

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FERNANDO DOS SANTOS NERES DA CRUZ**

**USO DE ADUELAS PARA CONSTRUÇÃO DE RESIDENCIAS UNIFAMILIARES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2021**

FERNANDO DOS SANTOS NERES DA CRUZ

## **USO DE ADUELAS PARA CONSTRUÇÃO DE RESIDENCIAS UNIFAMILIARES**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de TCC II, do curso de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr. Cleovir Milani

PATO BRANCO  
2021

**TERMO DE APROVAÇÃO****TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC****USO DE ADUELAS PARA CONSTRUÇÃO DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES**

Por

FERNANDO DOS SANTOS NERES DA CRUZ

Monografia apresentada 17 de agosto de 2021, às 13h00min, no Campus PATO BRANCO da UTFPR, como requisito parcial, para conclusão do Curso de ENGENHARIA CIVIL da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Msc. JOSÉ VALTER MONTEIRO LARCHER	Membro
Profª. Msc. RAYANA CAROLINA CONTERNO	Membro
Prof. Dr. CLEOVIR MILANI	Orientador
Profª. Drª. ELIZÂNGELA MARCELO SILIPRANDI	Professor(a) responsável TCCII



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **CLEOVIR JOSE MILANI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 17/08/2021, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **RAYANA CAROLINA CONTERNO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em (at) 17/08/2021, às 15:03, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **ELIZANGELA MARCELO SILIPRANDI, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 19/08/2021, às 07:38, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por (Document electronically signed by) **JOSE VALTER MONTEIRO LARCHER, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em (at) 19/08/2021, às 08:24, conforme horário oficial de Brasília (according to official Brasilia-Brazil time), com fundamento no (with legal based on) art. 4º, § 3º, do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site (The authenticity of this document can be checked on the website) [https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.utfpr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador (informing the verification code) **2183905** e o código CRC (and the CRC code) **68A73A39**.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Natalino Lidmar Neres da Cruz e Tania Aparecida dos Santos por me darem a vida. Por orientar, educar e estarem ao meu lado em todos os momentos especiais, tanto nas vitórias quanto nos aprendizados.

Ao meu irmão Vinicius dos Santos Neres da Cruz pelo apoio e confiança, pela ajuda em meu processo de aprendizagem durante todos os anos de vida e pelo companheirismo em cada momento.

A minha noiva, Camila Giachini, no qual faz parte das maiores e melhores conquistas, sendo meu suporte e minha confidente. Dedico não somente este trabalho, mas cada conquista a você e ao nosso filho Joaquim Giachini Neres da Cruz que está por vir nos próximos dias.

Aos meus sogros, Gilvane Toaldo Giachini e Edson Giachini, não somente por me permitirem conhecer Camila, mas por serem como meus Pais e amigos, ajudando inúmeras vezes, para que hoje pudesse concluir mais esta conquista.

Por fim, dedico este trabalho aos meus amigos e colegas de turma, Fernando Faoro, por me apoiar e incentivar a cursar Engenharia Civil e por ser meu colega e amigo por todos estes anos, a Juneor Osokoski Sachet pelo apoio e conhecimento repassado, além de ser amigo que incentivou e ajudou a conquistar esta jornada. E falando em ajuda, agradeço a Felipe Eduardo Meretika, não somente pelo apoio, conhecimento e incentivo, mas pela ajuda diária com diversos favores, como caronas até a Universidade.

São muitas as pessoas nos quais dedico este trabalho. Seria impossível citar todas as pessoas nos quais fazem parte desta jornada. Por tanto, estendo a dedicatória a todos os amigos, professores e colegas que de alguma forma fizeram parte deste trajeto.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha noiva Camila Giachini, no qual é meu braço direito a mais de onze anos, inspirando e dando todo o apoio em todos os momentos, como este.

Ao meu irmão Vinicius dos Santos Neres da Cruz, que junto a Camila Giachini, me inspiraram através de uma conversa a buscar uma nova solução construtiva para implementar em uma cabana.

A minha professora, Elizangela Marcelo Siliprandi, no qual ministrou a matéria de Trabalho de Conclusão de Curso, passando todo o conhecimento técnico para a construção deste trabalho. Além disso, pelo tempo despendido nas leituras e correções do mesmo.

Ao meu professor orientador, Cleovir José Milani pelo conhecimento teórico e prático repassado. Pelo apoio e incentivo a dar sequência ao assunto proposto. Além do apoio, agradeço as conversas, orientações e acompanhamentos.

Aos professores da banca, José Valter Monteiro Larcher e Rayana Carolina Conterno por aceitarem o convite e se dedicarem a ajudar na construção, através de feedbacks e orientações para alcançar o resultado final.

## EPÍGRAFE

*“O futuro é o passado em construção.”*

(Sihan Felix)

## RESUMO

CRUZ, Fernando dos Santos Neres da. **Uso de aduelas para construção de residências unifamiliares**, 2021. 63 pg. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2021.

A construção civil tem apresentado grande crescimento nas últimas décadas, relacionado com a necessidade de moradia por conta do aumento populacional. No entanto, este setor apresenta um caráter heterogêneo em sua produção. De um lado tem-se a existência de grandes obras marcadas por um índice de produtividade elevado e um maior controle de desperdícios. Por outro, obras de pequeno porte, executadas artesanalmente. A partir desta análise, o trabalho apresenta como solução construtiva para residências o uso de elementos modulares tridimensionais de concreto armado, desenvolvidas a partir da inspiração advinda das galerias de concreto pluviais. Através de projetos arquitetônicos e análises de soluções para as disciplinas de estrutura, elétrica e hidrossanitário, com a finalidade de demonstrar o potencial construtivo de tal método e elucidar o processo de fabricação em linha de montagem, transporte e instalação no canteiro de obras.

**Palavras-chave:** Controle de qualidade. Fabricação. Produtividade. Agilidade.

## **ABSTRACT**

CRUZ, Fernando dos Santos Neres da. **Use of staves for the construction of single-family houses**, 2021. 63 pg. Civil Engineering Undergraduate Thesis (Bachelor Degree) – Academic Department of Building Construction, Federal Technological University of Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2021.

Civil construction has suffered from a great growth in the last decades, related to the need for housing due to the population increase. However, this sector presents a heterogeneous character in its production. On one hand, there are large construction sites marked by a high productivity index and greater control over waste. On the other hand, there are small-scale projects, executed by handcraft. Based on this analysis, this paper presents as a constructive solution for residences the use of three-dimensional modular elements of reinforced concrete, developed from the inspiration coming from the concrete rainwater galleries. Through architectural projects and analysis of solutions for the disciplines of structure, electrical and plumbing, with the purpose of demonstrating the constructive potential of such method and elucidate the process of manufacturing in assembly line, transport and installation at the construction site.

