

## **Sistema construtivo em wood frame como alternativa inovadora para o desenvolvimento sustentável no Brasil**

### **El sistema de construcción con estructura de madera como alternativa innovadora para el desarrollo sostenible en Brasil**

DOI:10.34117/bjdv8n3-306

Recebimento dos originais: 14/02/2022

Aceitação para publicação: 23/03/2022

#### **Fabiano da Silva dos Prazeres**

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Cesumar – UNICESUMAR

Endereço: R. Desembargador Westphalen, 60, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

E-mail: fabianoprazeres@hotmail.com

#### **Eduarda Grobe Alberti**

Graduanda em Engenharia de Produção

Instituição: Universidade Cesumar – UNICESUMAR

Endereço: R. Desembargador Westphalen, 60, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

E-mail: duda.alberti120@gmail.com

#### **Flávia Sayuri Arakawa**

Doutorado em Engenharia Química – UEM – Maringá

Instituição: Universidade Cesumar – UNICESUMAR

Endereço: R. Desembargador Westphalen, 60, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

E-mail: flavia.arakawa@unicesumar.edu.br

### **RESUMO**

Os sistemas construtivos convencionais de alvenaria amplamente utilizados pelo setor da construção civil no Brasil geram uma grande quantidade de resíduos, que muitas vezes são descartados inapropriadamente no meio ambiente. No Brasil, faz-se necessário a utilização de tecnologias mais eficientes neste setor, os quais auxiliam para construções mais sustentáveis. Dentre estas tecnologias inovadoras, a tecnologia Wood frame tem se destacado por ser uma tecnologia inovadora e eficiente com baixo impacto ambiental, evidenciando uma lacuna no que tange uma pesquisa deste tipo de sistema construtivo. O estudo tem como objetivo avaliar o método construtivo Wood frame como uma alternativa viável para construção de edificações e analisar os benefícios do sistema. Este estudo possui caráter qualitativo, quantitativo e investigativo, por meio de revisão bibliográfica, pesquisa documental e visitas exploratórias em uma empresa de beneficiamento de madeira e na de construção industrializada em edificações com o sistema Wood frame. O estudo comparou os custos de uma habitação popular de 44,30 m<sup>2</sup> entre três sistemas construtivos: Wood frame, convencional e concreto armado. O resultado evidencia que o sistema construtivo Wood frame possui maior agilidade executiva, demandando o menor período de tempo para conclusão da obra, um valor intermediário por m<sup>2</sup> entre os métodos analisados, utilizando menos materiais e mitigando os resíduos gerados no canteiro de obras.

**Palavras-chave:** método construtivo em madeira, sustentabilidade, inovação tecnológica.

## **ABSTRACT**

The conventional masonry construction systems widely used by the civil construction sector in Brazil generate a large amount of waste, which is often inappropriately disposed of in the environment. In Brazil, it is necessary to use more efficient technologies in this sector, which help for more sustainable constructions. Among these innovative technologies, the wood-frame technology has stood out for being an innovative and efficient technology with low environmental impact, highlighting a gap in relation to a research of this type of building system. The study aims to evaluate the Wood frame construction method as a viable alternative for building construction and to analyze the benefits of the system. This study has a qualitative, quantitative and investigative character, by means of literature review, documentary research and exploratory visits to a wood processing company and an industrialized building construction company using the Wood frame system. The study compared the costs of a 44.30 m<sup>2</sup> low-cost housing unit between three construction systems: Wood frame, conventional and reinforced concrete. The result shows that the Wood frame construction system has greater executive agility, requiring the shortest period of time to complete the work, an intermediate value per square meter among the methods analyzed, using fewer materials and mitigating the waste generated at the construction site.

**Keywords:** wood construction method, sustainability, technological innovation.

## **1 INTRODUÇÃO**

O setor da construção civil é um grande aliado do governo brasileiro em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) do país. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o setor da construção civil foi responsável por 3,8% do valor adicionado bruto no ano de 2019 (IBGE, 2019).

Considerando a extensão do território brasileiro e o potencial do setor da construção civil, há uma grande quantidade de resíduos gerados neste setor, comumente denominados como Resíduos da Construção Civil (RCC). O governo federal, através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) realiza o monitoramento da quantidade de resíduos lançados ao meio ambiente, sendo que no ano de 2019 foram gerados 4,4 milhões de toneladas de RCC (SNIS, 2020).

No Brasil, o sistema construtivo amplamente utilizado e difundido é o sistema de alvenaria convencional (PEREIRA, 2018). Este sistema demanda um maior tempo de execução do projeto e geram uma grande quantidade de resíduos, pois suas instalações elétricas e hidráulicas são inseridas após o término das paredes do projeto, sendo

necessário que sejam quebradas e posteriormente fechadas com argamassa (QUEIROZ, OLIVEIRA, 2019).

Embora os sistemas convencionais de alvenaria sejam predominantes, o país já mostra indícios de domínio de tecnologias com obras industrializadas, tanto na área industrial quanto na residencial, possibilitando a execução de construções com rapidez e qualidade. A utilização de sistemas construtivos alternativos ao sistema convencional que aliam qualidade técnica, uma menor geração de resíduos e conseqüentemente menores impactos ambientais, vem ganhando cada vez mais espaço no Brasil.

A madeira é uma matéria-prima já utilizada na construção civil, nas mais diversas formas em usos temporários, como: andaimes e escoramentos, e em usos permanentes como estruturas de coberturas e esquadrias (ZENIDE, 2009) e apresentam diferentes resistências, as quais são classificadas pela norma NBR 7190/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997).

