

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LEONARDO ROMANO MAFRA DA SILVA**

**ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM LIGHT WOOD FRAME VOLTADO A  
CONSTRUÇÕES EMERGENCIAIS: ESTUDO DE CASO: AMPLIAÇÃO DO  
HOSPITAL M'BOI MIRIM**

**CAMPO MOURÃO**

**2022**

**LEONARDO ROMANO MAFRA DA SILVA**

**ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM LIGHT WOOD FRAME VOLTADO A  
CONSTRUÇÕES EMERGENCIAIS: ESTUDO DE CASO: AMPLIAÇÃO DO  
HOSPITAL M'BOI MIRIM**

**Analysis of Light Wood Frame focused on emergency buildings: Case study:  
extension of M'Boi Mirim hospital**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Jorge Luís Nunes de Góes

**CAMPO MOURÃO**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LEONARDO ROMANO MAFRA DA SILVA**

**ANÁLISE DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM LIGHT WOOD FRAME VOLTADO A  
CONSTRUÇÕES EMERGENCIAIS: ESTUDO DE CASO: AMPLIAÇÃO DO  
HOSPITAL M'BOI MIRIM**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30/maio/2022

---

Jorge Luís Nunes de Góes  
Doutor em Engenharia de Estruturas  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Fabiana Góia Rosa de Oliveira  
Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Sérgio Roberto Oberhauser Quintanilha Braga  
Mestre em Engenharia de Segurança aos Incêndios Urbanos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CAMPO MOURÃO  
2022**

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional e especialmente ao meu pai, responsável por subsidiar meus sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Luís Nunes de Góes, pela orientação dada não somente durante esse trabalho, mas também enquanto fiz parte do Grupo PET-Civil UTFPR, período que foi muito importante para minha graduação e para minha vida.

Gostaria de agradecer também a todos os meus colegas que me acompanharam durante o período de graduação e à minha família que sempre me apoiou, mesmo à distância.

Por fim, gostaria de prestar meus agradecimentos à UTFPR e em especial à Tecverde Engenharia S/A pela concessão de seus conhecimentos e registros fotográficos necessários para a conclusão do trabalho.

## RESUMO

O déficit habitacional é um dos principais desafios enfrentados pela sociedade brasileira e esse problema gera consequências principalmente à população de baixa renda do país. Dois dos reflexos da situação precária de moradia brasileira são edificações que não atendem aos requisitos mínimos de habitabilidade e a vulnerabilidade da sociedade frente a crises e desastres naturais. De modo a combater esses obstáculos, o setor da construção civil tem buscado novas alternativas para suprir as necessidades da população e uma delas é trazer os benefícios da industrialização para as edificações. Com o auxílio de processos sistêmicos do ambiente fabril, o sistema construtivo em Light Wood Frame atrelado à construção modular possui grande potencial de gerar velocidade, redução de desperdícios e qualidade às obras. De modo a exemplificar esse potencial, foi elaborado um estudo de caso a respeito da ampliação do Hospital M'Boi Mirim, edificação realizada com o auxílio da construção off-site, a qual foi construída em apenas 33 dias para dar apoio ao combate à pandemia do Covid-19.

**Palavras-chave:** construção modular; Light Wood Frame; construção industrializada; deficit habitacional.

## ABSTRACT

The housing deficit is one of the main challenges faced by Brazilian society and this problem has consequences, especially for the low-income population of the country. Two of the effects of the precarious situation of Brazilian housing are buildings that do not meet the minimum requirements for habitability and the vulnerability of society in the face of crises and natural disasters. In order to combat these obstacles, the civil construction sector has sought new alternatives to supply the needs of the population and one of them is to bring the benefits of industrialization to buildings. With the support of industry's systemic processes, the Light Wood Frame construction linked to modular construction has great potential to guarantee speed, waste reduction and quality to the constructions. In order to exemplify this potential, a case study was made about the M'boi Mirim Hospital, a building constructed with the help of off-site construction, which was built in just 33 days to support the fight against the Covid-19.

**Keywords:** off-site construction; Light Wood Frame; modular construction; housing deficit.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Participação das faixas de renda no déficit habitacional por regiões</b>	<b>17</b>
<b>Figura 2 - Diagrama da Sustentabilidade</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3 - As três dimensões da sustentabilidade</b>	<b>21</b>
<b>Figura 4 - Os níveis da construção industrializada</b>	<b>24</b>
<b>Figura 5 - Comparativo entre uma edificação modular e uma edificação inteiramente on-site em relação ao tempo</b>	<b>25</b>
<b>Figura 6 - Produção das tramas estruturais e montagem da edificação</b>	<b>26</b>
<b>Figura 7 - Lçamento de parede pré-fabricada de madeira</b>	<b>27</b>
<b>Figura 8 - Quantidade de residências brasileiras conforme material de parede externa</b>	<b>28</b>
<b>Figura 9 - Ilustração da composição das paredes de Light Wood Frame</b>	<b>30</b>
<b>Figura 10 - Esquema de fixação da parede externa na fundação</b>	<b>30</b>
<b>Figura 11 - Esquema de fixação do entrepiso</b>	<b>31</b>
<b>Figura 12 - Especificações de projeto e respectivas soluções modulares</b>	<b>33</b>
<b>Figura 13 - Primeiro edifício off-site modular da América Latina</b>	<b>35</b>
<b>Figura 14 - Maior empreendimento em Light Wood Frame da América Latina</b>	<b>35</b>
<b>Figura 15 - Representação dos módulos que formam o leito hospitalar</b>	<b>39</b>
<b>Figura 16 - Disposição dos módulos no projeto arquitetônico do 2º pavimento</b>	<b>40</b>
<b>Figura 17 - Representação do cronograma por meio do diagrama de Gantt</b>	<b>41</b>
<b>Figura 18 - Linha de balanço da execução dos grupos de serviço dos módulos</b>	<b>42</b>
<b>Figura 19 - Layout proposto do ambiente de execução dos módulos</b>	<b>43</b>
<b>Figura 20 - Disposição do ambiente fabril durante a fabricação dos módulos</b>	<b>44</b>
<b>Figura 21 - Preparação dos módulos para transporte</b>	<b>44</b>
<b>Figura 22 - Linha de produção automatizada de paredes (Linha Weinmann)</b>	<b>46</b>
<b>Figura 23 - Preparação das tubulações embutidas nas paredes</b>	<b>47</b>
<b>Figura 24 - Módulo acabado com vedação em Light Wood Frame</b>	<b>47</b>
<b>Figura 25 - Estrutura do piso do módulo com painel de fibrocimento</b>	<b>48</b>
<b>Figura 26 - Estrutura do forro dos módulos com painel de fibrocimento</b>	<b>49</b>
<b>Figura 27 - Detalhamento da ligação do painel na estrutura metálica</b>	<b>50</b>
<b>Figura 28 - Montagem e fixação de paredes no chassi metálico</b>	<b>50</b>
<b>Figura 29 - lçamento da estrutura do forro</b>	<b>51</b>
<b>Figura 30 - Grupos de serviços após a montagem dos módulos</b>	<b>52</b>
<b>Figura 31 - Execução da instalação elétrica no módulo</b>	<b>53</b>
<b>Figura 32 - Janela de acesso para ligação de tubulações no canteiro de obra</b>	<b>54</b>
<b>Figura 33 - Execução de tratamento de juntas do forro</b>	<b>55</b>
<b>Figura 34 - Execução do revestimento cerâmico do banheiro</b>	<b>56</b>

<b>Figura 35 – Execução do emassamento das paredes internas .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 36 - Instalação das esquadrias de madeira .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 37 - Mobilização do módulo e kits para expedição.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 38 – Transporte dos módulos até o canteiro de obra .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 39 - Içamento dos módulos acabados em canteiro de obra .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 40 - Fixação do módulo na fundação.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 41 - Instalação dos condensadores no canteiro de obra .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 42 - Instalação e arremate de fachada externa .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 43 - Acabamento interno do hospital finalizado .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 44 – Fachada do hospital M’Boi Mirim finalizada .....</b>	<b>62</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>A questão habitacional brasileira .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Desenvolvimento sustentável .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3</b>	<b>Construção sustentável.....</b>	<b>18</b>
<b>4.4</b>	<b>Construção convencional x industrializada.....</b>	<b>21</b>
<b>4.5</b>	<b>Construção industrializada (<i>off-site</i>) .....</b>	<b>22</b>
<b>4.6</b>	<b>O sistema construtivo Light Wood Frame .....</b>	<b>24</b>
<b>4.7</b>	<b>Light Wood Frame no Brasil.....</b>	<b>26</b>
<b>4.8</b>	<b>Peculiaridades do sistema Light Wood Frame .....</b>	<b>28</b>
<b>4.9</b>	<b>Perspectivas do LWF no Brasil.....</b>	<b>31</b>
<b>4.10</b>	<b>Perspectivas da construção modular no Brasil.....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO: AMPLIAÇÃO DO HOSPITAL M'BOI MIRIM .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Contextualização .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2</b>	<b>Informações iniciais .....</b>	<b>37</b>
<b>5.3</b>	<b>Gestão e Logística.....</b>	<b>39</b>
<b>5.4</b>	<b>Produção dos módulos.....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Produção dos painéis em Light Wood Frame.....</b>	<b>44</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Montagem dos módulos .....</b>	<b>47</b>
<b>5.5</b>	<b>Etapas após a montagem dos módulos .....</b>	<b>51</b>
<b>5.5.1</b>	<b>Instalações gerais (INS) .....</b>	<b>51</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Chapeamento de gesso (GES).....</b>	<b>53</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Tratamento de juntas (TJU).....</b>	<b>53</b>
<b>5.5.4</b>	<b>Revestimento Cerâmico (CER) .....</b>	<b>54</b>
<b>5.5.5</b>	<b>Execução de Pintura (PIN).....</b>	<b>55</b>
<b>5.5.6</b>	<b>Acabamentos e instalação de Portas (POR).....</b>	<b>56</b>
<b>5.6</b>	<b>Acoplagem e finalização dos módulos no canteiro de obra.....</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>62</b>

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
-------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

O déficit habitacional brasileiro é um dos problemas que acomete a grande maioria da população de baixa renda no país e essa parcela da sociedade é a mais afetada quando há incidências de catástrofes naturais e crises na saúde pública (LIBRELOTTO et al., 2016). Diante desse cenário, as autoridades governamentais têm buscado iniciativas para melhorar a condição de habitabilidade de famílias mais vulneráveis, como o Programa Minha Casa Minha Vida (CARDOSO, 2015). No entanto, ainda há inúmeros desafios a serem superados, como garantir desempenho adequado às edificações.

Além disso, como já é constantemente noticiado em inúmeros veículos de informações, o mundo enfrenta um problema socioambiental e, por conta disso, as organizações mundiais têm se desdobrado em busca do desenvolvimento sustentável. No Brasil, o setor da construção civil é um dos ramos que mais geram impactos negativos ao meio ambiente e possui um dos maiores índices de desperdício da nação, o que torna a mudança para o pensamento sustentável cada vez mais relevante (FLORIM, QUELHAS 2005).

Vale ressaltar que, devido à alta de preços dos materiais usados na alvenaria convencional, o setor também abre espaço a novas maneiras de construir, dentre elas, pode-se citar a construção em painéis pré-fabricados de madeira. Uma alternativa para um país detentor de grandes florestas, o sistema construtivo em Light Wood Frame tem sido a solução para construir, de maneira industrializada, obras de desempenho satisfatório e suficientemente velozes, de modo a garantir redução de custos totais de grandes empreendimentos (FONSECA, 2011).

Amplamente utilizado em países do Hemisfério Norte, entretanto pouquíssimo utilizado no Brasil, a madeira incorporada a estrutura de uma edificação tem se mostrado como um material versátil para a construção civil brasileira. Atualmente é possível encontrar em território nacional edificações feitas em ambiente fabril, cuja principal matéria prima é a madeira engenheirada (MOLINA, CALIL JUNIOR, 2010). O hospital M'Boi Mirim é um exemplo de como a tecnologia modular pode contribuir com a necessidade de edificações emergenciais. A extensão do hospital localizada no município de São Paulo foi inteiramente construído em 33 dias, trazendo em tempo recorde 100 novos leitos destinados ao tratamento de vítimas do COVID-19 (TECVERDE, 2020). Diante disso, pode-se notar que a busca por novas soluções no

ramo da construção civil tem sido importante para fazer frente aos principais problemas habitacionais brasileiros. Por conta disso, faz-se necessário um sistema construtivo rápido e eficiente que possa servir de apoio à população mais vulnerável (LIBRELOTTO et al., 2016).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Demonstrar por meio de um estudo de caso o potencial do sistema construtivo em Light Wood Frame como alternativa para reduzir o deficit habitacional brasileiro, bem como avaliá-lo frente a necessidade de construções rápidas de caráter emergencial, sendo elas provisórias ou não.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Destacar a necessidade de edificações construídas em tempo recorde voltadas a situações emergenciais;
- Analisar as principais vantagens e obstáculos do sistema construtivo industrializado, enfatizando a redução de prazos e desperdícios;
- Detalhar as principais características do sistema construtivo em Light Wood Frame;
- Desenvolver um estudo de caso sobre a ampliação do hospital M'Boi Mirim, entregue em 33 dias por meio de um sistema construtivo industrializado modular.

### 3 JUSTIFICATIVA

A questão da desigualdade habitacional brasileira é um dos principais problemas que acomete a população de baixa renda no país, entretanto, a própria Constituição brasileira mostra que é direito de todo cidadão ter uma moradia digna. Diante disso, a construção civil tem buscado constantemente soluções para trazer qualidade às obras de habitação popular com baixíssimos custos. Diante desse objetivo, a industrialização da construção é uma alternativa que tem gerado benefícios na redução do prazo de execução das obras e minimização de desperdícios dentro do canteiro. Dentro dessa vertente, pode-se destacar a importância de novos estudos sobre diferentes métodos construtivos, como o Light Wood Frame.