**KEY WORDS:** Quality control. Manufacturing. Productivity. Agility.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tropas britânicas construindo cabanas de Nissen.....	19
Figura 2: Cabana de Nissen construída na Primeira Guerra Mundial .....	19
Figura 3: Módulos de concreto pré-fabricado de François Hennebique .....	20
Figura 4: Hotel Nakakin Capsule Tower.....	21
Figura 5: Protótipo de habitação modular, Oscar Niemeyer, 1962.....	22
Figura 6: Elementos 2D e 3D .....	26
Figura 7: Aduela de seção transversal fechada .....	29
Figura 8: galerias de concreto armado pré-moldadas .....	30
Figura 9: Concepção do módulo .....	31
Figura 10: Isométrico expandido .....	31
Figura 11: Isométrico estrutural.....	32
Figura 12: Instalações de água fria e água quente .....	33
Figura 13: Kits Parede Hidráulica.....	33
Figura 14: Instalações elétricas em steel frame Fonte: Cichinelli, 2012.....	34
Figura 15: Isométrico elétrico e hidrossanitário .....	35
Figura 16: Etapas envolvidas na execução de pré-moldados os de fábrica.....	37
Figura 17: Central de concreto Fonte: Welter Holzberger (2021).....	38
Figura 18: Central de armação.....	38
Figura 19: Pista de produção Fonte: Welter Holzberger, 2021. ....	39
Figura 20: Área de estoque Fonte: Copel Construções, 2021.....	39
Figura 21: Layout de fábrica de lajes alveolares Fonte: Welter Holzberger, 2021. ...	40
Figura 22: Ciclo de execução com fôrmas móveis Fonte: El Bebs, 2000.....	41
Figura 23: Exemplo de execução de painéis com fôrma móvel .....	41
Figura 24: Estoque de peças pré-fabricadas Fonte: Going GREEN Brasil, 2020.....	42
Figura 25: Uma linha de produção na fábrica BLOX perto de Birmingham, AL .....	43
Figura 26: Pré-fabricando componentes hospitalares padrão menores .....	43
Figura 27: Montagem de componentes das instalações médicas .....	44
Figura 28: dimensões de carrocerias Fonte: El Debs, 2000.....	45
Figura 29: Dimensões máximas permitidas (resolução 210/06).....	46
Figura 30: Pesos máximos permitidos (resolução 210/06).....	46
Figura 31: Manuseio de módulo de concreto Fonte: Paulo Oliveira, 2019. ....	47
Figura 32: Altura de elevação Fonte: Catálogo Liebherr LTM 1025, 2021. ....	48

Figura 33 - Conexão tipo emenda Fonte: Catálogo Trejor, 2017. ....	49
Figura 34: Grauteamento das emendas.....	49
Figura 35: Aplicação de argila expansiva sobre laje .....	50
Figura 36: Planta humanizada da Cabana de Campo.....	52
Figura 37: Imagem renderizada da Cabana de Campo .....	53
Figura 38: Detalhamento das camadas da cobertura.....	53
Figura 39: Planta humanizada da One House.....	54
Figura 40: Imagem renderizada da One House .....	55
Figura 41: Planta humanizada da Two House.....	56
Figura 42: Imagem renderizada da Two House .....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Etapas da construção modular .....	27
--	----

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1.	OBJETIVOS .....	14
1.1.1.	OBJETIVO GERAL .....	14
1.1.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO .....	14
1.2.	JUSTIFICATIVA .....	15
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1.	CONFIGURAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL .....	17
2.2.	HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO MODULAR NO EXTERIOR .....	18
2.3.	HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO MODULAR NO BRASIL .....	21
2.4.	CONTEXTO GERAL .....	22
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>24</b>
3.1.	ABORDAGEM DA PESQUISA.....	24
3.2.	MÉTODO .....	25
<b>4.</b>	<b>CONSTRUÇÃO MODULAR .....</b>	<b>26</b>
4.1.	SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM BASE EM ADUELAS .....	29
4.1.1.	Concepção estrutural .....	29
4.2.	SERVIÇOS COMPLEMENTARES.....	32
4.2.1.	Instalações Hidrossanitárias .....	32
4.2.2.	Instalações Elétricas .....	34
4.3.	SISTEMA DE FABRICAÇÃO .....	35
4.4.	ANÁLISE DO PROCESSO DE EXECUÇÃO .....	44
4.4.1.	Preparação do terreno .....	44
4.4.2.	Transporte e manuseio .....	45
4.4.3.	Montagem e Instalação .....	48
4.5.	PROJETOS ARQUITETÔNICOS.....	51
4.5.1.	Modelo 01 – Cabana de Campo .....	52
4.5.2.	Modelo 02 – One House .....	54
4.5.3.	Modelo 03 – Two House .....	55
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor da construção civil apresenta um caráter heterogêneo em sua produção. De um lado tem-se a existência de grandes obras marcadas por um índice de produtividade elevado e um maior controle de desperdícios. Por outro, obras de pequeno porte, executadas artesanalmente. Este modelo de construção artesanal que se fez necessário para a sobrevivência, caracterizado pelo alto crescimento populacional e baixo investimento financeiro, é considerado geralmente, de baixa qualidade, produtividade e com grandes desperdícios e geração de resíduos, os quais impactam diretamente ao meio ambiente através da contaminação de solos e águas e na proliferação de agentes infecciosos.

Segundo Construct (2016), o combate relacionado ao desperdício na construção civil ainda é desafiador, a partir de um estudo realizado apontou que em média gasta-se 8% a mais de material devido as perdas, tanto na própria edificação quanto em entulho. “Em alguns tipos de materiais, o problema é ainda maior. O desperdício de massa fina pode chegar a 80% e o de tintas e tijolos, a mais de 25%.” (CONSTRUCT, 2016).

O rejeito provindo de construção e demolição representa em média cerca de 50% de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Este entulho tende a ser produzido durante as construções através de falhas ou omissões durante a execução, além de perdas durante o transporte, armazenamento e má utilização da mão de obra (CONSTRUCT, 2016).

Deve-se analisar que os recursos financeiros, materiais e humanos são limitantes, desta forma para se ter a melhora nestes aspectos é preciso ter domínio das particularidades, sejam elas, conhecimento perante aos materiais adotados, formas de aplicação, enfim, soluções que podem ser obtidas através de processos que possam ser gerenciados, agregando assim maior qualidade ao produto final (FERREIRA, 2016, p.13).

Pode-se dizer que o sistema de construção industrializado vem de encontro com as análises expostas, visto que em sua justificativa, este modelo de sistema visa transformar o canteiro de obras em um método de montagem, isso se torna possível diante do acesso a tecnologias, como programas mais eficazes que

tem em sua justificativa a gestão e visualização global de projetos/obras, mecanização dos processos construtivos e diversificação de materiais.

Como Din (2015) explica, a construção industrializada ocupa grande parte das obras no país, preferencialmente em obras onde há a preocupação com os prazos de execução, uma vez que existe a tendência de que este modelo reduza o prazo executivo em 1/5 comparado a construção convencional, justamente por ser produzida por elementos já fabricados previamente, ou seja, os pré-fabricados (apud MACÊDO, 2016, p.16).

Desta forma, este trabalho aborda um estudo baseado no sistema de construção industrializado com o uso de peças pré-fabricadas no formato de galerias de concreto, também conhecidas como aduelas, com o intuito de tornar o processo de construção de residências mais seguro, rápido e com um baixo índice de desperdício.

Afim de atender os objetivos propostos neste trabalho, ele está organizado da seguinte forma: o primeiro capítulo com introdução, objetivo e justificativa; o segundo capítulo apresentando um levantamento bibliográfico acerca do assunto cerceando a industrialização da construção civil e os processos de pré-fabricação; na sequência a metodologia e apresentação do estudo e por fim os resultados bem como as análises dos mesmos finalizando com as considerações finais.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é estudar a implementação de estruturas pré-fabricadas, inspiradas em aduelas de concreto no uso de residências modulares, visando o processo de industrialização da construção.

### 1.1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Projetar modelos arquitetônicos de residências modulares com o uso de aduelas que se adequem em diferentes terrenos e climas;
- Conceber estrutura de aduelas de concreto armado, baseado na construção convencional de vigas, pilares e lajes.