O *pinus* possui alta produtividade, capacidade de adaptação e baixa necessidade de suprimentos do solo, sendo cultivados por grandes empresas de reflorestamento como por pequenos proprietários rurais, tornando possível o investimento na construção *Wood frame* de forma sustentável. Os resíduos florestais gerados nas plantações florestais comerciais proporcionam benefícios ambientais como: proteção do solo, aumento de biomassa microbiana do solo, ciclagem de nutrientes entre outros (EMBRAPA, 2017).

O fator do Estado do Paraná ser um dos maiores produtores de madeira de reflorestamento da espécie *pinus*, corrobora para a utilização desta matéria prima e aprimoramento da tecnologia *Wood frame* no Estado.

Apesar de pouco difundido no Brasil, o sistema de construção *Wood frame*, surgiu entre os séculos XVIII e XIX no território do Estados Unidos sob influência de colonos ingleses e franceses (ESPÍNDOLA, 2017). O sistema *Wood frame* representa 90% das construções canadenses e suecas, mais de 75% das americanas e mais de 30% das alemãs (ALVES, 2015).

Este sistema quando adequadamente projetado e executado apresenta inúmeras vantagens que o sobrepõe em relação a métodos construtivos que, tradicionalmente vem sendo aplicados no Brasil. Dentre elas, estão um maior controle de produção e qualidade nas estruturas devido o ambiente industrial (KOKUBUN, 2014), facilidade e agilidade de construção, otimização do uso de materiais que mitiga o seu desperdício e redução de retrabalhos materiais.

No Brasil, há uma empresa localizada no Estado do Paraná que é considerada pioneira neste tipo de construção eficiente. Segundo a empresa, TecVerde, o sistema consiste na construção de módulos individuais construídos industrialmente e com agilidade na execução do projeto. Estima-se, aproximadamente, uma agilidade 4 vezes maior em comparação a alvenaria convencional, possibilitando melhor gerenciamento dos resíduos, com redução de até 85%. Outro fator relevante deste sistema é o valor percebido, que em diversas situações extrapolam as questões de valores, pois alguns custos indiretos que ocorrem em obras convencionais são absorvidos por este sistema devido a industrialização, obtendo vantagens agregadas de forma subjetiva, como por exemplo redução de riscos trabalhistas (TECVERDE, 2021).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar o método técnico-construtivo do sistema *Wood frame* e suas potencialidades, como uma alternativa viável técnica e econômica para edificações, apresentando as características, matérias primas utilizadas e seus benefícios, além de acompanhar o processamento de obtenção da matéria prima (madeira) até a etapa industrial de fabricação dos painéis.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo possui caráter qualitativo, quantitativo e investigativo, baseado na análise técnica do método construtivo *Wood frame* como sua adequabilidade, as principais características, as tipologias construtivas, os materiais, as vantagens e desvantagens, eficiência, sustentabilidade e demais aspectos importantes desta tecnologia, por meio de uma revisão bibliográfica, e visitas exploratórias em empresa de beneficiamento de madeira e empresa de construção industrializadas em edificações com o sistema *Wood frame*.

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E PESQUISA DOCUMENTAL

Neste estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e uma pesquisa documental com o propósito de incrementar o aporte técnico sobre o tema desta pesquisa. Na etapa da pesquisa bibliográfica, selecionou-se estudos relacionados ao tema, incluindo produções acadêmicas (artigos, livros, dissertações e teses), normas nacionais e internacionais, manuais construtivos e diretrizes técnicas. A etapa da pesquisa documental, baseou-se em catálogos de produtos de empresas especializadas no sistema construtivo, memoriais técnicos e também por meio de contatos e obtenção de

informações preliminares com empresas, profissionais e pesquisadores que trabalham com edificações de madeira, especificamente, com o sistema construtivo *Wood frame*.

## 2.2 VISITAS EXPLORATÓRIAS

As visitas exploratórias, serviram como estudos preliminares e com a finalidade de verificar o processo inicial de obtenção da madeira e seu tratamento, bem como as principais características inerentes ao processo final de produção dos painéis de madeira industrializados.

A primeira visita exploratória foi realizada em uma empresa beneficiadora de madeira localizada no município de Ponta Grossa – PR. As informações foram obtidas por meio de observação do pesquisador e, por meio de interrogação ao proprietário da empresa. Além disso, foi realizado o registro fotográfico do processo de tratamento da madeira e o levantamento espacial dos ambientes, do processo de beneficiamento, dos equipamentos, e outros itens, como as características da madeira, composição, processo produtivo e principais etapas.

Para conhecimento do processo de construção dos painéis foi realizado outra visita técnica na empresa TecVerde, situada no município de Araucária – PR. A referida empresa foi a primeira no território nacional a utilizar métodos de construção industrializadas em edificações com o sistema *Woodframe*. Por meio de observações do processo industrializado, acompanhado de um profissional da empresa, foi coletado informações sobre o processo industrial.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 VISITA EXPLORATÓRIA A EMPRESA DE TRATAMENTO QUÍMICO DA MADEIRA

A madeira utilizada para fins estruturais no sistema *Woodframe* necessita de tratamento contra a ação de agentes biológicos que possam causar danos nas estruturas e diminuir a vida útil de edificações. A empresa TW Brazil UPM, localizada no município de Ponta Grossa –PR, atua no beneficiamento e tratamento químico de madeiras das espécies *Eucalipto*, *Pinus* e *Teca*. Neste estudo, o foco é especificamente na espécie *Pinus*, pois esta espécie é destinada para a produção e execução de projetos em *Wood frame*.

De acordo com as informações obtidas na visita exploratória, o processo de beneficiamento e tratamento da madeira é realizado em seis etapas: 1) Preparação, 2)

Secagem, 3) Autoclavagem, 4) Ressecagem, 5) Usinagem e 6) Destopo e Expedição, detalhadas abaixo.