Popular no Hemisfério Norte, porém pouquíssimo utilizado no Brasil, a construção pautada na madeira como sua principal matéria prima tem se mostrado como uma alternativa interessante para construir de maneira sustentável em um país detentor de grandes florestas. Entretanto, o sistema construtivo ainda está em desenvolvimento no país e ainda há certo “preconceito” com diferentes maneiras de construir. Além da questão cultural, alguns dos obstáculos para a consolidação desse sistema construtivo no Brasil é a disponibilidade de mão de obra treinada.

Diante dos principais acontecimentos relacionados à saúde e às mudanças climáticas no mundo, destaca-se a importância de métodos construtivos cada vez mais velozes, de modo a atender as necessidades emergenciais da população. Por conta desse motivo, faz-se necessário um sistema construtivo que pode auxiliar a sociedade frente a desastres naturais e outras fatalidades de maneira rápida e eficiente.

Devido ao sistema ser um método relativamente novo no país, sua viabilidade tem sido avaliada entre algumas construtoras. Por conta disso, justifica-se a análise do sistema construtivo em questão com o intuito de trazer maior eficiência para o setor da construção civil e, ampliar a representatividade da industrialização da construção civil brasileira e, conseqüentemente, trazer à população edificações de qualidade que possam amparar a sociedade em situações vulneráveis.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 A questão habitacional brasileira

A questão habitacional brasileira caracteriza-se como um dos mais graves problemas sociais dos dias atuais e sua presença é extremamente visível nos grandes centros urbanos, bem como nas regiões mais pobres do país (GONÇALVES, 1998)

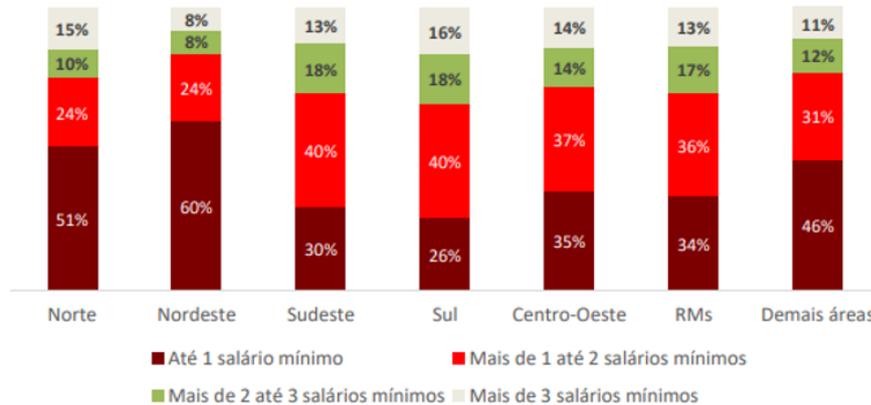
De acordo com a Constituição Brasileira (1988), moradia é definida como o local em que o ser humano possa habitar e quaisquer moradias devem apresentar condições mínimas de habitabilidade, de forma a assegurar condições de segurança, salubridade e estética adequadas a sua utilização e função.

A ineficiência do poder público e a grande desigualdade social do país em atender uma grande parcela da população em condições vulneráveis dá espaço à apropriação de terrenos em áreas irregulares que, na maior parte das vezes são consideradas de risco, como aterros, encostas, próximo ao leito dos rios e afastados dos centros urbanos (LIBRELOTTO et al., 2016). Tal cenário é agravado quando há incidências de catástrofes naturais que afetam diretamente a parcela da população mais vulnerável. Sob essa situação, muitas pessoas perdem suas moradias e passam a necessitar de abrigos temporários de caráter emergencial capazes de conferir condições mínimas de habitabilidade e convívio social.

De acordo com o IPEA (2013), o déficit habitacional foi o parâmetro adotado com o intuito de auxiliar o governo nacional no controle da política habitacional. De acordo com a Fundação João Pinheiro (2019), estima-se que o Brasil se encontra com aproximadamente 6 milhões de moradias em condições precárias de habitação. Esse estudo tem como base famílias em coabitação forçada, moradores de baixa renda com ônus excessivo de aluguel, grande densidade de domicílios alugados e habitações em condições de precariedade ou desgaste.

A figura 1 ilustra que a maior concentração de moradias em condições inaceitáveis de habitabilidade encontra-se nas famílias com faixa de renda de até 3 salários mínimos. Partindo do pressuposto que toda a população brasileira tem o direito de uma moradia de qualidade, justifica-se a necessidade de elaborar políticas nacionais a fim de reduzir o déficit habitacional e, além disso, a constante reinvenção de soluções de engenharia com o intuito de trazer à população de baixa renda uma moradia digna.

**Figura 1 – Participação das faixas de renda no déficit habitacional por regiões no ano de 2019**



**Fonte: Fundação João Pinheiro (2020)**

De acordo com Cardoso (2015), Habitação de interesse social é denominada como o tipo de edificação destinada a servir de moradia para pessoas de baixa renda. Atualmente a mesma tem como característica a utilização de um extenso espaço urbano com projetos arquitetônicos padronizados, a fim de produzir unidades habitacionais semelhantes.

O Programa Minha Casa Minha Vida - PMCMV - foi instituído em 2009 a partir da lei 11.977. O artigo 2º indica que o Programa tem como finalidade trazer mecanismos para incentivar a produção e a aquisição de novas unidades habitacionais pelas famílias com renda mensal de até 10 (dez) salários mínimos, que residam em qualquer município brasileiro (CARDOSO, 2015). A partir da instauração desse programa, o número de moradias aumentou consideravelmente, porém o déficit habitacional permanece com números altíssimos. Além disso, o PMCMV durante seu período de projeto encontrou dificuldades com produtividade e cumprimento dos prazos de entrega das construções. Hoje, mesmo após ter sido substituído pelo programa Casa Verde e Amarela, o Minha Casa Minha Vida ainda possui mais de 100 mil unidades habitacionais paralisadas (FDR, 2020).

Diante desse cenário de incertezas atrelado às grandes taxas de desperdício, o mercado da construção civil brasileiro necessita se reinventar em busca de novas tecnologias que sejam capazes de trazer qualidade às obras sob prazos cada vez mais curtos e com muito menos desperdício.

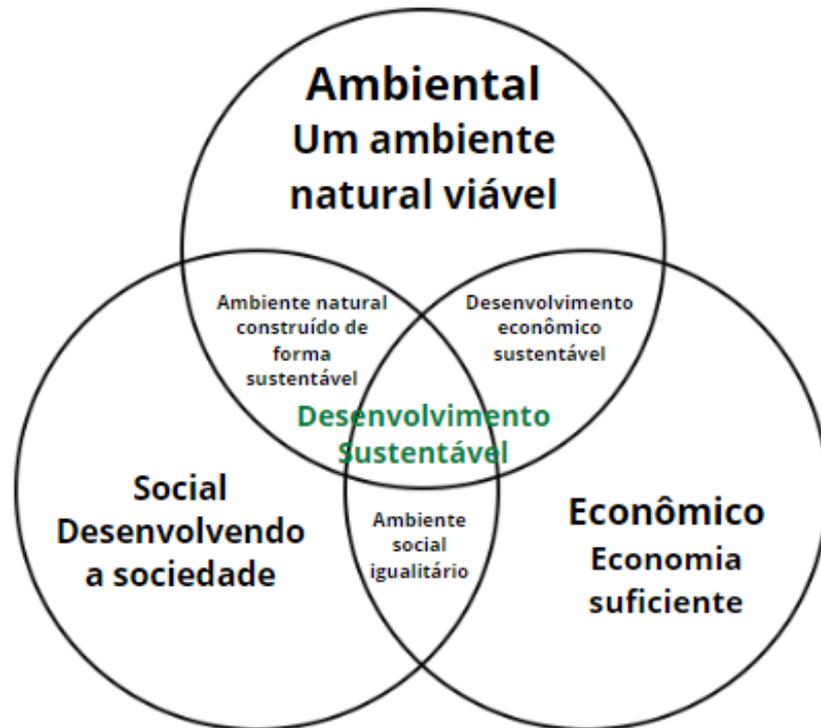
## 4.2 Desenvolvimento sustentável

De acordo com Librelotto *et al.* (2012), o conceito de sustentabilidade deriva do equilíbrio relatado em muitas citações desde os primórdios da civilização humana. O segredo para compreender tal conceito encontra-se no equilíbrio representado na ciência, esporte, religião e em diversas situações do nosso dia a dia, basta ter um objeto de análise. Um exemplo da teoria do equilíbrio está na natureza: com base no mesmo autor, o simples fato de um ser vivo existir já provoca impactos negativos e positivos. Ao se alimentar, reproduzir-se, entre outras atividades triviais à existência de um ser, o indivíduo gera mudanças em seu habitat. Analisando e mensurando o impacto de suas ações, sua forma de vida torna-se sustentável.

Sob a ótica do equilíbrio, o desenvolvimento sustentável é alcançado quando a geração atual é capaz de suprir as suas necessidades, garantindo a capacidade das gerações futuras de obterem os mesmos recursos das gerações anteriores (WWF, 2021). De acordo com o autor, nos últimos anos a Organização das Nações Unidas criou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento com o intuito de alinhar os objetivos de desenvolvimento econômico e a conservação ambiental. Hoje, tem-se adotado práticas para instigar a responsabilidade social corporativa, de modo a conscientizar as empresas de que as mesmas são parte integrante do mundo e não somente consumidoras.

A fim de garantir o desenvolvimento sustentável no âmbito empresarial é necessário o equilíbrio entre três vertentes: social, ambiental e econômica, como mostra a figura 2:

Figura 2 – Diagrama da Sustentabilidade



Fonte: Oliveira (2015)

De maneira geral, deve-se garantir o lucro e a satisfação dos interesses de todos os envolvidos no processo. Assim, é imprescindível que haja retorno financeiro, a comunidade local deve usufruir dos benefícios da atividade empresarial, os colaboradores devem ter seu retorno em qualidade de vida e equidade social e tudo isso não pode afetar negativamente o meio ambiente (LIBRELOTTO et al. 2012).

O tripé ambiente-economia-sociedade deve ser considerado de uma maneira integrada, pois, do contrário, não teremos um desenvolvimento sustentável: o desafio é fazer a economia evoluir, atendendo às expectativas da sociedade e mantendo o ambiente sadio para esta e para as futuras gerações (AGOPYAN,2011).

### 4.3 Construção sustentável

A construção civil, de forma a reagir às necessidades sociais e econômicas, é responsável por criar e implantar obras de infraestrutura representando o crescimento das zonas urbanas, entretanto, a mesma é responsável por gerar impactos, em sua maior parte negativos, ao meio ambiente (FLORIM, QUELHAS 2005). De acordo com

Pinheiro (2003), a construção civil é uma atividade tendencialmente consumidora de recursos, porém o contexto da sustentabilidade só foi firmemente discutido em 1994 na Primeira Conferência Mundial sobre Construção Sustentável, na Flórida. Durante o evento, foram sugeridos os seguintes princípios para a sustentabilidade na construção civil, como aponta Pinheiro (2003).

- Maximizar o consumo de recursos;
- Maximizar a reutilização dos recursos;
- Utilizar recursos renováveis e recicláveis;
- Proteger o ambiente natural;
- Criar um ambiente saudável e não tóxico;
- Fomentar a qualidade ao criar o ambiente construído.

De acordo com Oliveira (2015), a indústria da construção civil é considerada um dos ramos que mais gera resíduos e altera o meio ambiente, desde a extração de matérias-primas ao final da vida útil da edificação. Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente, os resíduos oriundos da construção civil podem representar cerca de 50% a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos e apenas uma pequena fração dos mesmos são processados devidamente.

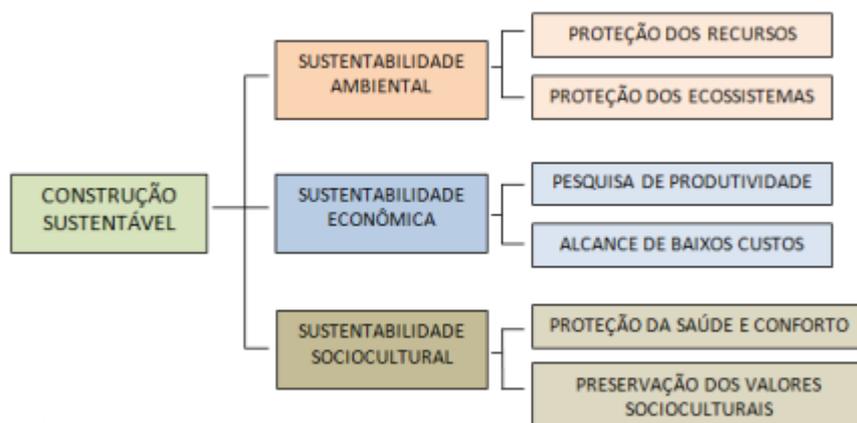
Com base nos estudos do mesmo autor, 41,8% do total dos gases estufa emitidos pela indústria brasileira são provenientes do processo de fabricação das matérias primas da construção civil tradicional de alvenaria como cimento, cal, calcário, dolomita e barrilha. Ao considerar todo o processo desde a produção ao consumo desses insumos, a energia utilizada para produção de ferro, aço e cimento alcança a marca de 29,4% do total de emissões do país.

Outro problema que acomete o sistema construtivo brasileiro é o desperdício. A partir de uma análise de alguns canteiros de obras de vários estados brasileiros, foi determinado um indicador de geração de resíduos da construção civil por m<sup>2</sup> de área construída, o qual totalizou 49,58 kg/m<sup>2</sup> (OLIVEIRA, 2015). Vale ressaltar que esse resíduo corresponde somente à construção da edificação, não contabilizando o desperdício gerado no processo produtivo da edificação. Considerado 1000 kg/m<sup>2</sup> a massa do edifício construído, percebeu-se que o valor mediano de perdas chegou a cerca de 5% da massa total da edificação.