- Estudar opções para compatibilizar os modelos, buscando solução para conexões hidráulicas e elétricas e impermeabilização das juntas de ligação das peças.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A construção civil tem apresentado grande crescimento nas últimas décadas, relacionado com a necessidade de moradia por conta do aumento populacional. Dados ofertados pela Fundação João Pinheiro 2021, relata que no ano de 2019 registrou um déficit habitacional de 5,876 milhões de moradias, indicador este que inclui informações referentes a domicílios precários, coabitação e domicílios com alto custo de aluguel, sendo 1.482.585 referente a habitação precária e 1.358.374 em coabitação. Outro dado interessante apresentado pelo Habitat Brasil 2021, relata que mais de 6,35 milhões de famílias, ou seja, mais de 30 milhões de pessoas, não possuem casa para morar.

Porém, com o modelo atual de construção, considerado muitas vezes, de baixa qualidade e produtividade, alinhando aos números apresentados pela Fundação João Pinheiro e Habitat Brasil, tornam-se necessários estudos que visem a busca por novas técnicas e métodos, ou seja, tem-se a necessidade de viabilizar esta metodologia, racional, ágil e de qualidade, para habitações de cunho residencial e de pequeno porte.

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), em seu Manual da Construção Industrializada (2015, p. 15), cita:

A construção executada com processo convencional, ainda largamente utilizada no Brasil, frequentemente é marcada por processos com altos custos, baixo nível de planejamento, baixa qualificação do trabalhador, altos índices de desperdícios, baixa qualidade e incidências de manifestações patológicas e baixo desempenho ambiental.

Desta forma, este trabalho busca desenvolver um modelo de construção através de peças pré-fabricadas, com o intuito de buscar os benefícios atrelados a este método como, agilidade de construção, controle rigoroso na dosagem de materiais, assegurando a sua qualidade através de normativas e testes, controle e acompanhamento do processo de cura, além de outros pontos como, aumento de produtividade e organização no canteiro, maior sustentabilidade, previsibilidade de

custos, compatibilidade, redução de prazos e controle de custos. O Manual da Construção Industrializada (ABDI, 2015, p.25) ainda cita:

A adoção de soluções industrializadas possibilita a obtenção de economias de escala na produção, contribuindo para a redução de custos produtivos e o aumento da produtividade. Há evidências indicando uma relação consistente entre industrialização, aumento da produtividade e crescimento econômico (ABDI, 2015, P.15).

Na busca pela efetivação destes benefícios, vinculados ao sistema de pré-fabricação, percebeu-se a necessidade de entrelaçá-los ao sistema modular de montagem, através de modulações individuais, os quais são produzidos em espaço fabril e transportados até o canteiro.

Para isso os estudos foram inspirados em aduelas de concreto, as quais geralmente são utilizadas para sistemas de drenagem, com o intuito de atender as necessidades de sustentabilidade, custo, produtividade e segurança, adequando-as para a utilização na construção civil com o uso residencial.

Deste modo, estas peças pré-fabricadas no modelo de aduelas devem substituir o modelo convencional de construção, através de alvenarias, contrapisos e lajes, o que pode vir a permitir uma linha de montagem com maior controle de qualidade, menores perdas de materiais e maior agilidade.

O trabalho torna-se viável uma vez que existe disponível o conhecimento e softwares na versão estudantil, para o desenvolvimento do projeto específico e as normas inerentes ao projeto estrutural das peças que serão desenvolvidas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. CONFIGURAÇÃO DO PROCESSO INDUSTRIAL

No início do século XX, Frederick W. Taylor, o qual trabalhou como operário e engenheiro em indústrias nos Estados Unidos, desenvolveu o conceito de Taylorismo, onde através de observações feitas em trabalhadores, pode analisar que existiam ritmos e padronizações nos processos de trabalho dos operários mais experientes, além de notar que os mesmos concentravam conhecimentos referentes ao processo e eram responsáveis pela transmissão aos “novatos”. Algumas destas análises lhe fizeram perceber que o sistema existente era responsável pela redução dos lucros e ritmo lento de produção (PINTO, 2021).

Diante disso, o conceito de Taylorismo, também conhecido como Administração Científica, pelo fato de apresentar uma nova organização do trabalho, especialização dos operários e função de gerência, foi baseado em estudos que visavam a alta produtividade, através de métodos científicos baseados na racionalização da produção, ou seja, economia de mão de obra, redução de custos e energias, também ligados à “energia” necessária para a realização de tarefas (SOUSA, 2019).

Henry Ford, em 1913, trouxe à tona um modelo de produção industrial, conceito que apresentava um modo de produção em massa, inserindo assim, o primeiro modelo de linha de montagem automatizada, através da construção de uma esteira rolante que movimentava o produto fabricado, porém com grandes volumes de materiais em estoque. Ainda referente ao conceito de Fordismo, tem-se a padronização dos produtos fabricados, o que trouxe as indústrias automobilísticas da época, alta produtividade, menor tempo de produção e baixo custo (MATIAS, 2021).

De outro lado, no Japão, surgiu o método Toyotismo, ou acumulação flexível, onde após análises e visitas feitas as empresas que passaram a seguir as demarcações dos sistemas anteriores (taylorismo e fordismo), assumiram algumas alterações necessárias as suas premissas, para a então aplicação dos sistemas de acordo com as características, físicas, territoriais e econômicas no país.

O método Toyotismo, foi elaborado com o intuito de recuperar as indústrias japonesas de um período de pós-guerra. O país encontrava-se destruído,

com pequeno mercado atuante e dificuldades na importação de matérias primas para a confecção de seus produtos.

Baseado em fornecer maior qualidade, menor custo, menor espaço de tempo para fabricação e eliminação de desperdícios, esta metodologia também mostrou para o mundo a necessidade de obter avanços tecnológicos nos meios de transporte e comunicação, os quais resultaram para a época em maior rapidez e pontualidade do fluxo das mercadorias e possibilidade de flexibilização/diversificação dos produtos (BEZERRA, 2021, p. 1).

## 2.2. HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO MODULAR NO EXTERIOR

Apesar dos primeiros traços da pré-fabricação serem datados do início do século XVII, foi a partir do século XX, durante a Revolução Industrial e a necessidade global de reconstruir as cidades durante e após as Grandes Guerras, que a ideia ganhou maior força. Este período foi caracterizado com um grande desenvolvimento tecnológico, que teve seu início na Inglaterra na segunda metade do século XVIII. Momento este, marcado por lutas sociais, bem como as inovações tecnológicas no processo de produção decorrentes dessa luta, nos quais levaram à ampliação das empresas e a uma concentração maior de trabalhadores nos locais de trabalho, marcando o início da grande indústria, a partir de meados do século XIX (PINTO, 2021).

Horta (2021) fala que no Reino Unido, durante o pós-guerra, o programa habitacional colaborou com o surgimento das cabanas Nissen, em 1917. Criada pelo capitão engenheiro Peter Norman Nissen, as cabanas eram baseadas em uma estrutura pré-fabricada semi cilíndrica de aço corrugado, como mostra a figura 1 e figura 2.



**Figura 1 - Tropas britânicas construindo cabanas de Nissen**  
**Fonte: Horta, 2021.**



**Figura 2: Cabana de Nissen construída na Primeira Guerra Mundial**  
**Fonte: Horta, 2021.**

Através do conceito Nissen, foi desenvolvido nos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial, a *Quonset hut* de 1944. Segundo Horta (2021), a expansão territorial e a conclusão das estradas de ferro americanas proporcionaram a prática das “casas de catálogo” e as “casas portáteis” encomendadas por correio.

