid, 2003, p.64

Figura 24 – Ligação de encaixe entre os tubos



Fonte: Jodidio, 2015, p.458

Estas ligações são para obras de menor sobrecarga, executadas artesanalmente e mais simples. Não foram consideradas neste estudo, por constituírem poucas obras, mas vale mencioná-las como outras possibilidades.

3 CONCLUSÕES

Os sistemas estudados possuem semelhanças e diferenças. O *Light Steel Framing* e o *Wood Frame* são semelhantes na estrutura-gaiola; porém, no *Wood Frame* as seções de madeira são retangulares e maciças, contendo massa suficiente para que pregos atravessem dois elementos unindo-os. A solução é simples, rápida, barata e eficaz.

No LSF os perfis têm seção "U" com chapas de pouca espessura, sendo as cantoneiras dobradas em aço a melhor solução construtiva para unir elementos.

Os tubetes de papel têm resistência mecânica inferior à madeira e ao aço, mas o formato tubular agrega resistência. Contudo, o material, formato e

espessura da parede dos tubos não permitem as mesmas soluções usadas no LSF e *Wood Frame*, requerendo ligações que se acoplem ou encaixem por dentro ou por fora destes.

Entre as ligações estudadas, existem peças rígidas e não-rígidas (articuladas). A vantagem das articuladas é a flexibilidade na estrutura, admitindo certo grau de movimentação.

As peças de madeira são maciças e rígidas, precisam de tratamento contra insetos e umidade, são produzidas artesanalmente e apresentam variação dimensional, peso e custo mais elevados. As peças de polímero são leves, de fácil construtibilidade, produzidas industrialmente; mas suportam menor sobrecarga e são sensíveis aos raios ultravioletas, podendo ressecar e romper, reduzindo a durabilidade. As peças metálicas são resistentes, duráveis, consideradas leves, fácil construtibilidade e produção industrial reduzindo o custo.

Conclui-se que o estudo e escolha das ligações é de extrema importância, pois podem comprometer o desempenho da construção. Para cada situação devem-se considerar: os atributos do elemento estrutural (tipo, material, formato e espessura), condições de carregamento, resistência necessária da conexão, normatização, construtibilidade, local de montagem, disponibilidade de ferramentas, experiência da mão de obra e custo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575 - Edificações habitacionais – Desempenho – Requisitos para os sistemas estruturais.** Rio de Janeiro, RJ, 2013.

ACKER, Arnold van. **Manual de sistemas de pré-fabricados de Concreto** . FIP 2002, Tradução Marcelo Ferreira, ABCIC, 2003.

CARDOSO, L. A. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social.** Trabalho de conclusão de curso. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

CIVILIZAÇÃO ENGENHEIRA. **Construção Industrializada: Desafios e Perspectivas no Brasil.** Disponível em: https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2016/08/31/construcao industrializada-desafios-e-perspectivas-no-brasil/. Publicado em 31 de ago de 2016. Acesso em 06 de jan de 2017 às 16:10.

COMERCIAL GERDAU. **Prego ardox.** 2015. Disponível em: https://www.comercialgerdau.com.br/pt/produtos/prego-ardox#ad-image-0. Acesso em 29 de jun de 2018 às 16:25.

COMERCIAL GERDAU. **Prego anelado.** 2015. Disponível em: https://www.comercialgerdau.com.br/pt/produtos/prego-anelado#ad-image-0. Acesso em 29 de jun de 2018 às 16:25.

DESINGBOOM. **Shigeru Ban: Paper Tower.** Disponível em : http://www.designboom.com/architecture/shigeru-ban-paper-tower/. Publicado em 29 de set de 2009. Acesso em 25 de agosto de 2016 às 14:30.

EBELING, E.B. **Análise de Base de Pilares Pré-Moldados na Ligação com Cálice de Fundação.** Dissertação (Mestrado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2006.

ENGEL, H. **Sistemas estruturais**. São Paulo: G. Gili, Ltda, 2015.

JODIDIO, P. **Shigeru Ban: Complete Works 1985-2015**. Taschen, 2015.

MIYAKE, R**. Shigeru Ban: Paper in Architecture**. Nova York: Rizzoli International Publications, 2009.

MOLINA, J. C.; CALIL JUNIOR, 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

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. 153p.

SOUZA, A.S.C. **Análise teórica e experimental de treliças espaciais**. Tese (Doutorado). São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

THE JAPAN ARCHITECT. **Shigeru Ban.** Edição especial n30. Tóquio: A+U Publishing CO, summer 1998, 184p.

WORRALL, J. **Shigeru Ban: between function and beauty.** Disponível em: http://www.japantimes.co.jp/culture/2013/04/23/arts/shigeru-ban-between-function-andbeauty/#.WJo6rW8rLIU. Publicado em 23 de abr de 2013. Acesso em 15 de agosto de 2016 às 09:35.