A inserção da sustentabilidade no ramo da construção civil tem se tornado crescente e, por conta dos recursos cada vez mais escassos, atualmente até mesmo o mercado gera pressão pela incorporação de práticas sustentáveis. Por conta disso, nota-se a importância do processo de modernização da construção de modo a aderir soluções sustentáveis economicamente viáveis (FONSECA, 2011).

De acordo com Librelotto et al. (2016), pode-se definir uma construção sustentável por meio da figura 3, interpretada por Kohler (1999).

**Figura 3 – As três dimensões da sustentabilidade**



**Fonte: Kohler (1999) e adaptado de Librelotto et. al. (2016)**

Segundo a autora, Kohler (1999) pode resumir no esquema acima que a sustentabilidade ambiental enaltece o controle e minimização de impactos ambientais, redução de resíduos, reciclabilidade, minimização do consumo de recursos, preservação de ecossistemas, controle de efluentes e manutenção da qualidade do ar e da terra.

Já na sustentabilidade econômica, há a busca pela racionalidade, construtibilidade e economicidade. Além disso, preza-se pela produtividade, treinamento, flexibilidade e geração de renda.

Nas questões sociais, pode-se citar a preocupação com a moral, valores, segurança, a cultura e com o bem-estar da sociedade.

#### 4.4 Construção convencional x industrializada

Mesmo sob uma evolução extremamente veloz em vários ramos da economia, muitas construtoras e empresários da construção civil ainda utilizam métodos tradicionais já ultrapassados em países desenvolvidos para construir novos empreendimentos (VASCONCELOS, 2018). Devido ao acúmulo de experiência nos processos, alta disponibilidade de mão de obra barata e falta de conhecimento em novas metodologias e seus benefícios, a construção civil brasileira, ainda hoje, faz uso de processos rudimentares em sua produção (VASCONCELOS, 2018).

O sistema construtivo convencional tem como característica a construção de edificações as quais possuem como estrutura o concreto armado, juntamente com a utilização de blocos cerâmicos ou de concreto como vedação. O sistema é caracterizado pela baixa produtividade, qualidade condicionada à mão de obra e devido à necessidade de rasgos na alvenaria para passagem das instalações o mesmo gera grandes desperdícios (CARDOSO, 2015).

Devido ao setor da construção civil ainda ser dependente da demanda volátil de matérias-primas e processos de mão de obra com baixa qualificação, as edificações tendem a ter uma qualidade inferior, além disso, por conta de estar limitada às intempéries, o sistema em questão tem sua produtividade amplamente afetada (VASCONCELOS, 2018).

Na década de 80, o setor brasileiro da construção civil alcançou níveis tecnológicos mais avançados em seu processo de industrialização, concomitantemente o surgimento de novas pesquisas incitava a implantação de novos sistemas construtivos devido à falta de financiamentos e ineficiência dos antigos processos utilizados (VASCONCELOS, 2018). Após o início da década de 90, o surgimento de empreendedores estrangeiros impulsionou o uso de sistemas industrializados, principalmente com a utilização de sistemas pré-fabricados, entretanto, segundo o autor, a industrialização da construção civil brasileira não evoluiu como esperado.

De acordo com a Associação Brasileira de Desenvolvimento e Industrialização (2015), a industrialização da construção civil é o estágio mais elevado da racionalização dos processos construtivos. Esse cenário está totalmente atrelado à produção dos componentes em ambiente fabril e conseqüentemente montados nos canteiros de obras, assemelhando a um processo de linha de produção, sob o qual é

possível ter maior controle e adoção de novas tecnologias. Condicionada a uma situação favorável e com a contratação de mão de obra qualificada, a construção industrializada pode ser utilizada em larga escala e reduzir os desperdícios, gerando resultados satisfatórios.

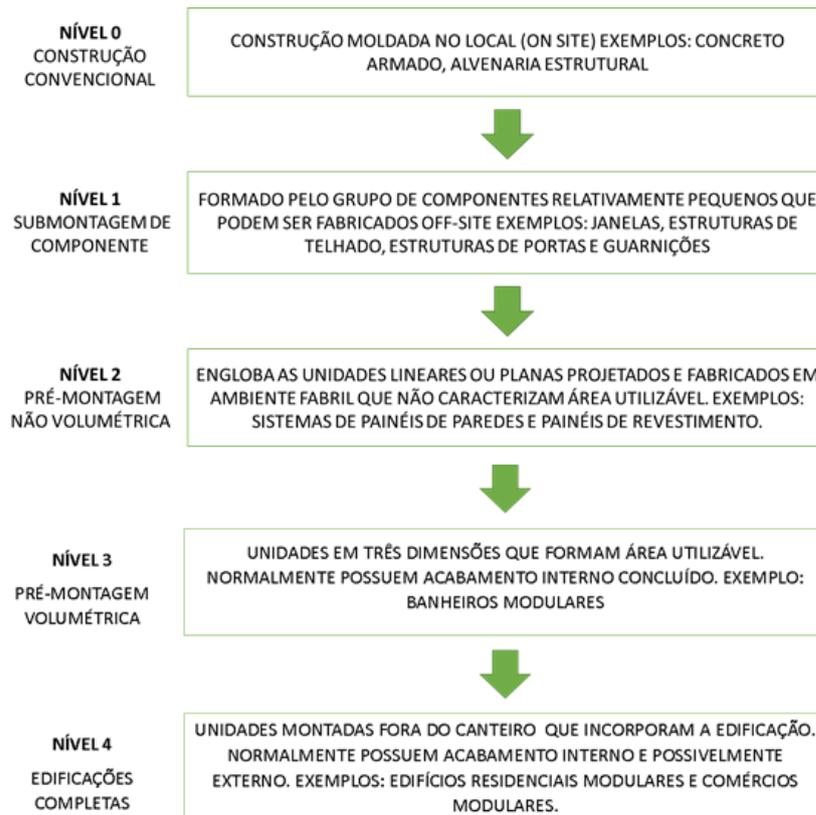
#### **4.5 Construção industrializada (*off-site*)**

Aos meados de Século XX no Reino Unido, a partir de um movimento denominado Re-thinking Construction, construtores foram incentivados a mudança de pensamento quanto aos métodos construtivos de modo a desenvolver novas formas de construir e, conseqüentemente, utilizar tecnologias voltadas à pré-fabricação. Durante esse período, surgiu uma tecnologia que garantia maior velocidade de construção, maior qualidade e confiabilidade dos processos, sendo conhecida como Construção Fora do Canteiro ou Off-site Manufactured (VASCONCELOS, 2018).

De acordo com Vasconcelos (2019), o conceito de construção realizada fora do canteiro está intimamente ligado aos processos de pré-fabricação, montagem e a fase de projeto. Segundo o autor, as unidades e módulos são produzidos em instalações fora do canteiro de obras e são transportadas até o destino para a sua posterior montagem in loco.

Com base nos estudos do mesmo autor, a construção off-site pode ser subdividida em 5 níveis, representados na figura 4.

**Figura 4 – Os níveis da construção industrializada**

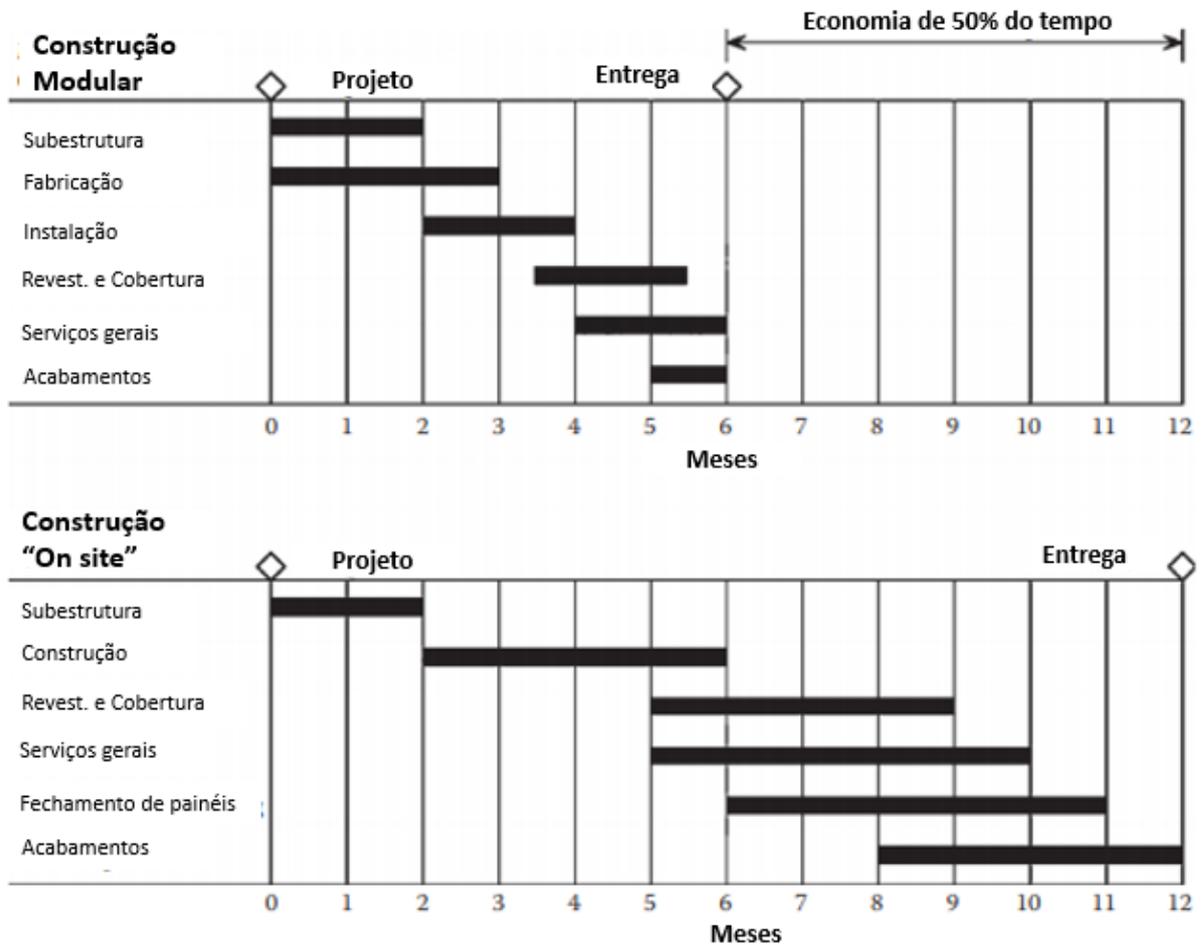


**Fonte: Adaptado de Gibb (2013)**

Em suma, a construção off-site apresenta benefícios que o sistema construtivo convencional não consegue oferecer e estes são: desempenho de eficiência energética, reduções dos prazos de execução, riscos à saúde e segurança presentes no canteiro e de impactos ambientais (VASCONCELOS, 2018).

Devido à menor dependência de etapas presentes no canteiro e de variações climáticas, construir em ambiente fabril garante ganhos significativos em produtividade e previsibilidade. Consequentemente, ao final da obra, percebe-se uma redução considerável na quantidade de retrabalhos e no tempo de execução da mesma, vantagem a qual gera redução de custos com mão de obra direta (VASCONCELOS, 2018), conforme pode ser observado na figura 5.

**Figura 5– Comparativo entre uma edificação modular e uma edificação inteiramente on-site em relação ao tempo.**



Fonte: Lawson et al. (2010)

#### 4.6 O sistema construtivo Light Wood Frame

A História do Wood Frame tem início no século XVI, nos Estados Unidos, onde imigrantes europeus viram potencial na produção madeireira uma boa oportunidade de construção de moradias que tivessem a madeira como sua principal matéria prima. Inicialmente as edificações seguiam o estilo de construção norte europeu, as quais faziam o uso do sistema heavy timber frame, que utilizava elementos robustos de madeira como parte de sua estrutura (CARDOSO, 2015).

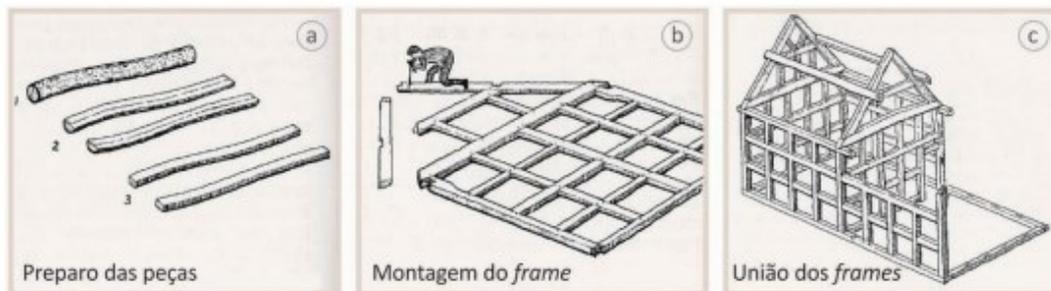
Segundo o mesmo autor, após mais de 300 anos de desenvolvimento e adaptação, o sistema construtivo em Wood Frame surgiu quando os construtores perceberam que ao utilizar os mesmos elementos verticais pouco espaçados

utilizados como vedação de suas edificações era possível suportar as cargas de modo a substituir os robustos pilares de madeira.

Devido ao crescente número de imigrantes que faziam morada nos Estados Unidos, foi necessária uma solução para a alta demanda por novas moradias. Por conta dos importantes avanços tecnológicos da fabricação de pregos e madeira serrada, em meados do século XIX foram construídas as primeiras habitações em Wood Frame. Sendo o sistema mais flexível, racionalizado e veloz, o mesmo foi amplamente utilizado nas construções estadunidenses e apresentou maior facilidade construtiva comparado ao Heavy Timber Frame.