Uma grande fornecedora das casas de catálogo foi a *Aladdin Company*, fundada em 1906 como *North American Construction Company*.

Horta (2021), comenta que na França, em meados de 1919, quando o País passa a usar o parque industrial para suprir a carência pela construção de novas habitações, Gabriel Voisin, que fornecia aviões durante a Primeira Guerra Mundial passa a usar sua fábrica de automóveis para construir casas modulares e pré-fabricadas. Anos antes, em 1896, François Hennebique já havia desenvolvido um experimento neste campo: uma cabine de concreto para implantação nas ferrovias francesas, como mostra a figura 3.



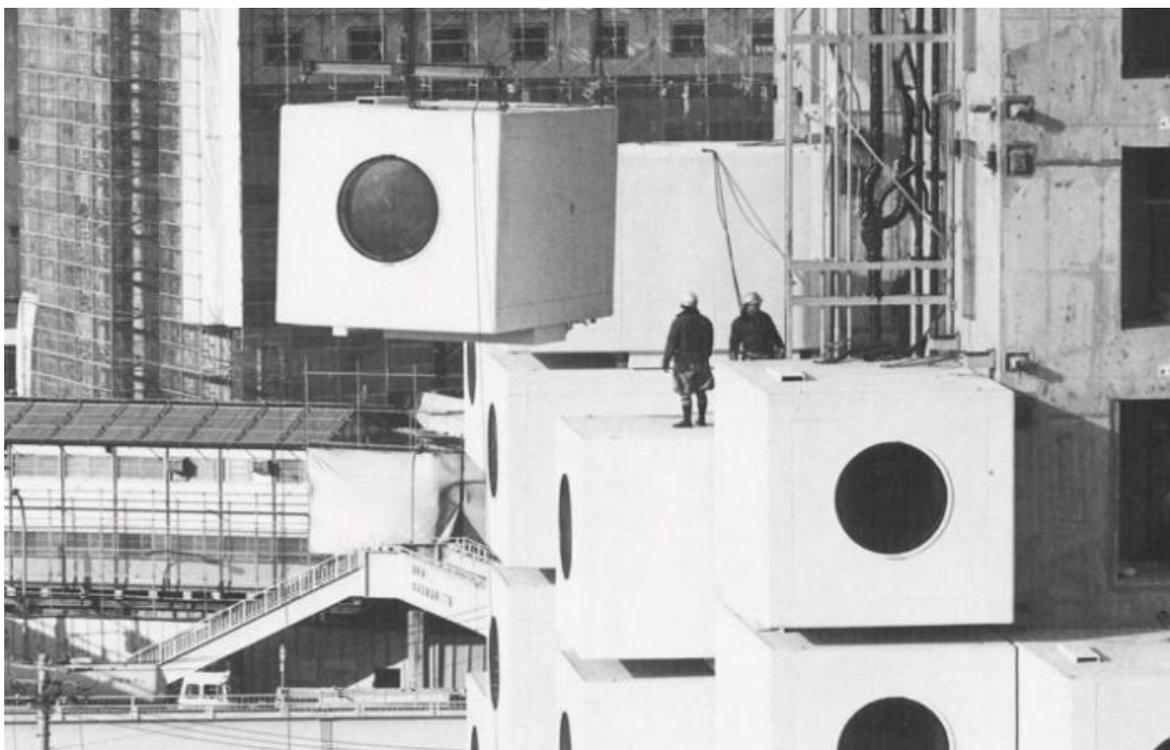
**Figura 3: Módulos de concreto pré-fabricado de François Hennebique**  
Fonte: Horta, 2021.

Diante da busca pela melhora na Indústria da Construção Civil e seu processo construtivo como um todo, iniciaram-se estudos que visam a modernização deste setor, através da adoção de novas tecnologias, outros métodos como análises de situações administrativas, também foram necessárias para o avanço deste sistema. Desta forma a ligação entre o conceito de Fordismo, Taylorismo e Toyotismo, ou seja, características adotadas nos processos industriais se fizeram necessários, para a então aplicação na construção.

A pré-fabricação japonesa surge da necessidade de construções habitacionais pós Segunda Guerra Mundial, adotando com o passar da história as

tecnologias e processos que vão sendo elaboradas por pessoas como Sakichi Toyoda. A fabricante de automóveis *Toyota Motors* entra no mercado imobiliário em 1975 e baseia sua produção em estratégias adotadas da indústria automotiva. O governo japonês também tem papel importante na história, pois promoveu melhorias e incentivos na indústria criando ministérios e associações com a finalidade de desenvolver a construção industrializada.

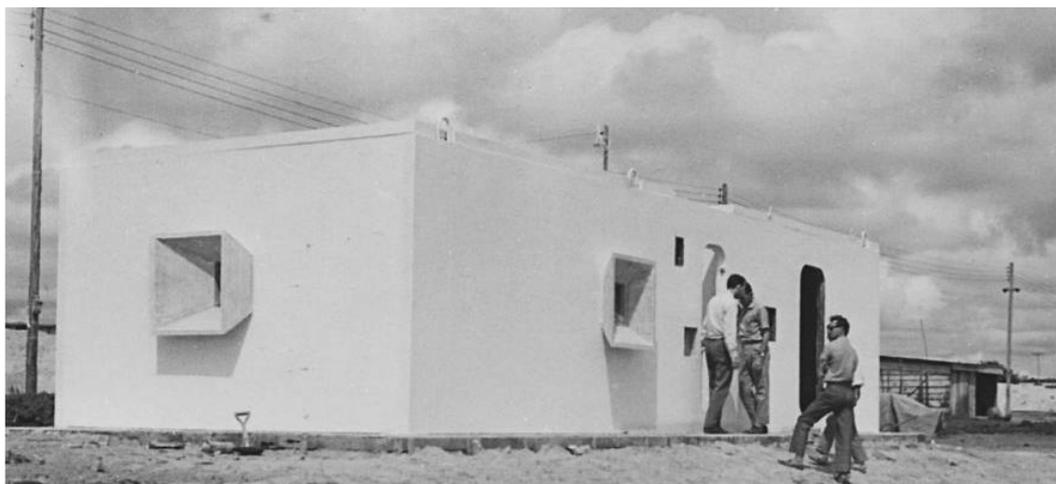
Um importante exemplo da construção industrial japonesa é o projeto *Nakagin Capsule Tower* de 1972. Este projeto foi originalmente projetado para ser um hotel de trabalhadores noturnos, baseado em módulos que poderiam ser conectadas, removidas e substituídas quando necessário, como verificado na figura 4:



**Figura 4: Hotel Nakakin Capsule Tower**  
**Fonte: Horta, 2021.**

### 2.3. HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO MODULAR NO BRASIL

No Brasil, no início do século XIX, a Revolução Industrial influenciou arquitetos como Oscar Niemeyer, no qual projetou em 1962 com seu assessor João Filgueiras Lima unidades empilháveis de habitação feitas de concreto, formando habitações individuais ou coletivas, como ilustra a figura 5.



**Figura 5: Protótipo de habitação modular, Oscar Niemeyer, 1962**  
**Fonte: Horta, 2021.**

## 2.4. CONTEXTO GERAL

Nesse contexto passa-se a falar sobre construção industrializada, baseado em garantir os benefícios de padronização, agilidade e redução de desperdícios. Este método busca transformar o canteiro de obras em uma linha de montagem. Para isso, o processo passa a ser desenvolvido ainda em fase projetual com maiores detalhamentos, devido ao fato de que grande parte das estruturas que serão utilizadas serão desenvolvidas em espaço fabril, para então serem encaminhadas ao local de execução da edificação (NAKAMURA, 2018, p. 1).