1) Preparação: inicialmente há a classificação da madeira recebida e, posteriormente o gradeamento da madeira, que consiste no empilhamento da madeira para facilitar a armazenagem e transporte para as etapas seguintes do processo.

2) Secagem: a madeira serrada ao chegar na empresa possui umidade relativa em torno de 25%, sendo esta além da umidade ideal (15% a 18%). A secagem da madeira, é realizada em uma estufa, a temperatura aproximada de 70° C, sendo este processo controlado rigorosamente. O processo de secagem é necessário para que não surjam defeitos nas madeiras, como trincas, encurvamentos e arqueamento. Durante este processo, há um controle da umidade para que a secagem da madeira seja do centro para a extremidade, até atingir a umidade relativa ideal. O processo de retirada da água existente no interior da madeira, permite aumentar a área superficial para a inserção dos componentes químicos, diminuindo as possibilidades de ação dos agentes biológicos.

3) Autoclavagem: a madeira com a umidade relativa ideal é submetida ao processo de preservação por vácuo-pressão em autoclave (Figura 2a). Nesta etapa é aplicado o composto químico CCA-C que possui ação contra insetos e fungos xilófagos na madeira. A composição do CCA-C consiste em 28,7% de trióxido de cromo ( $\text{CrO}_3$ ), 20,54% de pentóxido de arsênio ( $\text{As}_2\text{O}_5$ ) e 1,17% de óxido cúprico ( $\text{CuO}$ ) com ação inseticida, cupinicida e fungicida, respectivamente. No processo de autoclavagem, as madeiras são colocadas em contato com o CCA-C a 60% (v/v) e 40% de água (v/v) a pressão de aproximadamente  $12 \text{ kgf/cm}^2$  por 1 hora, condição necessária para a impregnação do produto no interior da madeira. Após esse período, o fluido é drenado e novamente realiza-se outra etapa de vácuo, com o intuito de retirar o excesso de fluido do interior das madeiras. O fluido drenado do processo é armazenado em reservatórios de  $15\text{m}^3$ , totalizando  $60\text{m}^3$  o conjunto de reservatórios (Figura 2b) e posteriormente, o fluido é reutilizado em outros tratamentos.

4) Ressecagem (*kiln dried*): esta etapa consiste em reduzir de forma eficiente os níveis de umidade nas madeiras, proporcionando uma diminuição nos problemas causados por excesso de umidade. Com o teor de umidade uniforme, a madeira poderá admitir as dimensões finais sem que haja encurvamento, arqueamento, abaulamento, torcimento, o colapso, o endurecimento superficial, as rachaduras, as manchas e os defeitos.

5) Usinagem: a etapa subsequente é a usinagem em plaina moldureira. A madeira é faceada e dimensionada na espessura ideal para a utilização no sistema *Wood frame*.

6) Destopo e expedição: neste processo, são cortadas as pontas das madeiras ou toras para fins estéticos e principalmente, adaptar a madeira no comprimento correto conforme a especificação do cliente. Após o destopo, a madeira segue para a expedição (Figura 2c), onde são empilhadas e armazenadas até o seu carregamento e encaminhamento ao destino final.

Figura 2. Imagens ilustrativas do processo de tratamento químico da madeira da empresa TW Brasil UPM. (a) Autoclave com volume de 30 m<sup>3</sup> e pressão de operação de 12,72 Kgf/cm<sup>2</sup> (TW Brasil UPM). (b) Reservatórios de fluidos do processo de tratamento químico. (c) Expedição da madeira



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor (2021)

### 3.2 MADEIRA UTILIZADA NO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME*

Para o sistema *Wood frame* a principal matéria-prima utilizada é a madeira de *Pinus* tratada. Conforme o levantamento em estudo setorial da APRE - Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal, o estado do Paraná se destaca entre os demais

estados do país como maior produtor de *Pinus* em florestas plantadas e entre os maiores produtores mundiais (APRE, 2019). Segundo a Embrapa Florestal, o Brasil participa com 2,76% do total mundial das plantações florestais, estando entre os nove maiores plantadores (EMBRAPA, 2017).

A madeira é considerada um material ecologicamente correto, consome menos energia em sua transformação, sua produção é pouco poluente, sendo um material estrutural renovável. Dentre as vantagens do material destaca-se a facilidade de manuseio, possibilidade de reaproveitamento, grande resistência mecânica e reduzida massa específica (FRANÇA, 2011).

A madeira da espécie *Pinus* possui propriedades físicas e químicas como sua densidade básica a qual varia entre 440 e 590 kg/m<sup>3</sup> e sua umidade relativa de 65 ± 5% (BORTOLETTO, 2008). A condutividade térmica aumenta diretamente com o aumento da densidade, do teor de umidade, da temperatura e do teor de extrativos (SIAU, 1984). Com isso, tem-se uma condutividade térmica de 0,125J/m.s°C perpendicular às fibras e 0,314 J/m.s°C paralelo às fibras (FRANÇA, 2011).

A madeira de *Pinus* considerada uma estrutura leve, quando combinada com outros materiais é utilizada no sistema construtivo *Wood frame* para fins estruturais de paredes, pisos, coberturas com a finalidade de aumentar e proporcionar conforto térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e/ou contra o fogo (BOLSONI, 2020).

### 3.3 SISTEMA CONSTRUTIVO *WOOD FRAME*

Apesar do sistema *Wood frame* ainda ser pouco difundido no Brasil, países norte-americanos, centro europeu e escandinavos utilizavam esta técnica desde o século XIX (ESPÍNDOLA, 2017).