Ao longo dos anos o sistema foi aprimorado e, de acordo com Canada Mortgage and Housing Corporation (2013), gerou-se atualmente o Light Wood Frame. Hoje o sistema construtivo conta com a combinação de elementos estruturais seguidamente repetidos em formato de perfis, treliças e painéis, de modo a garantir em conjunto a rigidez necessária para resistir a cargas verticais e horizontais.

**Figura 6 – Produção das tramas estruturais e montagem da edificação**



**Fonte: Espindola (2017)**

Antes da chegada ao canteiro de obra, as peças de madeiras passavam por um processo de preparação e eram montadas em frames. Logo depois as estruturas montadas eram transportadas ao terreno para serem erguidas e unidas, como ilustrado na figura 6. Neste cenário, um ou dois colaboradores já eram capazes de carregar vigas ou pilares, entretanto, para unir o conjunto era necessário mais trabalhadores e equipamentos auxiliares (ESPÍNDOLA, 2017). Atualmente é possível fazer uso de maquinário mais pesado para realizar o içamento de painéis, tornando o processo mais veloz e diminuindo a demanda de colaboradores. A figura 7 mostra o içamento de uma parede de um edifício em Light Wood Frame.

**Figura 7 – Içamento de parede pré-fabricada de madeira**



**Fonte: Tecverde (2021)**

#### **4.7 Light Wood Frame no Brasil**

De acordo com Espíndola (2017), a madeira sempre esteve presente na história da construção civil brasileira, até mesmo nas moradias dos antigos povos indígenas brasileiros, entretanto, o uso da mesma normalmente caracterizava-se por processos rudimentares. Segundo a autora, a madeira passava por um processo de seleção e transformada de maneira rudimentar para compor sistemas estruturais de vedação de paredes e coberturas, sendo parte integrante da combinação com outros materiais como terra, palha e pedra. Com o passar do tempo seus componentes, técnicas e instrumentos de trabalho foram aprimorados, no entanto, a utilização da alvenaria com revestimento tem sido amplamente utilizada e até hoje é o sistema construtivo de maior representação em território nacional, conforme ilustra a figura 8.

**Figura 8 – Quantidade de residências brasileiras conforme material de parede externa**



**Fonte: Espíndola (2017)**

Um dado que mostra a disparidade entre a madeira e a alvenaria na construção civil é o número total de edificações construídas destinadas à moradia realizadas. Segundo o IBGE, apenas 7% das moradias foram construídas em madeira, enquanto 90% utilizaram alvenaria (ESPÍNDOLA, 2017). Atualmente o light wood frame é um sistema que ainda está sendo implantado no Brasil, portanto a produção anual de casas que utilizam esse método construtivo ainda é baixa (MOLINA, CALIL JUNIOR, 2010).

De acordo com estudos, é praticamente impossível datar quando ocorreu a primeira construção usando o método LWF no Brasil devido à falta de registros e nomenclaturas da época. Além disso, ainda há dúvidas sobre as soluções em madeira utilizadas em território brasileiro, fazendo com que as mesmas podem não ser enquadradas no sistema construtivo em questão. Em suma, segundo Espíndola (2017), o sistema light wood frame brasileiro surgiu em meados da década de 80 e caracteriza-se por ser painéis compostos por montantes e travessas contraventadas por chapas OSB ou compensado.

Durante esse período algumas empresas foram pioneiras no processo de evolução do sistema construtivo no país e posteriormente segundo o panorama da construtora Tecverde (2016), o ano de 2010 foi considerado o marco para o Wood frame por conta da criação da Comissão Casa Inteligente, em Curitiba. A organização era composta por empresas, pesquisadores e fornecedores ligados ao sistema construtivo e a partir disso o wood frame passou pela industrialização de seus processos construtivos, visando a racionalização, eficiência, produtividade e

qualidade. Em 2011, parceiros apoiadores do sistema construtivo uniram-se para alterar a regulamentação da época e obtiveram a permissão para que bancos pudessem financiar construções em wood frame, como o Programa Minha Casa Minha Vida.

Vale ressaltar que, por se tratar de um sistema inovador, o Light Wood Frame precisou passar por um processo de avaliação de normas técnicas internacionais para validar o seu desempenho no Brasil. Foi desenvolvido então SINAT nº005 em 2011 e foi renovada em 2016 para compreender as normas de desempenho. A Tecverde desenvolveu o DATec nº 020 (Documento de Avaliação Técnica) que foi homologado após ensaios laboratoriais e simulações que o método construtivo atende à NBR 15575 e demais normas vigentes. Hoje é possível visitar no sul do Brasil canteiros de obras onde são construídos empreendimentos de até 4 pavimentos feitos de estrutura de madeira pré-fabricada (TECVERDE, 2016).

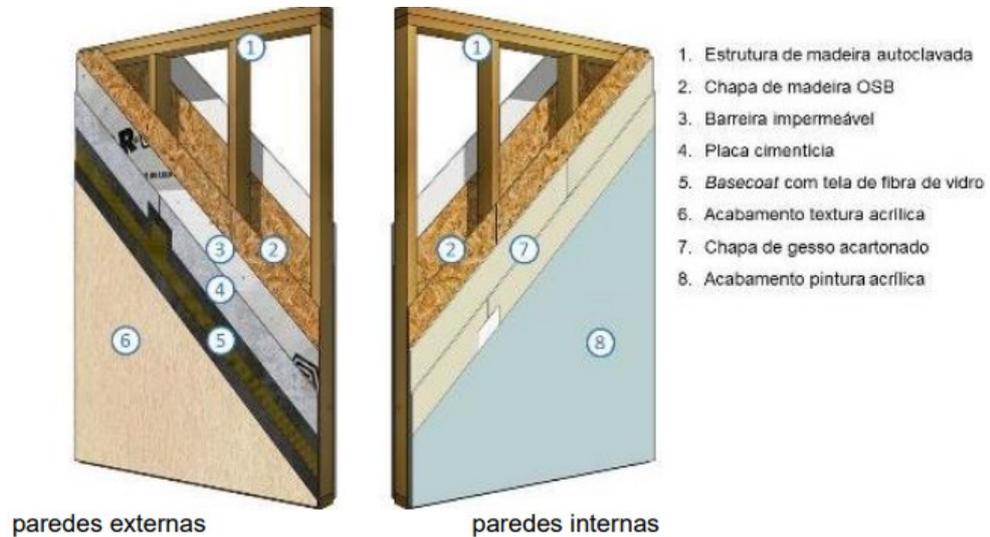
#### **4.8 Peculiaridades do sistema Light Wood Frame**

De acordo com as Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos (SINAT, 2020), a principal característica do sistema leve tipo Light Wood Frame é ser estruturado por peças de madeira maciça serrada combinadas com o fechamento de chapas. O sistema no Brasil pode ser destinado às edificações unifamiliares, térreas ou assobradadas e em edificações multifamiliares de até 5 pavimentos. Suas paredes possuem peças estruturais de madeira denominadas montantes e travessas que passam pelo processo de beneficiamento e tratamento químico sob pressão.

De acordo com o Documento de Avaliação Técnica nº20 (2020) e como mostra a figura 9, ambas as paredes, sendo elas internas e externas possuem chapas de fechamento estrutural em chapa de madeira OSB, diferenciando-se basicamente na solução para melhorar o desempenho da estrutura que entrará em contato com a água. As paredes externas mencionadas possuem, além do acabamento convencional em textura acrílica, uma barreira impermeável e acabamento argamassado em Basecoat. O revestimento em questão é uma espécie de argamassa reforçada com tela ou fibras aplicadas sobre uma chapa de fechamento externo com placa cimentícia. Já na face interna, faz-se o uso de chapas de gesso acartonado e é realizado o acabamento em pintura acrílica. Vale ressaltar que é necessário o

tratamento das juntas entre as placas de fechamento para que não haja possíveis fissuras com o passar do tempo.

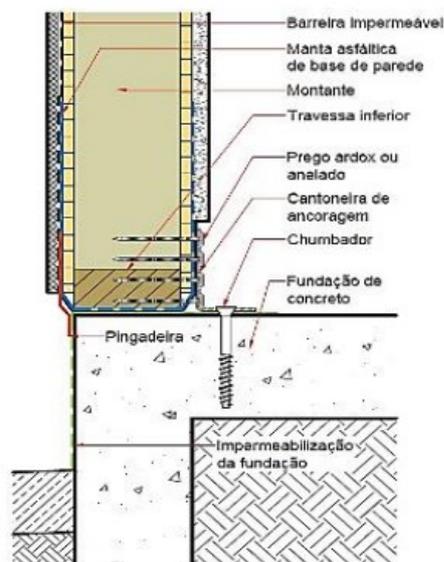
**Figura 9 – Ilustração da composição das paredes de Light Wood Frame**



Fonte – DATec nº 020 (2020)

Para realizar a correta fixação da estrutura com a fundação (preferencialmente radier), onde são alocadas as paredes aplica-se impermeabilização e, com a instalação de cantoneiras de ancoragem e utilização de pregos e chumbadores. Há a necessidade também de uso de parafusos para realizar a amarração entre paredes, como ilustra a figura 10.

**Figura 10 – Esquema de fixação da parede externa na fundação**

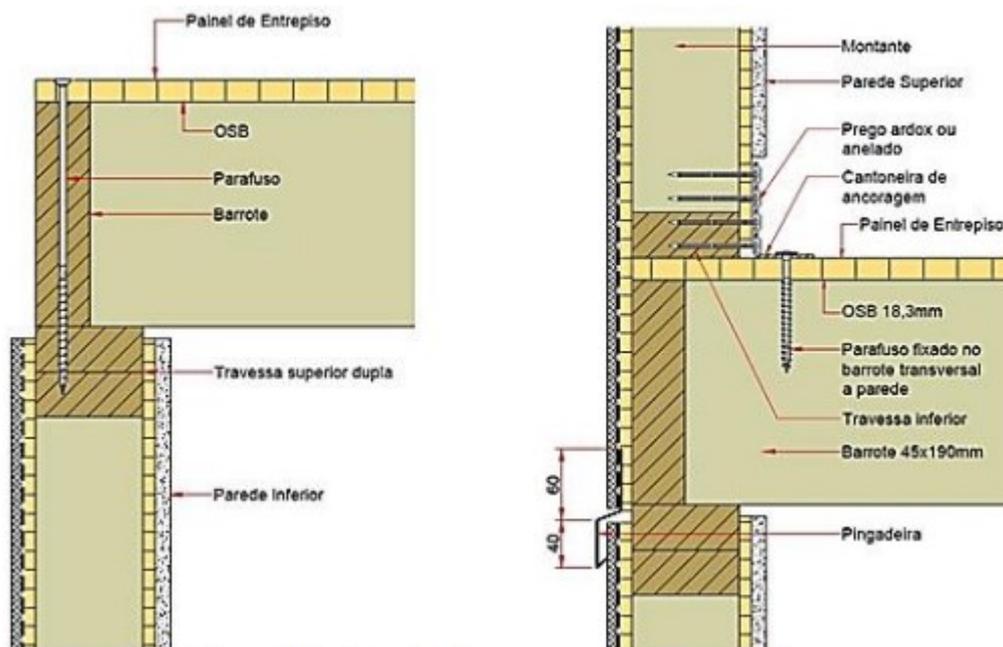


Fonte – DATec nº 020 (2020)

Os entrepisos basicamente são estruturas que possuem a mesma função de lajes de forro e são formadas por peças de madeira serrada e tratadas por meio de autoclave e seu forro é composto por uma ou duas camadas de gesso acartonado. Em áreas molhadas, o entrepiso deve receber tratamento adequado contra fungos e insetos, além disso o mesmo recebe chapas de madeira maciça ou chapas de compensado.

Para sua fixação, o painel de entrepiso é alinhado com as travessas superiores das paredes dos pavimentos inferiores. Assim como nas paredes, são utilizados parafusos compatíveis e cantoneiras metálicas e é necessário cálculo estrutural específico para cada edificação, como na figura 11.

**Figura 11 – Esquema de fixação do entrepiso**



Fonte – DATec nº 020 (2020)

É importante ressaltar que elementos como fundação, acabamentos e cobertura assemelham-se ao processo construtivo convencional e os mesmos devem seguir as normas vigentes. Atualmente ainda não há normas que regulamentam o sistema construtivo em questão, entretanto o 2º Projeto da NBR 16963 (2022) sobre edificações em Light Wood Frame encontra-se em fase de consulta nacional.

#### 4.9 Perspectivas do LWF no Brasil

De acordo com Sotsek e Santos (2018), o Light Wood Frame é bastante relevante na Europa e na América do Norte e, ainda que muito utilizado em outros países, o sistema construtivo representa uma grande inovação para a construção civil brasileira. Segundo Calil e Molina (2010), a utilização da madeira é uma solução interessante para o país devido à mesma possuir baixo consumo energético para produção e sequestra carbono da atmosfera durante seu crescimento. Além disso, apresenta excelente desempenho térmico e acústico, bem como possui uma relação resistência/peso elevada, o que torna o material relevante para a pré-fabricação em um país detentor de grandes áreas de reflorestamento.

Diferentemente do pensamento generalizado, o método construtivo em questão apresenta desempenho satisfatório contra incêndios devido ao comportamento de sua estrutura. O elemento estrutural de madeira, quando exposto ao fogo, sofre carbonização em seu perímetro externo e permanece íntegro em seu interior, garantindo tempo hábil para a evacuação de pessoas da edificação (CALIL, MOLINA, 2010).