A construção industrializada está diretamente ligada aos conceitos de automação e tecnologia:

É o caso da Sondagem de Inovação, feita pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial com a FGV: das empresas ouvidas na pesquisa, o percentual que investe em inovação foi de 21,9% no primeiro trimestre de 2019 para 29,7% no terceiro trimestre do mesmo ano. Já o volume de negócios que diz ter inovado em produtos foi de 13,3% para 15,7%, respectivamente (CONSTRUÇÃO, 2020, p. 1).

A industrialização do processo de execução dos sistemas que compõe uma edificação requer algumas análises importantes dadas às etapas de detalhamento da geometria e das peças, para gerar competitividade financeira as estruturas devem manter os quesitos de padronização de modelagens, modularidades e quantidades de repetições. Diante disso é necessário que sejam previstos possíveis erros para que os mesmos não impliquem em perdas consideráveis.

Para possibilitar a aplicação deste sistema, utilizam-se atualmente modelos que são as chamadas estruturas pré-fabricadas e pré-moldadas, conforme NBR 9.062 (ABNT, 2017, p.4):

“3.8 Elemento pré-moldado: elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura, conforme especificações estabelecidas em 12.1.1;

3.9 Elemento pré-fabricado: elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadrem e estejam em conformidade com as especificações 12.1.2.”

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. ABORDAGEM DA PESQUISA**

Metodologia científica é o estudo sistemático e lógico dos métodos empregados nas ciências, seus fundamentos, sua validade e sua relação com as teorias científicas. A atividade preponderante da metodologia é a pesquisa. O conhecimento humano caracteriza-se pela relação estabelecida entre o sujeito e o objeto, podendo-se dizer que esta é uma relação de apropriação (TARTUCE, 2006).

Para a elaboração deste trabalho foi utilizado método de pesquisa descritiva, com a finalidade de analisar um método construtivo dentro do campo das estruturas pré-fabricadas, partindo de uma revisão bibliográfica.

A pesquisa descritiva exige do investigador uma série de informações sobre o que deseja pesquisar. Esse tipo de estudo pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade (TRIVIÑOS, 1987).

O estudo terá caráter qualitativo, expondo os possíveis modelos arquitetônicos e o estudo de sua fabricação, transporte e montagem.

Na pesquisa qualitativa, o cientista é ao mesmo tempo o sujeito e o objeto de suas pesquisas. O desenvolvimento da pesquisa é imprevisível. O conhecimento do pesquisador é parcial e limitado. O objetivo da amostra é de produzir informações aprofundadas e ilustrativas: seja ela pequena ou grande, o que importa é que ela seja capaz de produzir novas informações (DESLAURIERS, 1991, p. 58).

Desta forma, por meio de pesquisas bibliográficas foram levantados conteúdos que embasam o estudo, com a finalidade de elaborar um modelo de construção modular fazendo o uso de tecnologias já existentes. Para isso, a pesquisa será baseada em estudos de diversos autores no campo da indústria da construção civil, bem como, dentre outras indústrias. Por fim, junto a pesquisa bibliográfica, elaborar projetos arquitetônicos e complementares hipotéticos, que possam ser replicados na escala industrial de linha de montagem.

### 3.2. MÉTODO

Após o levantamento bibliográfico, será desenvolvido um modelo de peça inspirada em aduelas de concreto. Esta inspiração parte do pressuposto das peças terem formato retangular, serem encaixáveis e a sua estrutura ser fabricada em concreto pré-moldado.

Estas peças precisarão contar com um sistema que permita não apenas a execução da parte arquitetônica, mas também complementar, sendo elas a parte elétrica e hidrossanitário. Assim, será estudado soluções já existentes no mercado para tais fins.

Após a idealização da peça que atenda não somente a arquitetura, mas também permita as conexões dos demais disciplinas, esta será modelada de forma computadorizada, no software Autodesk Revit 2021 – Versão Estudante. Com isso, permitindo a elaboração de três projetos arquitetônicos que visam englobar os casos mais comuns de residências unifamiliares. São elas:

- Modelo 01 – Cabana de Campo;
- Modelo 02 – One House;
- Modelo 03 – Two House.

Após a modelagem eletrônicas dos estudos de caso, será a vez de analisar a preparação do local de implantação, entendendo quais as necessidades e serviços necessários para deixar o terreno pronto para receber as edificações.

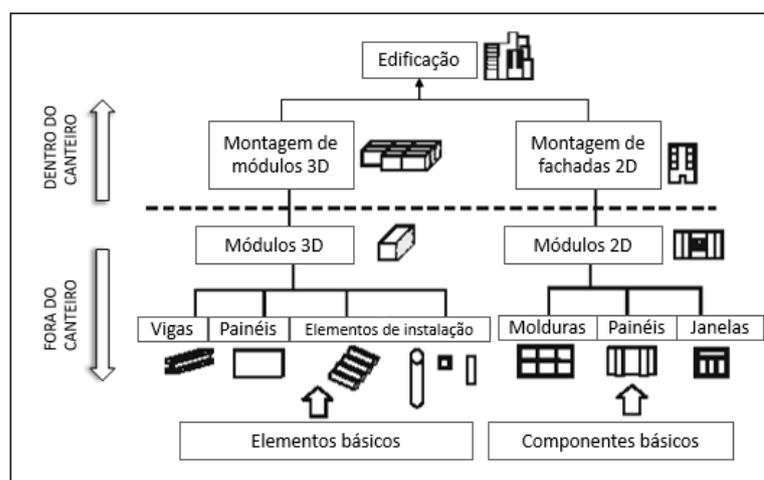
Preparado o terreno para o recebimento da edificação, será elaborado por fim o estudo que permitirá o transporte e montagem das peças no local. Ainda, dentro desta etapa, será integrado ao estudo o processo de linha de montagem, explicando como funciona a fabricação de peças pré-fabricadas, desde a sua fabricação até o transporte para o canteiro de obras.

## 4. CONSTRUÇÃO MODULAR

De acordo com Richard (2017), os sistemas construtivos industriais podem ser caracterizados em três grupos:

- Elementos 2D – conjunto de peças para montagem, produzidos em larga escala nas fábricas e entregues separadamente no local da construção, o que implica em uma série de operações e junções;
- Elementos 3D - módulos tridimensionais volumétricos feitos na fábrica, o que implica que todos os espaços e componentes da edificação são confeccionados, montados e acabados na indústria, exigindo apenas as conexões com a infraestrutura e entre si quando transferidos para o terreno;
- Híbridos – reúne as vantagens do uso intensivo do kit de peças no local, características dos elementos 2D, evitando as inconveniências dimensionais do módulo tridimensional, que são utilizados para pré-fabricação das partes complexas da edificação.

A imagem abaixo, retirada do artigo *Future Home: An Integrated Construction Automation Approach* de Carlos Balaguer, e traduzida para o português por Gabriela Baú, ilustra na figura 6, mostra a diferença entre os elementos 2D e 3D.



**Figura 6: Elementos 2D e 3D**  
Fonte: adaptado por Baú, de Balaguer et al., 2002.

Levando em consideração a procura por atribuir etapas do processo de execução em espaço fabril, a NBR 9.062/2017 caracteriza como um processo vinculado a fabricação de peças pré-fabricadas: mão de obra especializada; matéria prima qualificada e com desempenhos e comportamentos conhecidos e analisados; dispor de estruturas de controle de qualidade, laboratórios, e espaços de inspeção das etapas; elementos produzidos com o auxílio de máquinas e equipamentos industriais; processos de cura com controle de temperatura (NBR 9.062, 2017, p.88).