Nos países desenvolvidos este sistema é amplamente utilizado. Estima-se que o sistema *Wood frame* representa 90% das casas americanas, canadenses e australianas, sendo utilizada com diferentes arquiteturas como residências unifamiliares, multifamiliares, edifícios comerciais, hospitais, indústrias e galpões. Este sistema construtivo apresenta vantagens devido seu *design* flexível possuir uma grande variedade de revestimento e materiais, é um sistema de alta durabilidade, com vida útil estimada em 50 anos. Possui uma maior resistência térmica e excelente conforto acústico, tendo em vista que o sistema segue normas internacionais as quais superam as exigências nacionais (BOLSONI, 2020)

O sistema construtivo *Wood frame* é um sistema construtivo estruturado através de perfis de madeira, os quais são combinados com diferentes materiais de revestimento e acabamento constituindo os *frames*. Segundo Cardoso (2015) este sistema pode ser classificado conforme a sua forma de produção, podendo ser uma fabricação manual, parcialmente industrializada ou totalmente industrializada.

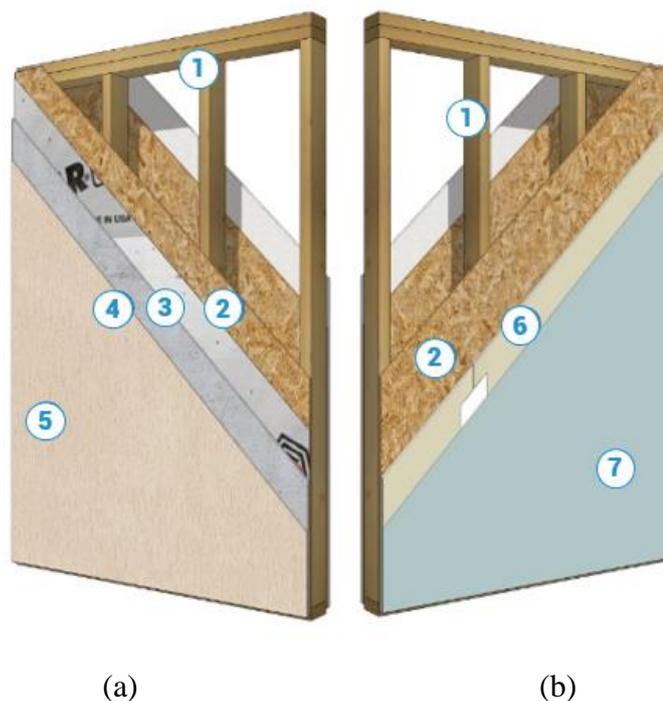
Segundo o autor, a fabricação manual consiste na construção da edificação no próprio local, necessitando de grande quantidade de mão de obra qualificada no canteiro de obras. Na construção parcialmente industrializada, as etapas de construção dos *frames* e telhados são construídas na fábrica, sendo que a parte elétrica e hidráulica são finalizadas no canteiro de obras. A execução totalmente industrializada consiste na produção de forma manufaturada, na qual são confeccionados painéis modulares com todo o sistema hidráulico e elétrico, os quais são transportados até o canteiro de obras e montados com o auxílio de equipamentos de içamento.

As edificações construídas com o sistema *Wood frame* não necessitam de fundações robustas, tendo em vista que este sistema é denominado como um sistema leve de construção. Bolsoni (2020) define sistema leve como sendo a construção que utiliza madeira (*Wood frame*) ou aço (*Steel frame*) de bitolas leves para apoio estrutural ou não.

Devido as características de um sistema construtivo leve as fundações utilizadas nas edificações de *Wood frame* composta por um ou dois pavimentos normalmente são fundações simples e econômicas, como o *radier*, que possui um menor valor para execução e devido a edificação ser mais leve, a fundação pode ser menos robusta, conseqüentemente resultando em economia (PEREIRA; VIEIRA, 2015). Nesta primeira etapa, o solo deve ser compactado, e o *radier* deve ser confeccionado para absorver as cargas da edificação, sendo esta uma das poucas etapas realizadas no canteiro de obra. Todo o restante da construção é realizado no interior da fábrica, desde a sua estrutura até o acabamento.

As paredes do sistema *Wood frame* que suportam as tensões laterais, são chamadas de paredes estruturais e podem ter distinções conforme a tecnologia utilizada. A Figura 3 mostra a representação de duas paredes utilizadas nesta tecnologia, para fins externos (a) e internos (b).

Figura 3: Estrutura das paredes do sistema construtivo *Wood frame*



Fonte: TecVerde (2021), adaptado.

A Figura 3a mostra uma parede externa, que possui em seu interior a madeira estrutural tratada (1); a qual é revestida inicialmente com a chapa estrutural *Oriented Strand Board* (OSB) (2); estas chapas são painéis construídos com tiras de madeiras e apresentam fácil manabilidade e alta resistência. Após a aplicação das chapas OSB, é inserido uma membrana hidrófuga (3) que tem como objetivo atuar como uma barreira ao calor e vapor d'água, permitindo que a umidade interna das paredes seja eliminada para o lado externo. Para realizar o revestimento da parede externa é aplicado uma placa cimentícia prensada (4), que melhora o acabamento das paredes. A realização do acabamento externo (5) ocorre através da aplicação de argamassa cimentícia e textura acrílica.

A Figura 3b representa uma parede interna do sistema construtivo *Wood frame*. Esta possui menos camadas em seu processo construtivo devido a não exposição a intempéries naturais. A parede interna também possui o madeiramento estrutural tratado (1), sendo recoberto com chapas estruturais OSB (2); a parede interna recebe chapas de gesso acartonado (6) que consiste em chapas produzidas mediante um processo de mistura de gesso, água e alguns aditivos. Estes painéis são inseridos após a montagem final das paredes, permitindo assim a realização do acabamento interno (7) com argamassa e pintura acrílica.