Sabendo-se das inúmeras vantagens do uso da madeira como matéria prima de edificações, a utilização do Light Wood Frame atrelado à industrialização traz vantagens competitivas para o sistema construtivo, tais como (SOTSEK, SANTOS, 2018):

- Racionalização do material;
- Flexibilidade operacional;
- Agilidade produtiva;
- Custos competitivos;
- Limpeza;
- Redução de prazos.

Segundo Calil e Molina (2010), as habitações pré-fabricadas foram marcadas por diferentes tecnologias e materiais, principalmente para se adequar à habitação popular. Além de características importantíssimas relacionadas ao desempenho da edificação, o sistema construtivo precisa apresentar baixo custo. Assim, tem crescido

o número de construtores, especialistas e acadêmicos que buscam com o Light Wood Frame desvincular a ótica de que a madeira é um produto de baixa qualidade e, se utilizada com elevado controle tecnológico, pode ser a matéria prima de construções econômicas, limpas e de qualidade.

#### 4.10 Perspectivas da construção modular no Brasil

De acordo com Silveira (2021), a construção modular off-site é formada pela união de módulos produzidos em ambiente fabril, tornando o canteiro de obra o coadjuvante, sendo utilizado somente para a montagem das estruturas. Desta forma, é possível reduzir as incertezas do canteiro e otimizar a organização, evitar o desperdício de tempo, materiais e energia que os processos sistêmicos do ambiente fabril proporcionam. Segundo o mesmo autor, a construção modular possui algumas alternativas que variam conforme a complexidade dos elementos utilizados, conforme mostra a figura 12.

**Figura 12 – Especificações de projeto e respectivas soluções modulares**



Fonte: Silveira (2021)

Segundo Oliveira (2021), a construção modular dobrou sua presença no mundo nos últimos cinco anos e há uma estimativa para crescer a uma taxa de 6,9% ao ano, até 2023. É possível destacar que esse modelo de construção tem potencial para reduzir em até 20% dos custos e até 50% dos prazos. Além disso, é possível mencionar a redução considerável dos resíduos. De acordo com o mesmo autor, pode-se citar algumas vantagens da construção modular, sendo elas:

- Maior controle do projeto e da construção;
- Rapidez, previsibilidade e segurança da entrega;
- Maior tecnologia e inovação;
- Maior flexibilidade e adaptabilidade às necessidades do cliente;
- Edificações mais eficazes e sustentáveis.

No Brasil, é possível observar o crescimento do método construtivo industrializado, entretanto ainda há muitos obstáculos a se percorrer para a consolidação da construção industrializada no país. Segundo Oliveira (2021) e Silveira (2021), Pode-se citar alguns desafios:

- Reforma tributária, de modo a garantir isonomia tributária entre a construção tradicional e a industrializada;
- Burocracia, lentidão envolvendo aprovações de projeto legal e licenciamento ambiental, além de códigos de obra que apresentam restrições à construção industrializada;
- Necessidade de aparelhamento das faculdades e universidades para a inclusão da construção *off-site* na grade de Ensino e a capacitação dos profissionais já engajados no mercado;
- Carência de programas de incentivo à inovação, bem como de financiamento para o desenvolvimento tecnológico voltado à inovação;
- Baixa estigma aos produtos imobiliários construídos em indústrias;
- A crença ao enrijecimento do design devido à padronização dos módulos;
- Complexidade do transporte das edificações pré-fabricadas até o local de uso;
- Baixa oferta da cadeia de suprimento, com mão de obra e materiais adequadas ao sistema construtivo.

Mesmo com a grande quantidade de barreiras a serem ultrapassadas, pode-se notar o aparecimento cada vez maior de obras realizadas por empresas brasileiras que utilizam o sistema construtivo industrializado, como mostra a figura 13 e 14.

**Figura 13 – Primeiro edifício off-site modular da América Latina**



Fonte: Revista Use (2022, online)

**Figura 14 – Maior empreendimento em Light Wood Frame da América Latina**



Fonte: Tecverde (2022)

Nas duas figuras é possível observar duas obras brasileiras de dimensões latino-americanas que utilizaram o sistema construtivo industrializado e ilustram o potencial da industrialização da construção no Brasil. Atualmente há iniciativas privadas que promovem o avanço da construção industrializada sob a perspectiva de gerar maior representatividade do sistema na construção civil brasileira e ser uma

solução para o déficit habitacional do país. Dentre eles há o Movimento Brasil Viável, o qual visa dialogar, debater e traçar estratégias para romper as barreiras da industrialização da construção civil brasileira. Hoje, o movimento conta com diversos engenheiros, arquitetos, fornecedores, construtores e outros participantes que lutam para o crescimento do ramo.

## 5 ESTUDO DE CASO: AMPLIAÇÃO DO HOSPITAL M'BOI MIRIM

### 5.1 Contextualização

Devido ao avanço do Covid-19 em todo o Brasil, a Tecverde formou uma parceria com uma empresa especialista no ramo de construção modular no Brasil de modo a cumprir o desafio de construir a extensão de um hospital que contaria com 100 leitos disponíveis para atendimento exclusivo pelo SUS em menos de 40 dias. A edificação foi doada à Prefeitura de São Paulo e neste estudo é abordado o processo dessa construção que viabilizou a ampliação de um hospital que tem sido utilizado pós-pandemia com o auxílio da construção industrializada atrelado ao Light Wood Frame.

Devido às recomendações da OMS para diminuir a disseminação do vírus Covid-19, o projeto em questão contou com o trabalho de mais de 25 engenheiros trabalhando simultaneamente de maneira remota e, com o auxílio de recursos de compatibilização de projetos, foi possível desenvolver os projetos de todas as disciplinas de maneira interligada, resultando em uma execução mais precisa.

O processo de desenvolvimento e modelagem dos projetos teve início no dia 23 de março de 2020 e foram construídos e transportados para o canteiro ao todo 44 módulos. Com 7 dias de antecedência, a produção, montagem e carregamento dos módulos foram finalizados em 11 dias, no dia 7 de abril de 2020. Com isso, foi possível entregar o hospital em apenas 33 dias. Além da edificação abordada nesse trabalho, a iniciativa de construir novos leitos hospitalares em tempo reduzido resultou ao todo em 5 hospitais, sendo eles:

- Hospital M'Boi Mirim, na cidade de São Paulo, entregue em 33 dias;
- Hospital Independência, na cidade de Porto Alegre, entregue em 30 dias, sendo considerada a obra hospitalar mais rápida do Brasil;
- Hospital de Retaguarda, na cidade de São José dos Campos, entregue em 36 dias;
- Hospital Regional de Ceilândia, no Distrito Federal, entregue em 34 dias;
- Hospital Cematron, em Porto Velho, finalizado em 35 dias.

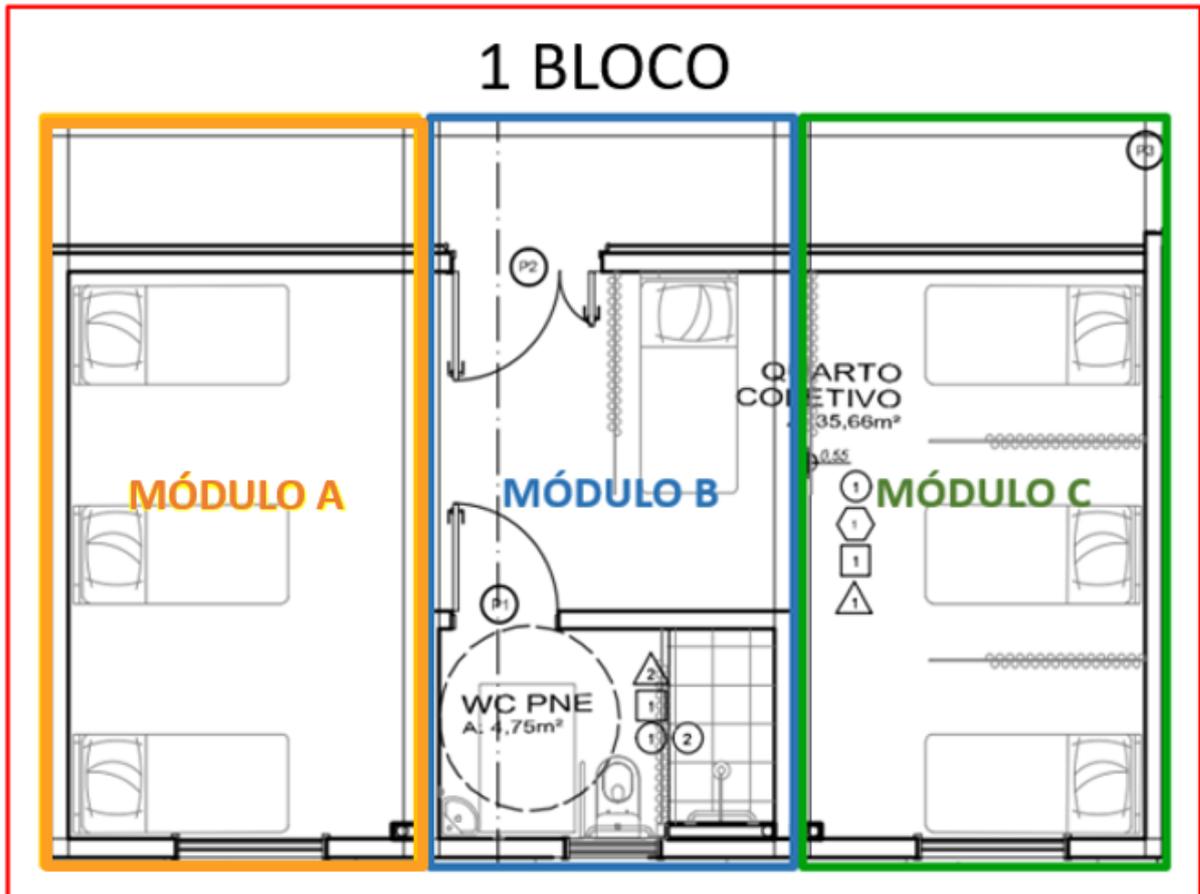
Nesse estudo de caso é abordado então os processos utilizados para a realização da obra em questão, com o enfoque nos processos imprescindíveis na construção off-site e, a partir de reportagens e entrevistas com participantes do projeto, pretende-se demonstrar o potencial do sistema construtivo industrializado e da madeira engenheirada para obras emergenciais que demandam prazos reduzidos sem deixar de lado a qualidade e o desempenho dessas edificações.

## **5.2 Informações iniciais**

A ampliação do hospital M'Boi Mirim, assim como os outros hospitais mencionados anteriormente, foi realizada com um sistema modular misto: a tecnologia empregada fazia uso de chassis metálicos que eram responsáveis por portar a edificação. A estrutura metálica era produzida previamente na cidade de Tubarão – SC e montadas em módulos em Araucária – PR. Depois de montado, a estrutura tinha seu fechamento feito com painéis industrializados em madeira produzidos e instalados no mesmo local. As paredes de Light Wood Frame, por meio de uma tecnologia de linha de produção, foram acopladas à estrutura modular restando alguns acabamentos e instalações que, em sua maioria, eram realizados em ambiente fabril. A expansão modular é composta por 44 módulos e as instalações e acabamentos foram realizados em 11 dias. O tempo de obra foi de 33 dias desde o início da obra até o seu funcionamento. Vale ressaltar que devido à urgência do prazo a prefeitura da cidade necessitou aprovar os projetos em tempo reduzido e no caso do hospital M'Boi Mirim foi iniciada a produção antes da conclusão de alguns projetos.

De acordo com o projeto arquitetônico e de montagem, para a realização de um quarto hospitalar eram necessários 3 módulos para a execução do ambiente. A cada 3 módulos formava-se 1 bloco, o que constituía 1 quarto, sendo ele composto por 7 leitos, como mostra a figura 15.

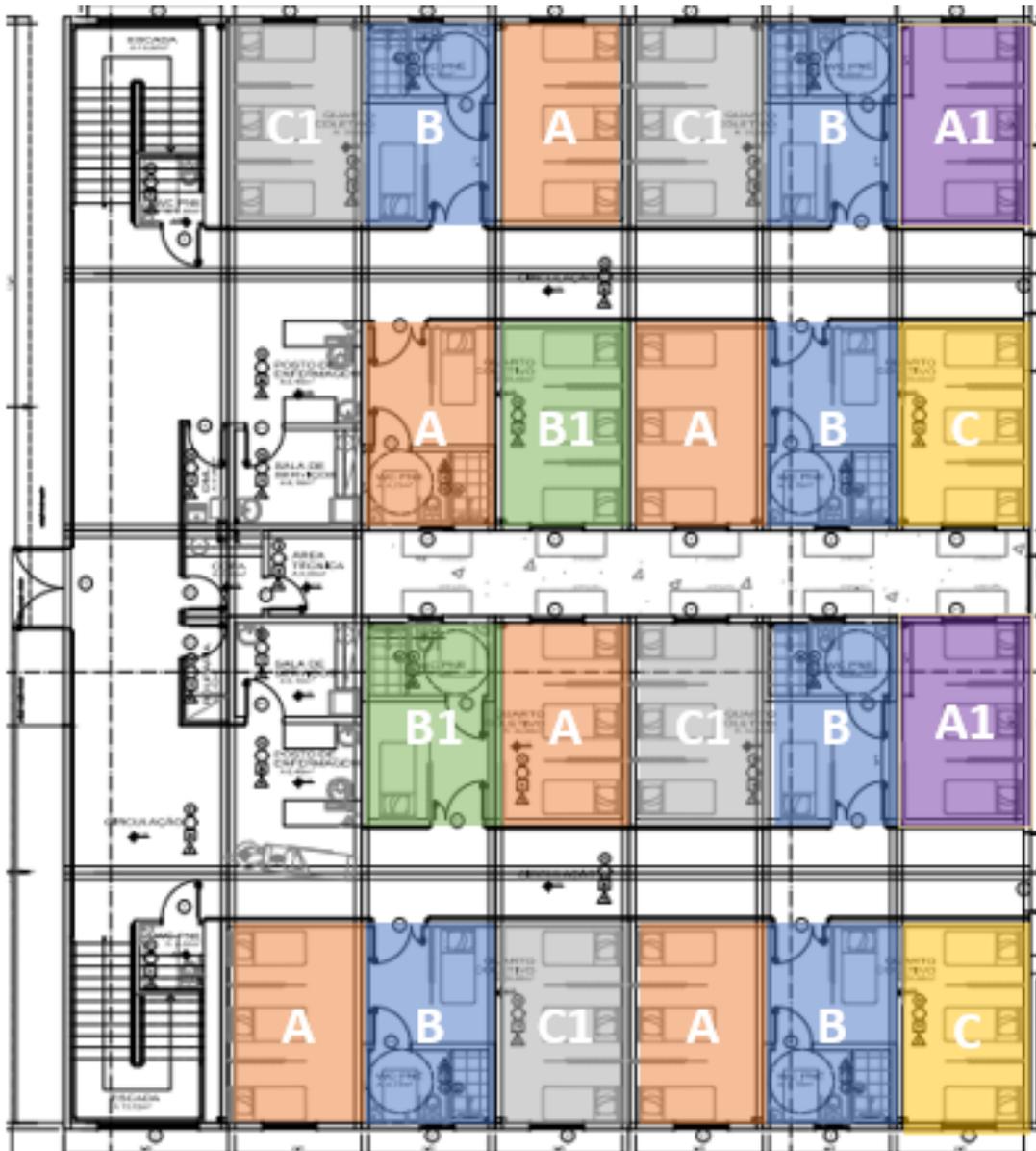
Figura 15 – Representação dos módulos que formam o leito hospitalar