O processo modular é composto por diversas etapas que não se restringem apenas ao local de fabricação. Para entender todo o processo, desde o projeto até o uso de uma residência por seus moradores, Gabriela Baú constrói a planilha de etapas da construção modular, mostrada no quadro 1.

**Quadro 1: Etapas da construção modular**

<b>ETAPAS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Projeto	Essa etapa é reservada à análise de viabilidade da construção modular e à elaboração dos projetos arquitetônicos e civis.
Permissões	Depois de elaborados os projetos, são requisitadas as permissões para a construção, como: ART; alvará de construção; ligações de água e luz, etc. Após a produção, também são solicitadas as permissões para transporte.
Plano e agendamento de atividades	Nessa etapa é feito o planejamento da construção modular, tanto da obra civil no canteiro quanto da produção dos módulos.
Desenvolvimento de engenharia	Se refere ao desenvolvimento de soluções construtivas, em termos de produto e processo, para adaptação e melhoria do sistema construtivo modular.
Produção de módulos	Etapa reservada a produção dos módulos em ambiente fabril.
Instalações preliminares de canteiro de obras	Enquanto os módulos são produzidos em fábrica, o canteiro é preparado para execução de atividades corriqueiras do canteiro de obras, como é o caso dos serviços preliminares.

Fundações	Execução da fundação dos módulos.
Gerenciamento de entrega	Etapa reservada ao planejamento da entrega de módulos. Por alguns dos itens serem volumétricos, ocupando grande espaço do canteiro de obras, precisam chegar na obra em ordem de montagem.
Transporte	Transporte dos módulos produzidos da fábrica para o canteiro. Pode ser rodoviário e feito por caminhões adequados ou hidroviários.
Içamento	A etapa de içamento é responsável pela retirada dos módulos dos caminhões e posicionamento no canteiro de obras, através do uso de guias e caminhões <i>munck</i> .
Montagem	A montagem envolve as atividades de fixação dos módulos com a fundação e também entre módulos.
Instalação	Corresponde às atividades de conexão das instalações (elétricas, hidrossanitárias, etc) dos módulos entre si e com outros elementos do canteiro de obras, além de atividades de finalização não executadas em fábrica, como vedações e acabamentos finais.

Fonte: adaptada de Baú, 2021.

A partir desta análise, o trabalho tem por objetivo apresentar e discutir as etapas de projeto, desenvolvimento de engenharias, instalações preliminares de canteiro de obras, fundações, transporte, içamento, montagem e instalação, citadas na tabela 1. Para tanto, será decorrido como solução construtiva o uso de peças de concreto armado, desenvolvidas através da inspiração advinda de aduelas (galerias de concreto). Através desta solução, serão elaborados três projetos modulares.

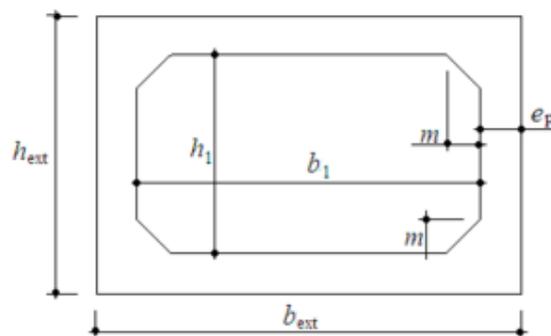
## 4.1. SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM BASE EM ADUELAS

### 4.1.1. Concepção estrutural

Para a utilização dos módulos, algumas adequações foram necessárias para implantação deste sistema em residências. Primeiramente, os encaixes apelidados de macho e fêmea precisaram ser removidos para possibilitar encaixes em mais de uma direção.

Além da remoção das conexões, devido ao uso residencial nas quais os módulos não serão enterradas e não transportarão água, deixando de sofrerem ações como empuxo, os cantos verticais internos usados nas galerias de concreto, marcados em “m” pela figura 7, deixam de ser necessários.

Por fim, houve a necessidade de deixar aberturas localizadas nas vigas superiores para passagem elétrica e hidrossanitária. Nos casos em que há passagem horizontal de uma aduela para outra nas paredes, esta deverá ser feita através das aberturas nos perfis metálicos da estrutura do steel frame.



**Figura 7: Aduela de seção transversal fechada**  
Fonte: NBR 15396, 2018.

A figura 8 ilustra como é o formato de uma aduela convencional, com o intuito de mostrar a diferença entre esta e o módulo final concebido neste estudo.



**Figura 8: galerias de concreto armado pré-moldadas**  
**Fonte: Concreton, 2021.**

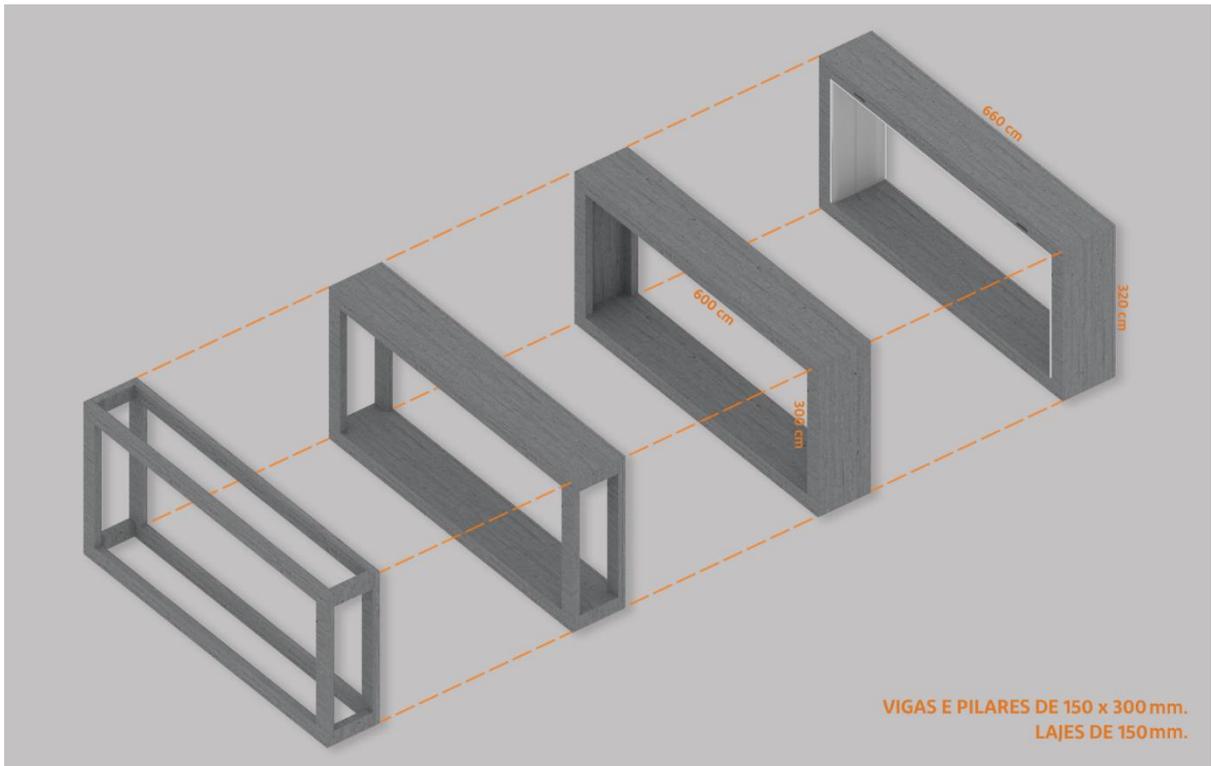
A figura 9 ilustra o processo de construção de tal ideia. Assim, este módulo de concreto é formado através de um chassi construído por pilares e vigas, no qual recebem as cargas da laje superior e inferior e das paredes estruturais de concreto. Este chassi permite criar extrusões na estrutura, removendo concreto de locais não necessários, assim, diminuindo o peso da peça.