O telhado da edificação (Figura 4) é produzido em duas etapas. A primeira ocorre no interior da fábrica onde é produzido a estrutura do telhado com treliças pré-fabricadas. A segunda parte, consiste no seu transporte juntamente com as paredes finalizadas do empreendimento até o canteiro de obras. Na montagem, o telhado é içado até o topo da edificação por caminhões com guindastes e fixados na estrutura.

Figura 4: Montagem do telhado do sistema construtivo



Fonte: TecVerde (2021)

### 3.4 SISTEMA DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS

A empresa TecVerde, fabricante de painéis e banheiros modulares localizada no município de Araucária-PR é uma das pioneiras na utilização do sistema construtivo *Wood frame* no Brasil e se destaca devido a utilização de maquinários automatizados de tecnologia alemã, que eventualmente foram adaptados para a realidade local.

O processo de fabricação dos *frames* e das demais partes da edificação ocorrem de forma otimizada, havendo diversas frentes de trabalho, que executam os processos de forma concomitantes.

O *Wood frame* é um método de construção em que o edifício ou parte dele é construído fora do canteiro de obra, também denominado como construção *off-site*. O processo produtivo se dá nas seguintes etapas: 1) Montagem dos montantes, 2) Fixação de Chapas OSB, 3) Usinagem, 4) Tombamento, 5) Instalação hidráulica e elétrica, 6) Fechamento, 7) Inserção de esquadrias, 8) Construção entre pisos, 9) construção banheiros e 10) Armazenamento e transporte.

1) Montagem dos montantes: A primeira etapa do processo fabril das paredes estruturais, consiste na montagem dos montantes conforme especificação do projeto. Nesta etapa, é necessário apenas um operador no maquinário para realização de todo o trabalho estrutural dos painéis. O equipamento pneumático retira os montantes de sua

pilha de armazenamento, deslocando-os para o local exato de sua fixação, a qual é realizada através de pregos galvanizados (Figura 6a).

2) Fixação de Chapas OSB: Após a montagem dos montantes a estrutura há a fixação das chapas estruturais *Oriented Strand Board* (OSB). Realizada de forma manual (Figura 6b), as quais possuem uma sequência previamente estabelecida, tendo em vista que as mesmas possuem aberturas de janelas e portas. Para a fixação das chapas estruturais utilizam pinadores pneumáticos para otimizar o trabalho.

3) Usinagem: As aberturas menores para inserção de quadro de energia, tomadas entre outras utilidades é realizada no processo de usinagem da madeira, que consiste no processo automatizado de abertura para garantir a qualidade (Figura 6c), maior eficiência e produtividade no processo de fechamento dos painéis.

Figura 6. Imagens ilustrativas do processo de construção dos frames na empresa TecVerde. (a) Construção dos montantes. (b) Chapas *Oriented Strand Board* (OSB) fixadas. (c) Processo de usinagem das aberturas nas chapas.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor (2021)

4) Tombamento: Após o fechamento de um dos lados do painel, é realizado o processo de tombamento, que consiste no procedimento realizado pelo maquinário em colocar a face que já foi fechada para o lado de baixo da plataforma, para que então seja dado prosseguimento ao processo de montagem.

5) Instalação hidráulica e elétrica: Devido a parede estrutural possuir cavidades internas, é possível a realização da instalação hidráulica e elétrica nas paredes, antes do fechamento completo dos painéis. O sistema elétrico é confeccionado através de gabaritos que auxiliam a montagem dos conjuntos, sendo os mesmos identificados conforme uma classificação interna, sendo identificado o conjunto habitacional e o referido bloco que deverá ocorrer a instalação

6) Fechamento: Com a conclusão da instalação hidráulica e elétrica, é realizado o fechamento do painel com a chapa OSB.

7) Inserção de esquadrias: Após o fechamento da parede estrutural é inserido nas aberturas as esquadrias (portas e janelas). Sendo realizado a instalação das mantas hidrófugas que servem como barreiras contra o vapor de água, vento e poeira. Essa manta garante a adequada ventilação do sistema, permitindo a saída da umidade interna dos painéis. Após a aplicação da manta hidrófuga nas paredes, as mesmas recebem as placas de gesso acartonado, que foram devidamente cortadas e identificadas para aplicação. As placas são inseridas de forma manual, sendo utilizado gabaritos para espaçamentos entre as esquadrias.

8) Construção entre pisos: O conjunto estrutural de entre pisos para os conjuntos habitacionais com mais de um pavimento é realizado totalmente de forma manual, tendo em vista as especificidades de cada seção do empreendimento (Figura 7a).

9) Construção de banheiros: Os banheiros utilizados no sistema construtivo são confeccionados de forma modular, sendo utilizado em sua estrutura chapas especiais resistentes a umidade. Todo o banheiro é construído na fábrica (Figura 7b), sendo realizado a impermeabilização, contrapiso, piso cerâmico, revestimento das paredes com cerâmica, instalações hidráulicas e fixação de louça, sendo necessário apenas a sua fixação *in-loco*.

10) Armazenamento e transporte: Após todas as etapas concluídas em fábrica os cômodos do empreendimento são armazenados e transportados para o local do empreendimento para sua montagem (Figura 7c).

Figura 7. Imagens ilustrativas do processo de construção dos frames na empresa TecVerde. (a) Estruturas entre pisos. (b) Banheiros Modulares. (c) Armazenamento das estruturas para transporte.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autor (2021)

A empresa TecVerde estima que 85% das etapas de produção do sistema construtivo da empresa é realizada no ambiente fabril, e devido a isso há um maior controle de qualidade dos produtos e dos processos realizados, cabendo a realização de acabamento no local e posteriormente uma inspeção final no canteiro de obras.