Fonte: Adaptado de Tecverde (2020)

Ao todo, para a produção da estrutura modular na fábrica foram necessários 6 modelos de módulos para formar os 100 leitos hospitalares. A seção modular do hospital é composta por 44 módulos, divididos igualmente em 22 módulos entre o 1º e 2º pavimento, distribuindo 50 leitos por andar. Na figura 16 é possível observar a disposição dos módulos no projeto arquitetônico. De modo geral, os modelos A, B e C possuíam seus modelos irmãos A1, B1 e C1, respectivamente. Essa diferenciação era necessária por conta de pequenas alterações em paredes de divisa, espelhamento e posicionamento de instalações. O modelo a seguir repete-se nos dois pavimentos.

Figura 16 – Disposição dos módulos no projeto arquitetônico do 2º pavimento)



Fonte: Adaptado de Tecverde (2020)

### 5.3 Gestão e Logística

Devido à complexidade e prazo reduzido da obra, o planejamento do projeto teve a duração de 5 dias. Dentro desse prazo foi definido o *lead time* e *takt time*, ou seja, o tempo necessário para produção e entrega do módulo e o tempo limite para não haver atraso na entrega. Além disso, nesse período foi elaborado o cronograma físico por módulo e realizado o histograma, dimensionamento de equipes e separação dos pacotes dos serviços que compuseram a entrega de cada módulo. Para a conclusão da obra sem atrasos era necessário um nível de detalhamento maior do

que normalmente é utilizado em construções convencionais. A figura 17 ilustra a utilização de um dos itens de gestão utilizados nesse projeto, o qual representa o avanço da obra com a utilização de barras coloridas que ilustram a duração de determinada etapa. Por meio dessa ferramenta é possível visualizar o caminho crítico do projeto com mais facilidade, gerando rapidez na tomada de decisões.

**Figura 17 – Representação do cronograma por meio do diagrama de Gantt**



**Fonte: CAEC UEM (2021, online)**

Exemplificando a dinamicidade que o projeto requer, pode-se citar a execução do revestimento cerâmico, o qual é uma etapa presente em diversas obras e para a conclusão dela é necessário respeitar as recomendações do fabricante e das normas vigentes para o desempenho adequado do material. Por conta disso, foi determinado também no diagrama de barras o período do tempo de cura da argamassa para a entrada imediata das outras frentes de serviço com o intuito de otimizar ao máximo a produção. Vale ressaltar também que, durante esse intervalo era possível realizar outros serviços paralelamente, como a etapa de pintura, já que o revestimento cerâmico era especificado somente no banheiro. O que normalmente se pode notar em cronogramas de obras convencionais é a representação do avanço físico da obra em dias, entretanto, devido ao prazo reduzido do projeto em questão o gráfico de Gantt possuía um detalhamento em horas.

Como dito anteriormente, foram elaborados grupos de serviço de modo a compor uma linha de balanço, assim era possível visualizar mais facilmente em que momento e quais serviços estariam ocorrendo nos módulos. Por meio desse método

de gestão é possível ditar o “ritmo” necessário para a conclusão da obra no período determinado, como mostra a figura 18.

**Figura 18 – Linha de Balanço da execução dos grupos de serviço dos módulos**

		LINHA DE BALANÇO																												
TURNO	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02	T 01	T 02						
DIA	sabado		domingo		segunda-feira		terça-feira		quarta-feira		quinta-feira		sexta-feira		sábado		domingo		segunda-feira		terça-feira		quarta-feira		quinta-feira		sexta-feira		sábado	
	28/mar	29/mar	30/mar	31/mar	01/abr	02/abr	03/abr	04/abr	05/abr	06/abr	07/abr	08/abr	09/abr	10/abr	11/abr															
Bloco 01	MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																						
Bloco 02	MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																						
Bloco 03			MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																				
Bloco 04			MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																				
Bloco 05					MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																		
Bloco 06					MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																		
Bloco 07							MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																
Bloco 08							MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR																
Bloco 09									MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR														
Bloco 10									MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR														
Bloco 11											MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR												
Bloco 12											MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR												
Bloco 13													MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR										
Bloco 14													MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR										
Bloco 15															MON	INS	GES	TJU	TJU	CER	PIN	POR								

Fonte: CAEC UEM (2021, online)

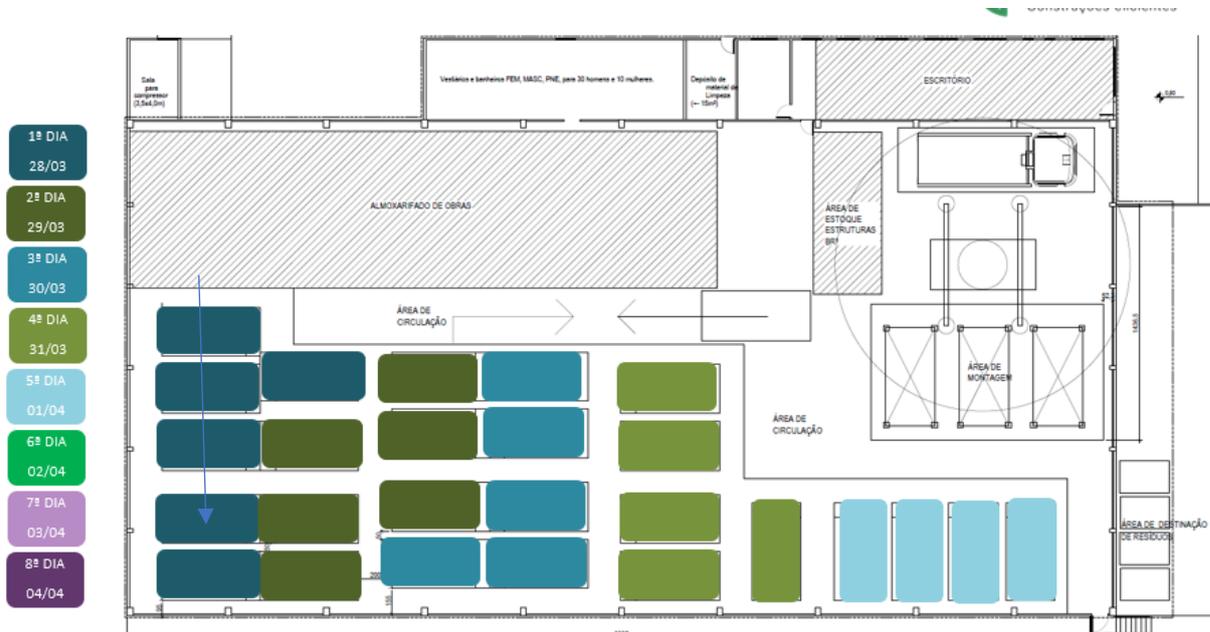
Por meio da linha de balanço é possível observar que a partir do dia 31 de março já era previsto o término dos dois primeiros blocos e, ainda assim, já era planejada a execução de pacotes de serviço em sua capacidade máxima, atingindo 8 blocos em fase de execução. Somente a partir do dia 04 de abril alguns serviços foram concluídos, sendo a montagem dos módulos o primeiro deles.

Para o controle das ferramentas de planejamento utilizadas acima, era imprescindível a análise de restrições e desdobramentos de metas quase que simultaneamente com os serviços realizados. Era feito então o *lookahead* de dois dias e para o controle dos serviços executados, a inspeção e atualização das etapas eram feitas, de modo geral, 3 vezes ao dia. A partir disso era feito o replanejamento e, se necessário, a correção de prazos.

Devido à intensidade que a obra demandou, foi necessário a realização de dois turnos de trabalho e para a realização da entrega no prazo do hospital aproximadamente 110 colaboradores foram mobilizados para cumprir o desafio, sendo 15 encarregados da gestão do projeto e os outros 95 faziam parte da operação. Independentemente da quantidade de colaboradores trabalhando simultaneamente, foi possível realizar uma obra sem nenhum acidente com afastamento e com nenhum caso de Covid-19 durante esse período.

De acordo com um dos colaboradores responsáveis pela gestão do projeto, um dos principais desafios para concluir com êxito esse projeto era a logística do processo. Uma das maiores preocupações era realizar de forma eficaz o recebimento dos materiais necessários para montar os chassis metálicos, movimentar os painéis de madeira, armazenar adequadamente e expedir os módulos finalizados. O galpão utilizado para realizar esses procedimentos possuía apenas uma entrada e por conta disso foi necessário elaborar um layout otimizado do ambiente de trabalho, como mostra a figura 19.

**Figura 19 – Layout proposto do ambiente de execução dos módulos**



Fonte: Tecverde (2020)

Conforme ilustra a figura 19, os módulos assim que montados eram colocados na ordem acima e a partir disso eram iniciados os serviços posteriores. Assim, as equipes responsáveis pelos próximos serviços iniciavam suas atividades enquanto novos módulos eram montados.

É possível observar no canto superior esquerdo a entrada de um caminhão contendo os painéis necessários para o fechamento dos chassis e logo ao lado está o guindaste utilizado para o fechamento da estrutura. Deste modo, as paredes eram içadas sem ser necessário retirá-las do caminhão, conforme mostra a figura 20. Nesta mesma figura é possível observar a diferente disposição dos módulos anteriormente ilustrados na figura 19 por conta de alguns ajustes de logística feitos durante o

processo. Foi necessário então algumas adaptações e parte dos módulos chegaram a ser finalizados na parte externa da fábrica.

**Figura 20 – Disposição do ambiente fabril durante a fabricação dos módulos**



Fonte: Tecverde (2020)

Após a finalização dos acabamentos dos módulos realizados em ambiente fabril, o transporte era realizado por meio de carretas, que eram responsáveis por levar os módulos até o canteiro de obra, conforme ilustra a figura 21.

**Figura 21 – Preparação dos módulos para transporte**



Fonte: Tecverde (2020)

O transporte dos blocos era realizado ao final da tarde. Cada caminhão conseguia suportar 2 módulos e era realizado o transporte na maior parte dos dias de seis módulos, contabilizando dois blocos. Assim, no dia de expedição, eram necessárias pelo menos três carretas para transportar a estrutura modular para o canteiro de obra. Após a partida dos módulos, todos os procedimentos posteriores ficavam por conta da empresa parceira, a qual foi responsável por realizar os serviços preliminares, infraestrutura, acoplagem dos módulos in loco, instalação das estruturas não modulares e finalização das etapas de instalações e acabamentos finais e execução de fachada.

## **5.4 Produção dos módulos**

### **5.4.1 Produção dos painéis em Light Wood Frame**

Para a produção do fechamento dos chassis metálicos a alternativa usada pelas empresas responsáveis pelo projeto foi utilizar a tecnologia do Light Wood Frame para a vedação da estrutura. A Tecverde, pioneira da industrialização do sistema no Brasil, utilizou seus conhecimentos e com a tecnologia da sua linha de produção de origem alemã foi capaz de produzir as paredes que vedam os módulos em apenas 5 dias.

Denominada de Linha Weinmann, a linha automatizada de produção é responsável por fixar e cortar corretamente os montantes com o auxílio de um colaborador que opera a central. Nela consta o projeto de produção da parede a ser montada e por meio dele a linha reconhece a quantidade de montantes pedida em projeto e é capaz de produzir os frames com os as dimensões corretas.

Com o auxílio de outros colaboradores presentes na linha, após a fixação dos montantes e das soleiras há os serviços posteriores que compõem a linha de produção como o contraventamento em chapas de OSB, chapeamento de 1ª camada de gesso. Após a conclusão desses procedimentos em um dos lados do frame ocorre o “giro” do painel para que haja a execução do outro lado da parede. Nesse período há a execução das instalações elétricas e hidrossanitárias que ficam entre os frames.

**Figura 22 – Linha de produção automatizada de paredes (Linha Weinmann)**



Fonte: Tecverde (2022)

Conforme mostra na figura 23, paralelamente ao processo de produção dos painéis, tem-se a montagem das tubulações hidrossanitárias e elétricas que são embutidas nas paredes para que haja somente a interligação das mesmas com o restante da tubulação após a montagem no canteiro de obra. Os “kits” são disponibilizados à equipe de produção dos painéis e os pontos hidráulicos e elétricos já são instalados em seus devidos posicionamentos. Posteriormente, é feito então a inclusão de material de isolamento termoacústico se necessário e, caso seja uma parede com lado externo à edificação, é feita a correta instalação de OSB, membrana hidrófuga placa cimentícia autoclavada e esquadrias de janela, respectivamente.