As dimensões das vigas e pilares são de 150 milímetros por 300 milímetros. As duas lajes possuem uma espessura aproximada de 150 milímetros e as paredes estruturais que fecham a lateral possuem 100 milímetros de espessura.

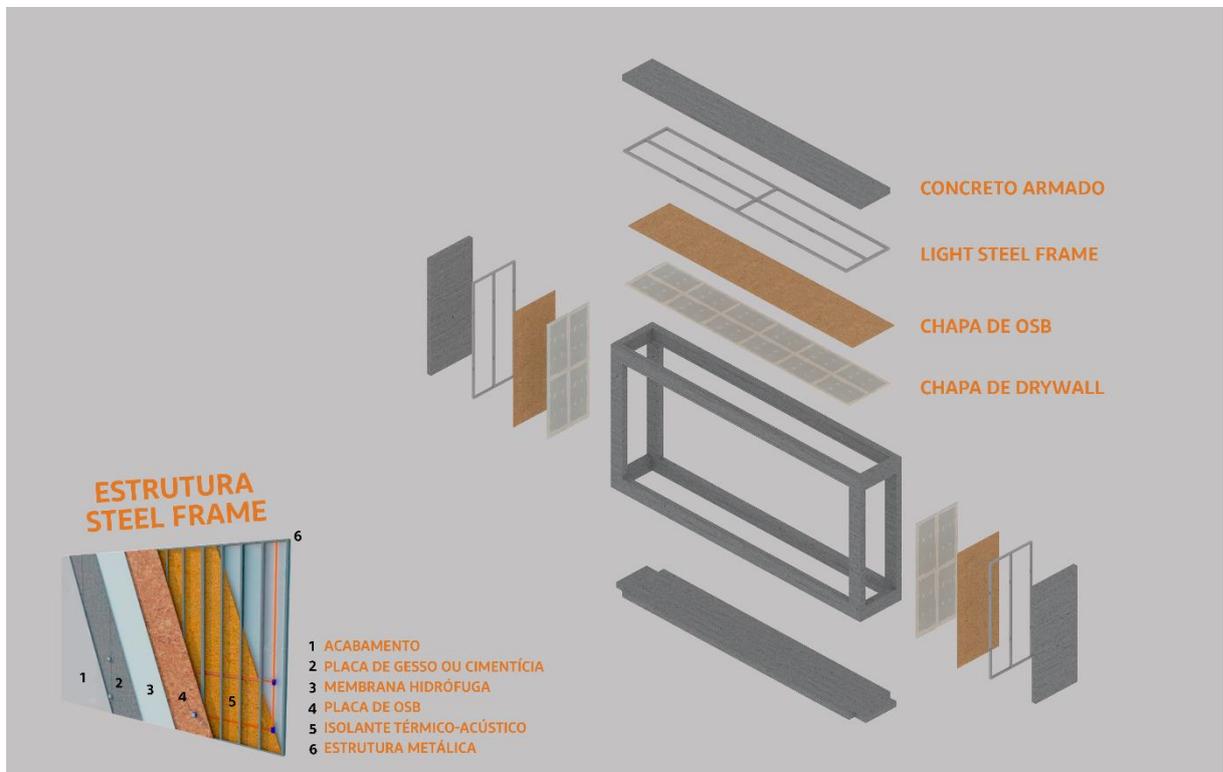
A diferença entre os pilares de 300 milímetros para a parede de 100 milímetros cria shafts em cada lateral da aduela, de 200 milímetros, permitindo a passagem elétrica e hidrossanitária.

A peça possui 660 centímetros de largura externa, com uma altura externa de 320 centímetros e espessura de 120 centímetros. No seu interior, são 600 centímetros de largura por 300 centímetros de altura, mantendo os mesmos 120 centímetros de espessura. A espessura da peça foi delimitada de acordo com as possibilidades permitidas pelo transporte juntamente com as normativas expressas pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e pela Resolução 210/2006 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), conforme o descrito no item 4.4.2 deste trabalho.

Na figura 10, é possível compreender quais são as camadas que farão parte desta estrutura, em um isométrico expandido. Para ocultar a passagem elétrica e hidrossanitária e permitir divisões internas, é proposto neste trabalho a utilização de steel frame.



**Figura 9: Concepção do módulo**  
Fonte: Autor, 2021.



**Figura 10: Isométrico expandido**  
Fonte: Autor, 2021.

A figura 11 ilustra as estruturas a modelagem e detalhamento das armaduras através do software Autodesk Revit 2021, com o intuito de auxiliar na compreensão da concepção da peça.



**Figura 11: Isométrico estrutural**  
**Fonte: Autor, 2021.**

## 4.2. SERVIÇOS COMPLEMENTARES

### 4.2.1. Instalações Hidrossanitárias

Assim como obras convencionais, as construções modulares fazem uso da mesma tecnologia empregada no dia-a-dia das obras comuns. Assim sendo, para as instalações hidrossanitárias das peças de concreto, é possível ser utilizadas tubulação comuns de PVC, no qual, a ligação final com o terreno será feita no local.

No entanto, um outro sistema no qual está se tornando cada vez mais comum em obras brasileiras é o Sistema PEX (Polietileno reticulado flexível). Este sistema possui tubos flexíveis utilizados para condução de água quente, fria, calefação e refrigeração. O diferencial está na redução do número de conexões como joelhos e cotovelos, diminuindo a probabilidade de ocorrer vazamentos. Além disso, este sistema é de fácil manutenção, utilizando tubos guias para retirar as tubulações

danificadas, dispensando a quebra de paredes e forros. A figura 12 tem como intuito a compreensão do sistema citado.



**Figura 12: Instalações de água fria e água quente**  
**Fonte: Paci Projetos, 2021.**

Como uma opção para acelerar ainda mais o processo de instalações hidrossanitárias, empresas como a Merckits fabrica kits hidráulicos, como a parede hidráulica, onde todo o sistema, incluindo esgoto, é embutido na parede. Este sistema está representado pela figura 13.



**Figura 13: Kits Parede Hidráulica**  
**Fonte: Merckits, 2021.**

#### 4.2.2. Instalações Elétricas

No caso das instalações elétricas, o sistema indicado é o mesmo utilizado em construções do tipo steel frame, utilizando mangueiras condutoras, caixas de passagem, quadros de distribuição e cabos condutores. A principal vantagem é não precisar quebrar a parede, pois as passagens das instalações são feitas antes do fechamento do drywall. A figura 14 a seguir mostram parte da execução do sistema elétrico.



**Figura 14: Instalações elétricas em steel frame**  
Fonte: Cichinelli, 2012.

Com as análises das soluções demonstradas nos itens 4.2.1 Instalações hidrossanitárias e 4.2.2 Instalações elétricas, a figura 15 demonstra a aplicação das mesmas mediante a peça determinada para o projeto.