### 3.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

O levantamento de custos da execução da obra entre diferentes sistemas construtivos foi baseado em informações da empresa TecVerde. O orçamento é condizente com a empreitada global para execução de 200 (duzentas) unidades habitacionais, com 44,30 m<sup>2</sup> construídos em blocos de duas unidades. O orçamento com a estimativa de custos foi realizado no ano de 2021-podendo ocorrer reajuste dos preços pelo CUB-SINAP – PR. Nas Tabelas 1 e 2 são mostradas as principais informações e parâmetros para o sistema construtivo *Woodframe*.

Tabela 1: Parâmetros do empreendimento

Tipologia	Térrea
Projeto	C443-GEM
Área construída	44,30 m <sup>2</sup>
Área Total da Unidade Habitacional	44,30 m <sup>2</sup>
Tipo Juntas	Aparentes
Tipo de empreendimento	Condomínio
Qtde unidades empreendimento	200
Qtde equipes montagem	1
Prazo de execução obra	5,5 meses
Ritmo de montagem (qtd un./dia)	3,1
Distância fábrica – Obra	50
Estado	PR
Cidade	Curitiba
Impostos ISS	5%

Fonte: TecVerde (2021), adaptado.

Tabela 2: Informações do projeto

Pé direito Livre	2,50 m
Tipo de forro	Gesso
Tipo do telhado	4 águas
Geminação das paredes	Simplex
Altura do revestimento cerâmico	2,53 m

Fonte: TecVerde (2021), adaptado.

De acordo com as informações da empresa TecVerde, a Tabela 3 mostra um estudo comparativo entre as três tecnologias: alvenaria convencional, concreto armado e *Wood frame*, sendo demonstrado os custos diretos, indiretos, adicionais, ganhos financeiros e valor percebido ao final de toda a obra com os três sistemas construtivos.

Tabela 3: Comparativo de custos entre sistemas construtivos

1. CUSTOS DIRETOS									
		Convencional		Concreto armado		Wood frame			
1.1 Custos diretos	Fundação	R\$ 8.551	R\$ 193/m <sup>2</sup>	R\$ 9.264	R\$ 209/m <sup>2</sup>	R\$ 7.126	R\$ 0	R\$ 161/m <sup>2</sup>	R\$ 0/m <sup>2</sup>
	Acabamento	R\$ 43.673	R\$ 986/m <sup>2</sup>	R\$ 42.282	R\$ 954/m <sup>2</sup>	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0/m <sup>2</sup>	R\$ 0/m <sup>2</sup>
	KIT Tecverde		R\$ 0/m <sup>2</sup>	0	R\$ 0/m <sup>2</sup>	R\$ 70.027	R\$ 0	R\$ 1.581/m <sup>2</sup>	R\$ 0/m <sup>2</sup>
<b>Total custos diretos</b>		R\$ 1.179/m <sup>2</sup>		R\$ 1.164/m <sup>2</sup>		R\$ 1.742/m <sup>2</sup>	R\$ /m <sup>2</sup>	R\$ /m <sup>2</sup>	R\$ /m <sup>2</sup>
		R\$ 52.224/uh		R\$ 51.546/uh		R\$ 77.153/uh	R\$ 0/uh	R\$ 0/uh	R\$ 0/uh
		R\$ 10.444.788		R\$ 10.309.142		R\$ 15.430.607	R\$ 0	R\$ 0	R\$ 0
2. CUSTOS INDIRETOS									
		Convencional		Concreto armado		Wood frame			
2.1.Premissas básicas						Tecverde		Cliente	
IP Médio (qtd pessoas/uh/mês)		8,00		5,00		3,60			
Qtd média pessoas em obra		76		87		108		21	
Ritmo de obra (unid/dia)		0,5 unid/dia		1,0 unid/dia		3,1 unid/dia			
Prazo sem infraestrutura. (meses)		21,0 meses		11,5 meses		5,5 meses			
2.2 Custos indiretos		Qtd	Custo	Qtd	Custo	Qtd	Custo	Qtd	Custo
Custos de projetos	R\$ 30.000/proj	1,0	R\$ 30.000	1,0	R\$ 30.000	0,0	R\$ 0	0,0	R\$ 0
Segurança do canteiro	R\$ 9.000/mês	1,0	R\$ 9.000	1,0	R\$ 103.714	0,0	R\$ 0	0,0	R\$ 0
Coordenador	R\$ 15.500/mês	0,8	R\$ 271.865	1,0	R\$ 178.619	1,0	R\$ 85.250	0,0	R\$ 0
Analista Engenharia	R\$ 6.734/mês	0,8	R\$ 118.116	1,0	R\$ 77.604	0,5	R\$ 18.519	0,0	R\$ 0
Auxiliar administrativo	R\$ 3.677/mês	2,5	R\$ 193.490	3,0	R\$ 127.125	1,0	R\$ 20.225	0,0	R\$ 0
Inspetor Qualidade	R\$ 4.450/mês	0,8	R\$ 78.043	1,0	R\$ 51.275	1,0	R\$ 24.472	0,0	R\$ 0
Técnico de segurança	R\$ 4.381/mês	1,7	R\$ 153.681	2,0	R\$ 100.971	0,5	R\$ 12.048	0,0	R\$ 0
Estagiário	R\$ 1.338/mês	0,8	R\$ 23.475	1,0	R\$ 15.424	5,0	R\$ 36.806	0,0	R\$ 0
Almoxarife	R\$ 5.165/mês	1,7	R\$ 181.198	3,0	R\$ 178.575	1,0	R\$ 25.999	0,0	R\$ 0
Auxiliar Almox.	R\$ 3.245/mês	0,8	R\$ 56.919	0,8	R\$ 31.164	1,0	R\$ 16.334	0,0	R\$ 0
Encarregado Acabamentos	R\$ 6.734/mês	0,8	R\$ 118.116	0,8	R\$ 64.670	1,0	R\$ 33.896	0,0	R\$ 0
Encarregado Equipe Própria	R\$ 6.734/mês	0,8	R\$ 118.116	0,8	R\$ 64.670	4,6	R\$ 96.880	0,0	R\$ 0
Oficial	R\$ 4.734/mês	0,8	R\$ 83.028	0,8	R\$ 45.458	1,0	R\$ 23.826	0,0	R\$ 0
Auxiliar	R\$ 3.245/mês	3,3	R\$ 227.675	3,3	R\$ 124.655	2,0	R\$ 32.668	0,0	R\$ 0
Consumíveis (EPIs, Uniformes, ferramentas)	R\$ 432/mês	76,0	R\$ 691.159	86,8	R\$ 431.974	107,6	R\$ 255.621	0,0	R\$ 0
Gestão de resíduos	R\$ 9.232/mês	21,0	R\$ 194.302	11,5	R\$ 106.383	5,5	R\$ 50.774	0,0	R\$ 0