**Figura 23 – Preparação das tubulações embutidas nas paredes**



Fonte: Tecverde (2022)

Pode-se observar na figura 24 que no lado esquerdo a parede encontra-se somente com a membrana hidrófuga, sendo que a parede do lado direito também possui, entretanto, esta camada já está coberta pela placa cimentícia envernizada em fábrica. Segundo os colaboradores participantes do projeto, a junção desses dois sistemas construtivos foi relevante por conta da capacidade produtiva da tecnologia da linha de produção em questão. A fabricação das paredes que compõem os módulos foi realizada em apenas 5 dias

**Figura 24 – Módulo acabado com vedação em Light Wood Frame**



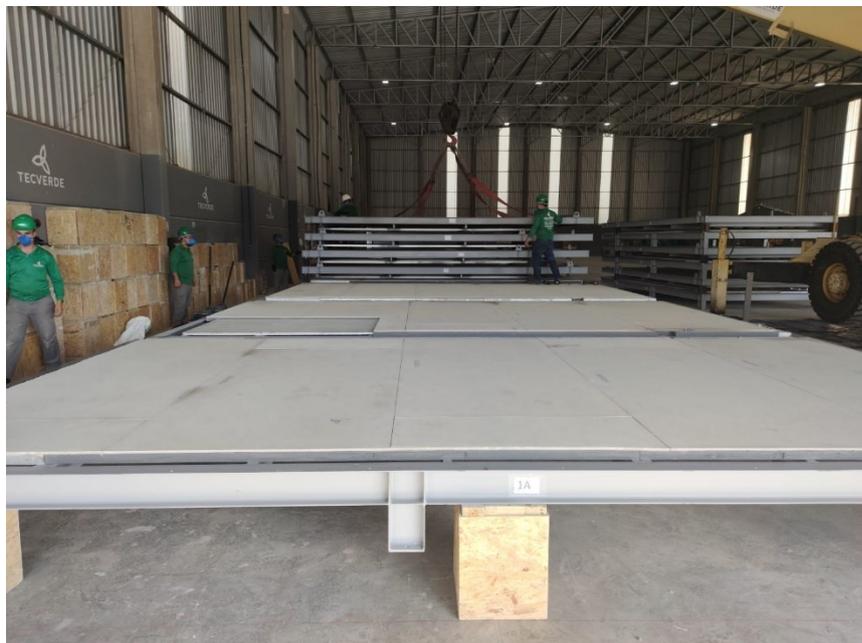
Fonte: Tecverde (2020)

#### 5.4.2 Montagem dos módulos

Para o início da montagem dos módulos, era necessário primeiramente realizar a montagem dos chassis metálicos para, posteriormente, realizar a montagem dos painéis. De acordo com um dos responsáveis pela gestão do projeto, na época não se tinha informações de uma junção de estruturas mista em Light Wood Frame e chassis metálicos no Brasil. A estrutura metálica foi montada nas dependências da fábrica, enquanto os painéis foram fabricados simultaneamente em outro ambiente para que fosse realizado a montagem dos módulos.

O piso dos módulos foi fabricado pela empresa parceira e para atender as necessidades do projeto, foi instalado um painel de fibrocimento para uso interno comumente utilizado em lajes secas e mezaninos. O elemento construtivo tem alta durabilidade e se adapta a construção a seco. O painel aceita diversos acabamentos de piso e foi a alternativa encontrada para a modularização do projeto.

**Figura 25 – Estrutura do piso do módulo com painel de fibrocimento**



**Fonte: Tecverde (2020)**

Para a estrutura de forro dos módulos foi utilizado o mesmo material. Além disso, os painéis de fibrocimento tinham suas juntas tratadas por meio de uma fita adesiva de aspecto metálico responsável por garantir a impermeabilização dos painéis.

**Figura 26 – Estrutura pré-fabricada do forro dos módulos com painel de fibrocimento**



**Fonte: Tecverde (2020)**

Com as paredes necessárias para os módulos finalizadas, com o auxílio de um guindaste as paredes são içadas e colocadas entre os pilares e sobre a estrutura metálica previamente montadas. Diferentemente das obras convencionais em LWF, no caso dos hospitais por se tratarem de uma estrutura modular mista, os painéis de madeira, que normalmente são fixados uns aos outros por meio de parafusos e cantoneiras, foram fixados nos chassis. A junção entre as paredes em LWF e a estrutura metálica foi realizada com parafusos de diferentes tamanhos especificados em projeto, conforme ilustrado na figura 27.

**Figura 27 – Detalhamento da ligação do painel na estrutura metálica**



**Fonte: Tecverde (2020)**

Primeiramente, a estrutura metálica que formava o piso do módulo era nivelada e calçada, depois foram fixados os pilares metálicos dos chassís para receberem os painéis de madeira, os quais eram fixados nos pilares e por baixo do piso, não necessitando das cantoneiras comumente usadas no sistema construtivo em questão. Os calços utilizados em fábrica deveriam possuir altura suficiente para a entrada de um colaborador por baixo do módulo para realizar a fixação dos painéis na estrutura.

**Figura 28 – Montagem e fixação de paredes no chassís metálicos**



**Fonte: Tecverde (2020)**

Para finalizar a montagem do módulo, era instalado então a estrutura do forro metálico pré-fabricado. O elemento estrutural era fixado nos pilares e nas paredes com os mesmos parafusos utilizados no restante do módulo. A montagem completa de um bloco levava em torno de 5 horas, desde o início da montagem dos chassis até a sua mobilização.

**Figura 29 – içamento da estrutura do forro**



**Fonte: Tecverde (2020)**

Assim que a montagem do módulo era concluída, a estrutura semiacabada era mobilizada para que os serviços posteriores fossem realizados enquanto são montados os próximos módulos. Com o intuito de otimizar o espaço da fábrica, o ambiente era marcado com fita adesiva no chão para o correto posicionamento dos módulos montados e para que houvesse espaço suficiente e seguro para a realização das próximas etapas. Tais serviços foram organizados nas seguintes etapas, as quais possuíam uma equipe responsável por realizar cada grupo de serviço ilustrados na figura 18 e caracterizados na figura 30.

**Figura 30 – Grupos de serviços após a montagem dos módulos**

<b>INSTALAÇÕES (INS)</b>	<b>GESSO (GES)</b>	<b>TRAT. JUNTAS (TJU)</b>
INST. ELÉTRICAS E DADOS ESTRUTURA E INST. SHAFT INST. GASES MEDICINAIS ARREIMATE E REVEST. EXTERNO	CHAPEAMENTO DE BWC TRAT. JUNTAS (BWC) CHAPEAMENTO DE FORRO	TRAT. JUNTAS (1ª E 2ª DEMÃO) IMPERMEABILIZAÇÃO (1ª E 2ª DEMÃO) IMP. JANELAS
<b>CERÂMICA (CER)</b>	<b>PINTURA (PIN)</b>	<b>ACABAMENTOS (POR)</b>
CERÂMICA DE PAREDE CERÂMICA DE PISO APLICAÇÃO MASSA CORRIDA	LIXAMENTO E REGULARIZAÇÃO MASSA REJUNTAMENTO PINTURA EPÓXI (1ª DEMÃO)	INSTALAÇÃO PORTAS INST. LOUÇAS E METAIS QUADROS E ACABAMENTOS ELÉTRICOS BARRAS DE APOIO PNE

Fonte: Adaptado de Tecverde (2020)

## 5.5 Etapas após a montagem dos módulos

### 5.5.1 Instalações gerais (INS)

Após a finalização da montagem dos módulos dentro do ambiente fabril, o primeiro serviço a ser iniciado foi a execução de todas as instalações do módulo. Este serviço abrange a instalação elétrica, hidrossanitária e de gases medicinais. Além disso, dentro dessa etapa foi realizada a execução da estrutura e instalações do shaft dos banheiros, interligação das instalações elétricas e hidrossanitárias do forro e das paredes, assim como seus respectivos testes. Nesta mesma etapa foi realizado o arremate da face externa da parede com placa cimentícia, além da instalação das pingadeiras nas janelas. Foi realizado a aplicação de verniz para a placa cimentícia e aplicação de produto para impermeabilização externa das esquadrias.

No interior dos módulos foi finalizado o arremate das paredes internas com chapas de OSB no shaft e a instalação dos kits de elétrica e hidráulico previamente produzidos na fábrica. Tais kits são produzidos em uma estação específica do ambiente fabril com elementos necessários para as interligações no módulo, como o que ocorre com os kits elétricos, os quais são comumente denominados pelos colaboradores de “polvo elétrico”, onde suas pernas possuem o comprimento de eletroduto e de fiação necessários para a ligação com as caixas de passagem já presentes nos painéis.

Conforme mostra a figura 31, as paredes produzidas na fábrica já continham as caixas de passagem de elétrica, portanto, era necessário somente realizar a ligação dos eletrodutos e fiação do forro com as instalações da parede, da mesma

forma com as instalações hidrossanitárias. De acordo com os colaboradores participantes do projeto um dos principais desafios da etapa em questão foi a execução da instalação dos gases medicinais, os quais são imprescindíveis para o adequado funcionamento das dependências do hospital. Neste caso, foi necessário instalar três redes de tubulação de cobre responsáveis pelo abastecimento de gás carbônico, oxigênio e vácuo, que foram embutidas no teto e nas paredes. Além disso, ainda havia as tubulações de água pluvial, drenagem de ar-condicionado e de água quente.

**Figura 31 – Execução da instalação elétrica no módulo**



**Fonte: Tecverde (2020)**

Assim como ilustra a figura 32, em paredes onde é necessário realizar as conexões de prumadas, foram deixadas esperas em locais pré-definidos em projeto e janelas de acesso para realizar o encaixe das tubulações sem a necessidade de danificar a parede no canteiro de obra.

**Figura 32 – Janela de acesso para ligação de tubulações no canteiro de obra**



**Fonte: Tecverde (2020)**

### 5.5.2 Chapeamento de gesso (GES)

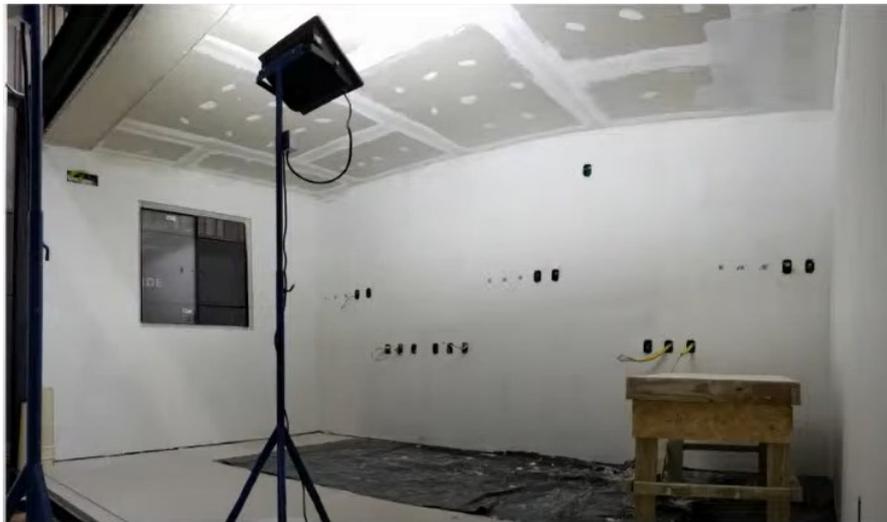
Após a finalização das instalações do módulo, foi realizado o chapeamento das paredes internas com gesso acartonado. No caso do banheiro, com a estrutura do shaft pronta, foi realizado o chapeamento com gesso resistente á umidade e o chapeamento do forro. Nesta mesma etapa foi realizado o tratamento de juntas do banheiro, o qual não era necessário ser realizado em duas demãos por conta do revestimento cerâmico que seria instalado na próxima etapa. Vale ressaltar que apenas após a finalização da interligação das instalações da parede e do forro que era possível finalizar o chapeamento do forro. Antes de finalizar o chapeamento, foi aplicado lã de vidro para auxiliar no isolamento termoacústico do sistema.

### 5.5.3 Tratamento de juntas (TJU)

Depois da finalização do fechamento em gesso acartonado na região interna do módulo, foi iniciado o tratamento das juntas geradas entre as placas de gesso instaladas. Para o correto desempenho e acabamento do sistema, foi realizado o tratamento em duas demãos, sendo respeitado adequadamente o tempo de cura da argamassa.

Além do tratamento das juntas, foi realizado nessa etapa a impermeabilização do banheiro, uma das etapas críticas do sistema construtivo em Light Wood Frame. A etapa consistia em aplicar o produto necessário para a adequada impermeabilização das paredes e do piso e era feito o teste de estanqueidade do sistema. Para se ter uma ideia, de acordo com o cronograma, eram necessárias 2 horas para realizar a etapa de impermeabilização do banheiro, entretanto demandava-se aproximadamente mais 6 horas para a cura do impermeabilizante e para realizar o teste de estanqueidade, respectivamente. Neste processo, também foi realizada a aplicação de selante acrílico nas janelas, de modo a evitar infiltrações entre o fechamento de gesso e o contramarco da esquadria.

**Figura 33 – Execução de tratamento de juntas do forro**



**Fonte: Tecverde (2020)**

#### 5.5.4 Revestimento Cerâmico (CER)

Após a realização da impermeabilização do banheiro, iniciou-se a aplicação do revestimento cerâmico de parede e de piso. O procedimento em questão assemelha-se muito ao utilizado nas obras convencionais, entretanto, deve-se estar atento para não danificar a impermeabilização do sistema. Vale ressaltar novamente a importância de respeitar o adequado tempo de cura da argamassa para adquirir seu devido desempenho e, como foi citado anteriormente, esta etapa foi a que demandou mais tempo por ser necessário aguardar o endurecimento da argamassa colante para iniciar o rejuntamento. Este processo foi realizado com rejunte epóxi, que possui alta

resistência química e mecânica, garantindo bom desempenho a movimentações, mofo e outros ataques químicos.

**Figura 34 – Execução do revestimento cerâmico do banheiro**



**Fonte: Tecverde (2020)**

#### 5.5.5 Execução de Pintura (PIN)

Durante a execução do revestimento cerâmico foi realizado também o início da etapa de pintura dos módulos. Antes da primeira demão de pintura, foi realizado a regularização e o lixamento da massa PVA, posteriormente foi aplicado a primeira demão de pintura acrílica para o forro e pintura epóxi para as paredes do ambiente.

A tinta epóxi, resumidamente, é um produto versátil e pode ser utilizado para diferentes ambientes e substratos, como pisos e paredes, sendo eles externos ou internos. A pintura epóxi é um revestimento de alto desempenho e devido a sua durabilidade e resistência a produtos químicos e substâncias, ela é utilizada em ambientes de grande fluxo de pessoas e em hospitais, pois não acumula bactérias,

fungos e outros parasitas. De acordo com os colaboradores da obra, para respeitar e otimizar o tempo de secagem da massa e da primeira demão de pintura, foram utilizados ventiladores industriais para acelerar o processo antes de seguir com as próximas etapas de acabamento. Nesse pacote de serviço também foi executado o rejuntamento do revestimento cerâmico com rejunte epóxi. Vale ressaltar que a segunda demão de pintura foi realizada após a montagem dos módulos no canteiro de obras.

**Figura 35 – Execução de emassamento das paredes internas**



**Fonte: Tecverde (2020)**

#### 5.5.6 Acabamentos e Instalação de Portas (POR)

Neste pacote de serviço foram executados os acabamentos finais dos módulos antes de serem preparados para a expedição. Nesta etapa foram executados a instalação de esquadrias, instalações para PNEs, acabamentos elétricos e instalação dos quadros de energia. Devido à complexidade das louças e acabamentos hidráulicos necessários para um banheiro de hospital, normalmente era necessário direcionar um colaborador para ficar dentro do banheiro realizando os acabamentos enquanto havia a instalação da esquadria de madeira. Devido ao processo que envolve a fixação da porta com espuma de poliuretano, era necessário manter a porta fechada para a secagem e endurecimento do produto.

**Figura 36 – Instalação das esquadrias de madeira**



Fonte: Tecverde (2020)

Após a execução de todos os grupos de serviço era feito o carregamento do módulo no caminhão para expedição. Para otimizar os processos no canteiro de obra a empresa realizou kits de materiais necessários para serem instalados no local, contando com louças, acabamentos elétricos e outros materiais que poderiam ser danificados durante o caminho.

**Figura 37 – Mobilização do módulo e kits para expedição**



Fonte: Tecverde (2020)

A empresa elaborava também kits elétricos com eletrodutos já dotados de fiação, sendo necessário somente realizar a passagem dos eletrodutos dentro do sistema modular para a ligação das prumadas e alimentação elétrica. Por fim, o módulo era expedido para sua devida destinação. Uma das desvantagens do transporte desse tipo de carga é o alto carregamento de “ar”, entretanto levar um produto praticamente acabado para o canteiro de obra reduz as incertezas no canteiro de obra e otimiza os processos no canteiro de obra.

**Figura 38 – Transporte dos módulos até o canteiro de obra**



Fonte: Brasil ao Cubo (2020, online)

## **5.6 Acoplagem e finalização dos módulos no canteiro de obra**

Após a entrega dos acabamentos em fábrica, os 44 módulos que compõem os 100 leitos hospitalares percorreram mais de 400 quilômetros para chegar a cidade de São Paulo. A acoplagem dos módulos e finalização da obra no canteiro foi realizada pela empresa parceira Tecverde. No escopo da companhia estavam, além da produção dos chassis metálicos, constavam também os serviços preliminares no canteiro de obra, infraestrutura, interligação das instalações vindas de fábrica, acabamentos finais e de fachada e a finalização da montagem da estrutura anexa aos módulos montados em Araucária.

**Figura 39 – Içamento dos módulos acabados em canteiro de obra**



**Fonte: Brasil ao Cubo (2020, online)**

A acoplagem dos módulos era realizada com içamento por meio de guindaste e sua fixação era feita com a utilização de ligações com solda e parafusos. Na figura 38, é possível observar como era feita a fixação do módulo na fundação.

**Figura 40 – Fixação do módulo na fundação**



**Fonte: Tecverde (2020)**

Após a fixação dos módulos era realizada a interligação das instalações elétrica hidrossanitárias e de tubulações de cobre. Além disso, foi finalizado os acabamentos

finais, como a instalação do revestimento de piso vinílico próprio para hospitais, segunda demão de pintura e a instalação de ar condicionado e fachada externa.

**Figura 41 – Instalação dos condensadores no canteiro de obra**



**Fonte: Tecverde (2020)**

**Figura 42 – Instalação e arremate de fachada externa**



**Fonte: Brasil ao Cubo (2020, online)**

Ao final do projeto, o qual possuía um período de 40 dias para ser entregue, foi realizado em apenas 33 dias e foi o pioneiro dos próximos leitos que foram produzidos

em tempo recorde e com a qualidade, desempenho e velocidade que a construção industrializada e modular oferece.

**Figura 43 – Acabamento interno do hospital finalizado**



**Fonte: Brasil ao Cubo (2020, online)**

Atualmente, após o controle da pandemia do Covid-19 o hospital ainda continua em funcionamento, oferecendo suporte à população da região e, assim como os outros hospitais realizados durante esse projeto, tornou-se o exemplo da construção industrializada, mista e modular no Brasil.

**Figura 44 – Fachada do hospital M'Boi Mirim finalizada**



**Fonte: Brasil ao Cubo (2020, online)**

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante os últimos anos o mundo pode vivenciar a maior pandemia dos últimos tempos por conta da proliferação do Covid-19 e suas variantes, as quais ainda causam letalidades no mundo mesmo com o maior controle do vírus por parte dos esforços da sociedade. Por conta dessas incidências, é possível perceber a fragilidade da população, principalmente de classe mais vulnerável, perante a desastres naturais e crises sanitárias. Com base nessa premissa, o sistema construtivo industrializado pode ser uma excelente alternativa para dar suporte à população em situações emergenciais, pois uma de suas principais características é conceber edificações em tempo inferior à construção convencional.

O setor da construção civil tem enfrentado diversos obstáculos para trazer à população uma moradia de qualidade a baixíssimos custos. Sob esse enfoque, diversas empresas têm buscado alternativas para fazer mais com menos e uma delas foi diminuir o protagonismo do canteiro de obra e levar a construção civil ao ambiente fabril. A industrialização da construção civil tem se tornado cada vez mais presente no setor, trazendo à obra a redução de desperdícios, sustentabilidade e redução de prazos. Entretanto, ainda há alguns obstáculos a serem percorridos, como o baixo incentivo à inovação, excesso de burocracia e complexidade no transporte dos elementos pré-fabricados. Mesmo assim, o setor tem ganhado espaço no mercado e tem atraído novos profissionais e fornecedores com o passar dos anos.

O sistema construtivo em Light Wood Frame tem se mostrado como uma possível solução para trazer qualidade para as edificações brasileiras. Além disso, com o desenvolvimento desse sistema construtivo já consolidado no Hemisfério Norte, o Light Wood Frame se devidamente inserido em um país com vastas florestas, tem o potencial de se tornar uma alternativa eficiente para se construir com qualidade e sustentabilidade no Brasil. Atualmente já é possível encontrar em diversos lugares do país edificações construídas com madeira engenheirada e, com o auxílio da industrialização, o sistema pode ser utilizado para gerar edificações em prazo reduzido e com desempenho satisfatório.

O Hospital M'Boi Mirim, construído em tempo recorde para dar suporte no combate ao Covid-19, enalteceu o grande potencial da construção *off-site* e tornou-se um dos exemplos da eficiência da industrialização e do Light Wood Frame no Brasil. Devido a necessidade de reduzir desperdícios e com a questão ambiental cada vez

mais em alta, a edificação estudada mostra as principais vantagens da industrialização da construção e como esse sistema pode ser uma alternativa para dar suporte à população mais vulnerável. Portanto, faz-se necessário o incentivo à entrada de novas tecnologias para o setor da construção civil brasileira, de modo a gerar maior competitividade no mercado, aquecimento da economia que envolve o setor e, conseqüentemente, gerando novos exemplos de edificações que possam auxiliar a sociedade ao enfrentar situações emergenciais e combater o déficit habitacional.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Manual da Construção Industrializada. Conceitos e Etapas: Estrutura e Vedação**, Vol. 1. Brasília-DF, 2015
- AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M.; GOLDEMBERG, José. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRASIL AO CUBO, **Expansão do Hospital M'Boi Mirim**. Disponível em: <https://brasilaocubo.com/portfolio/hospital-mboi-mirim> Acesso em: 01 mai. 2022
- CAEC UEM. **“Hospitais modulares para combate a Covid19”, por TecVerde - Palestra SAEC 3/3**. Youtube, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PTxQQJkGwws>. Acesso em: 01 abr. 2022
- CARDOSO, Larriê Andrey. **ESTUDO DO MÉTODO CONSTRUTIVO WOOD FRAMING PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL**. 2015. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- CMHC (2013). Canada Mortgage and Housing Corporation. **Wood-Frame House Construction**. Canada: CMHC.
- Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm) Acesso em: 12 jul. 2021.
- ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **O Wood Frame na produção de habitação social no Brasil**. 2017. 331 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.
- FDR. **Substituto do Minha Casa Minha Vida ganha APROVAÇÃO mesmo com 100 mil obras atrasadas**. 2020. Disponível em: <https://fdr.com.br/2020/12/07/substituto-do-minha-casa-minha-vida-ganha-aprovacao-mesmo-com-100-mil-obras-atrasadas/>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- FLORIM, Leila Chagas; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. **CONTRIBUIÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL: CARACTERÍSTICAS DE UM PROJETO HABITACIONAL ECOEFICIENTE**. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 5, n. 2, 2 jun. 2005.
- FONSECA, Diego Santos. **AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS EM CANTEIROS DE OBRAS EM SALVADOR**. 2011. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil 2016-2019**. Estatística e Informações, nº 6, Belo Horizonte, 2020.

GIBB, A.; PENDLEBURY, M. **Glossary of terms, buildoffsites: Promoting construction offsite**. UK, Retrieved June, v. 4, 2006

GONÇALVES, Robson R. **O Déficit habitacional brasileiro: um mapeamento por unidades da federação e por níveis de renda domiciliar**. Texto para discussão no 559, Rio de Janeiro, RJ:IPEA, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Estimativas do déficit habitacional brasileiro (2007-2011) por municípios (2010). **Nota técnica**, nº 1, Brasília, 2013.

INSTITUTO FALCÃO BAUER DE QUALIDADE. **DATEC N° 020-D: Sistema estruturado em peças leves de madeira maciça serrada – Tecverde (tipo light wood framing)**. Araucária, 2020.

KOHLER, Niklaus. **The relevance of Green Building Challenge: an observer's perspective**. Building Research & Information nº 27 pp. 309 - 320, Routledge, 1999.

LAWSON, Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. CRC Press, 2014.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha *et al.* **A Teoria do Equilíbrio: alternativas para a sustentabilidade na construção civil**. Florianópolis: Dioesc, 2012.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; TELLI, Francielli Hang; FERROLI, Paulo Cesar Machado. **Habitação de Interesse Social (HIS): alternativas para oferta de residências de caráter emergencial sob a ótica da sustentabilidade**. IV ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 2016, Florianópolis. UFSC, 2016.

MOLINA, Julio Cesar; CALIL JUNIOR, Carlito. Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, dez. 2010.

OLIVEIRA, Felipe Abragio de. **Organizações Inovadoras Sustentáveis: Um estudo de caso no setor da construção civil**. 2015. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração de Empresas, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.

PINHEIRO, Manuel Duarte. **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – MITO OU REALIDADE?** VII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DO AMBIENTE. 2003, Lisboa.

REVISTA USE, **Primeiro edifício off-site volumétrico da América Latina.**

Disponível em: <http://www.revistause.com.br/primeiro-edificio-off-site-volumetrico-na-america-latina/> Acesso em: 25 abr. 2022

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **SINAT N° 005 – REVISÃO 02:** Sistemas construtivos estruturados em peças leves de madeira maciça serrada, com fechamentos em chapas (Sistemas leves tipo “Light Wood Framing”). Brasília: Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Habitação - SNH, 2017.

TECVERDE ENGENHARIA S/A (Curitiba). **PANORAMA DO CONSTRUTIVO**

**TECVERDE.** 2016. Disponível em: <https://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Panorama-do-Sistema-Construtivo-Tecverde-2016.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2021.

TECVERDE. **Tecverde constrói hospital permanente em 40 dias.** 2020.

Disponível em: <https://www.tecverde.com.br/2020/03/25/tecverde-constroi-hospital-permanente-em-40-dias/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

VASCONCELOS, Caio Felipe Nunes. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR COM UNIDADES TRIDIMENSIONAIS PARA AS HABITAÇÕES NO BRASIL.** 2018. 75 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). **Sustentabilidade. Da teoria à prática:**

Disponível em: [https://www.wwf.org.br/participe/porque\\_participar/sustentabilidade/](https://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/). Acesso em: 15 ago. 2021.