Despesas administrativas indiretas	R\$ 24.302/mês	1,0	R\$ 511.506	1,0	R\$ 280.056	5,5	R\$ 133.663	0,0	R\$ 0	
Alimentação	R\$ 330/mês	0,0	R\$ 0	0,0	R\$ 0	128,8	R\$ 233.835	0,0	R\$ 0	
Equipamentos (retro/manip/bobcat)	R\$ 5.871/mês	1,0	R\$ 123.580	1,0	R\$ 67.661	5,5	R\$ 32.293	0,0	R\$ 0	
Controle tecnológico	R\$ 3.500/mês	0,8	R\$ 61.389	1,0	R\$ 40.333	5,5	R\$ 19.250	0,0	R\$ 0	
Formas	R\$ 1.286/mês	0,0	R\$ 0	200,0	R\$ 257.143	0,0	R\$ 0	0,0	R\$ 0	
Infra de Canteiro	R\$ 150.000/mês	0,8	R\$ 112.898	0,9	R\$ 128.877	0,1	R\$ 20.960	0,0	R\$ 0	
<b>Total custos indiretos</b>			R\$ 379/m <sup>2</sup>		R\$ 279/m <sup>2</sup>		R\$ 132/m <sup>2</sup>		R\$ /m <sup>2</sup>	
			R\$ 16.788/uh		R\$ 12.382/uh		R\$ 5.867/uh		R\$ 0/uh	
			R\$ 3.357.556		R\$ 2.476.350		R\$ 1.173.319		R\$ 0	
<b>3. CUSTOS DIRETOS + INDIRETOS</b>										
Custos diretos + indiretos	<b>Convencional</b>		<b>Concreto armado</b>		<b>Wood frame</b>					
	R\$ 1.558/m <sup>2</sup>		R\$ 1.443/m <sup>2</sup>		R\$ 1.874/m <sup>2</sup>					
	R\$ 69.012/uh		R\$ 63.927/uh		R\$ 75.894/uh		R\$ 7.126/uh			
	R\$ 13.802.344		R\$ 12.785.491		R\$ 83.020/uh					
<b>4. CUSTOS ADICIONAIS</b>										
Custo pós-obra	2,0%	2,0%	R\$ 31/m <sup>2</sup>	2%	R\$ 29/m <sup>2</sup>	0,0%		R\$ 0/m <sup>2</sup>		
Inflação	4%	3,5%	R\$ 96/m <sup>2</sup>	1,9%	R\$ 50/m <sup>2</sup>	0,9%		R\$ 33/m <sup>2</sup>		
BDI	10,0%	10,0%	R\$ 168/m <sup>2</sup>	10%	R\$ 152/m <sup>2</sup>	0,0%		R\$ 0/m <sup>2</sup>		
<b>Total custos diretos + indiretos + adicionais</b>			R\$ 1.853/m <sup>2</sup>			R\$ 1.907/m <sup>2</sup>				
			R\$ 82.109/uh			R\$ 74.166/uh				
			R\$ 16.421.862			R\$ 14.833.241				
<b>5. GANHOS FINANCEIROS</b>										
Ganhos financeiros em relação a Parede de Concreto			-R\$ 102/m <sup>2</sup>			R\$ /m <sup>2</sup>		R\$ 65/m <sup>2</sup>		
			-R\$ 4.522/uh			R\$ 0/uh		R\$ 2.860/uh		
			-R\$ 904.311			R\$ 0		R\$ 571.975		
<b>6. VALOR PERCEBIDO</b>										
Custo total final			R\$ 1.956/m <sup>2</sup>			R\$ 1.843/m <sup>2</sup>				
			R\$ 86.631/uh			R\$ 74.166/uh				
			R\$ 17.326.172			R\$ 14.833.241				
Relação ao concreto armado							10%			

Fonte: TecVerde (2021), adaptado.

A Tabela 3 evidencia que em relação aos custos diretos: os custos com mão-de-obra direta, insumos e equipamentos, o *Wood frame* demonstra mais oneroso em relação aos sistemas construtivos de alvenaria convencional e concreto armado. Todavia, não se pode levar em consideração apenas estes custos do empreendimento.

Analisando somente os custos indiretos, o *Wood frame* demonstra vantagem econômica. O sistema construtivo estima um custo de R\$132,00/m<sup>2</sup>, valor este abaixo dos demais sistemas construtivos, os quais apresentaram valores de R\$379,00 m<sup>2</sup> para alvenaria convencional e R\$279,00 m<sup>2</sup> para o concreto armado, respectivamente.

Considerando os custos diretos, indiretos, custos adicionais e ganhos financeiros, o sistema *Wood frame* mostra um valor intermediário entre os sistemas construtivos, com um custo final por m<sup>2</sup> de R\$1843,00. Este valor corresponde a um acréscimo em 10% no valor do m<sup>2</sup> em relação ao concreto armado, e uma economia de 6,13% em relação a alvenaria convencional.

Apesar do custo do m<sup>2</sup> do sistema construtivo *Wood frame* não ser o mais baixo, destaca-se que há celeridade no processo de construção, sendo construídas 3,1 unidades habitacionais por dia com o referido sistema, valor este elevado em relação ao sistema construtivo convencional, que construirá 0,5 unidade habitacional por dia, e o concreto armado 1 unidade habitacional por dia.

Em relação ao prazo para conclusão da obra, verifica-se que o sistema *Wood frame* pode concluir o empreendimento em um período de tempo compreendido entre 5 e 6 meses. Já o sistema construtivo de alvenaria convencional e o sistema de concreto armado demandam um período maior para sua conclusão, sendo de aproximadamente 21 e 11 meses, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÃO

O sistema construtivo *Wood frame* tem como principal matéria prima a madeira de *Pinus* tratada, advinda de reflorestamento. Antes da sua aplicação como painéis industrializados devem ser tratadas quimicamente para que não cause danos nas estruturas e diminua a vida útil de edificações. Dentre as potencialidades do sistema *Wood frame*, destaca-se maior agilidade na execução, menor consumo de materiais, diminuição de resíduos no canteiro de obras corroborando para a sustentabilidade das edificações. A análise da sua viabilidade econômica quando comparada com outras técnicas de construção, percebe-se vantagens em relação ao tempo para entrega da obra, elevando a qualidade de seu valor agregado. Com esta pesquisa, espera ter contribuído com o estudo

do sistema construtivo *Wood Frame*, ao analisar as suas potencialidades e sua viabilidade econômica para a construção de edificações em comparação com outros sistemas construtivos.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao Sr. Leonardo Puppi Bernardi, da empresa TW Brazil UPM, por conceder a visita e disponibilizar informações relevantes para desenvolvimento da pesquisa.

A empresa TecVerde, por conceder a visita técnica, e ao Sr Edvaldo Corrêa por fornecer informações relevantes para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao ICETI – Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação e a UniCesumar – Universidade Cesumar, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Letícia Pereira. Comparativo do custo benefício entre o sistema construtivo em alvenaria e os sistemas Steel Frame e *Wood frame*. **Revista Especialize On-line IPOG**, Goiânia, Vol. 01, 10 ed., 09 de mar. de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de Estruturas de madeira. Rio de Janeiro. ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO PARANAENSE DE EMPRESAS DE BASE FLORESTAL. **Madeira do Paraná cada vez melhor.**, 2021. Disponível em: < <https://apreflorestas.com.br/noticias/madeira-do-parana-cada-vez-melhor/>> Acesso em: 23 mar. 2021.

BOLSONI, F. **Introdução ao sistema *Wood frame***. 1ª ed. Florianópolis, Editora Escrita Criativa, 2020

BORTOLETTO JÚNIOR. Geraldo. **Estudo de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii***. Sci. For., Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 237-243, set. 2008.

CALÇADA. Paulo de Azevedo Branco. **Estudo dos processos produtivos na construção civil objetivando ganhos de produtividade e qualidade**. 2014. 90f. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CARDOSO, L. A. **Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social**. 2015, 79 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa

ESPÍNDOLA, L. R. **O *Wood frame* na produção de habitação social no Brasil**. 2017, 331f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FRANÇA, Frederico José Nistal. **Modelagem da transferência de calor em madeira de *pinus pinus sp.*** 2011. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Federal Do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 36 p, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto (PIB)**. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=resultados> > Acesso em: 22 mar. 2021.

KOKUBUN, Y. E. **O processo de produção de um sistema construtivo em painéis estruturais pré-fabricados em madeira**. 2014. 171f. Dissertação Mestrado (Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.  
Maria, Santa Maria, 79 p, 2015.

MOLINA, J. C.; CALIL, C. J. Sistema construtivo em *Wood frame* para casas de madeira. In: **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n.2, p. 143- 156, jul./dez.2010

NAJBERG, Sheila; PEREIRA, Roberto de Oliveira. Novas estimativas do modelo de geração de empregos do BNDES. **Sinopse Econômica**, Rio de Janeiro, n. 133 , p. 25-32, mar. 2004.

OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais - Geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. 21 ed. Brasília, Embrapa Florestas, 2017.

PEREIRA, Caio. Alvenaria de Vedação – Vantagens e Desvantagens. **Escola Engenharia**, 2021. Disponível em: < <https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria-de-vedacao/> >. Acesso em: 2 abr. 2021.

PEREIRA, N. N. VIEIRA, R. B. “*Wood frame*”: **Tecnologia de Construção Sustentável**. Revista Perquirere, 12(1): 194–213, jul. 2015.

UN GLOBAL COMPACT, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). **Pacto Global Rede Brasil**, 2021. Disponível em < [https://www.pactoglobal.org.br/ods\\_>](https://www.pactoglobal.org.br/ods_>) Acesso em: 22 mar. 2021.

Plug and Play TECVERDE. **TECVERDE**, 2021. Disponível em: < <https://www.tecverde.com.br/maiseficiencia/index.php#secondPage/slide3> > Acesso em: 22 mar. 2021.

QUEIROZ, Isabella Marques de; OLIVEIRA, Thamires Silva de. **Estudo comparativo orçamentário entre superadobe e alvenaria convencional**. 2019. 105f. TCC (Curso de Engenharia Civil) - UniEvangélica, Anápolis, 2019.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019**. Disponível em < [http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019\\_>](http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019_>) Acesso em: 22 mar. 2021.

ZENID, Geraldo José. Madeira: **Uso sustentável na construção civil**. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009.

SIAU, J.F. **Transport processes in wood**. New York: Springer-Varlag, 1984. 245p.