**Figura 15: Isométrico elétrico e hidrossanitário**  
Fonte: Autor, 2021.

#### 4.3. SISTEMA DE FABRICAÇÃO

As principais atividades dessa etapa são relativas à execução da estrutura. As aduelas são enquadradas como condutos rígidos, ou seja, devem suportar as cargas por sua própria resistência. Segundo a NBR 15396: Aduelas (galerias celulares) de concreto armado pré-moldadas - Requisitos e métodos de ensaios (ABNT, 2017), para a fabricação destas peças, é necessário o uso de um concreto com classe de resistência característica à compressão mínima C25 ( $f_{ck}$  maior ou igual a 25 Mpa).

Na fabricação de elementos 3D também conhecidos como monoblocos, a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, cita em seu curso

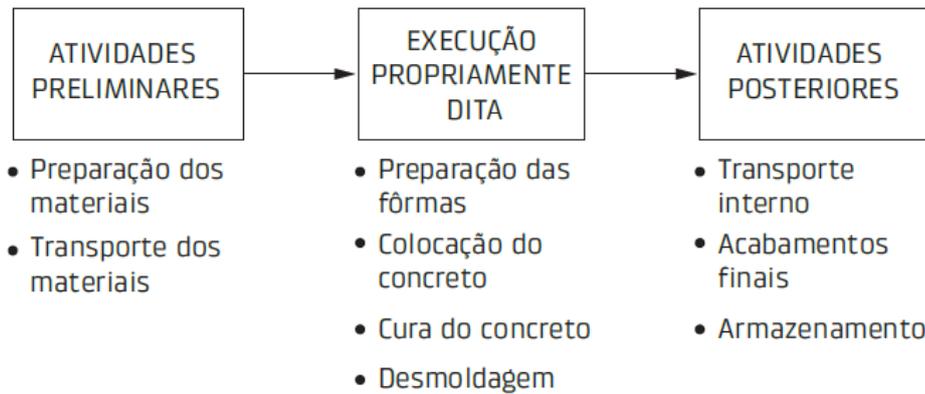
de Pré-fabricados de Concreto (2013) que para tais peças, são utilizados concretos especiais, chamados de Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (GFRC).

As principais características do material estão relacionadas à elevada resistência, durabilidade e leveza. Isso é resultado do uso de argamassa de cimento Portland, areia, fibra de vidro álcali resistente, misturados a uma proporção controlada de água. Além disso, o GFRC pode conter isolantes térmicos e acústicos, favorecendo não só a sustentabilidade, mas à redução de desperdícios de materiais e quantidade de entulhos em comparação com a vedação convencional de alvenaria.

Ainda, de acordo com a ABNT NBR 15396:2018, a fôrma utilizada para a fabricação deve ser estanque, fabricada em aço, chapas metálicas ou outro material, desde que não se deformem quando submetidas aos esforços de lançamento, adensamento e deforma do concreto. As formas devem proporcionar acabamento liso, homogêneo e sem manchas nos componentes.

Como a peça proposta neste estudo tem como inspiração as aduelas, utilizando-se da norma já citada acima, pode-se estabelecer comparação entre aduelas destinadas a uso em redes de esgoto sanitário e efluentes industriais com as aduelas do presente estudo, devido à necessidade das duas serem estanques a água. Desta forma, segundo a norma, a absorção de água do concreto deve ser determinada conforme ensaio estabelecido na NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT, 2005), sendo a absorção máxima para redes de esgoto sanitário e efluentes industriais de 6%. Para tal, devem ser moldados dois corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura para cada 15 m<sup>3</sup> de concreto utilizado na fabricação das peças. A moldagem dos corpos de prova deve ser feita por processo de adensamento similar ao processo produtivo.

De modo geral, a linha de produção de pré-fabricados e pré-moldados segue o ciclo de montagem das armaduras, fabricação do concreto, preparação da fôrma, colocação das armaduras, lançamento do concreto, cura do concreto, desmoldagem, transporte interno, acabamentos finais e armazenamento. A figura 16 representa um fluxograma destes processos.



**Figura 16: Etapas envolvidas na execução de pré-moldados os de fábrica**  
**Fonte: El Debs, 2000.**

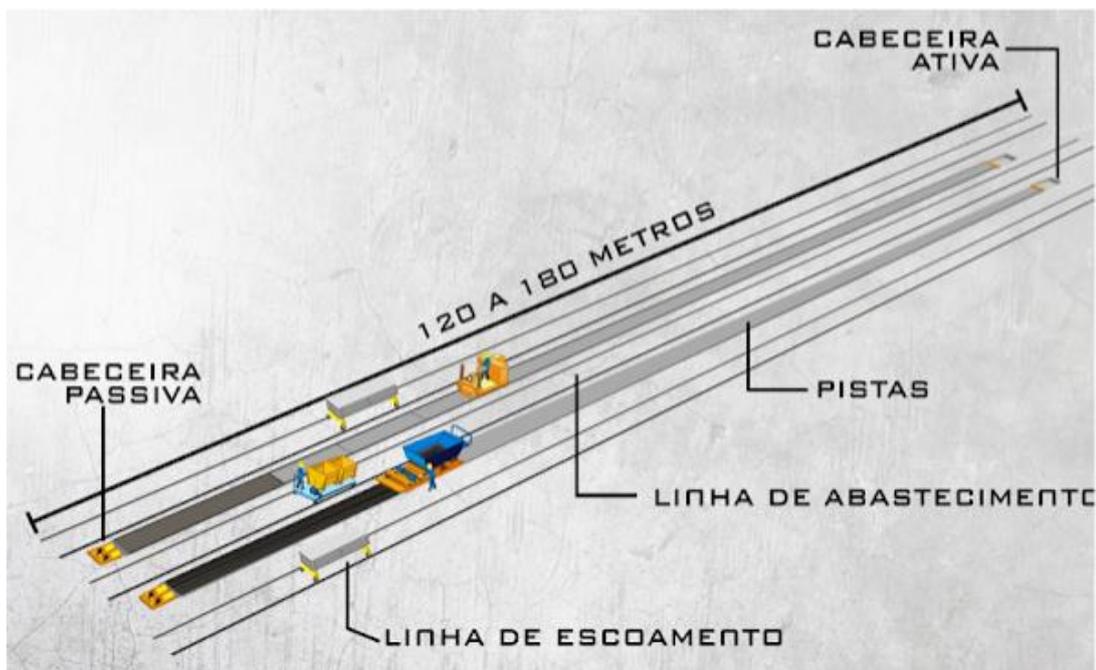
O chão de fábrica pode adotar diversos *layouts*, divididos em duas fases. A primeira relacionada a serviços como preparação dos materiais, armazenamento da matéria-prima, dosagem e mistura do concreto, corte e dobra da armadura. A segunda etapa está relacionada a colocação da armadura e concretagem da peça. Por tanto, a fábrica precisa ter espaço para central de concreto (figura 17), local para corte e dobra das armaduras (figura 18), local para fabricação das peças (figura 19) e para estoque (figura 20).



**Figura 17: Central de concreto**  
**Fonte: Welter Holzberger (2021).**



**Figura 18: Central de armação**  
**Fonte: Associação Brasileira de Construção Industrializada de Concreto, 2013.**



**Figura 19: Pista de produção**  
Fonte: Welter Holzberger, 2021.



**Figura 20: Área de estoque**  
Fonte: Copel Construções, 2021.

Desta forma, a figura 21 mostra de forma genérica a estrutura de uma fábrica de produção de lajes alveolares como base para compreensão.



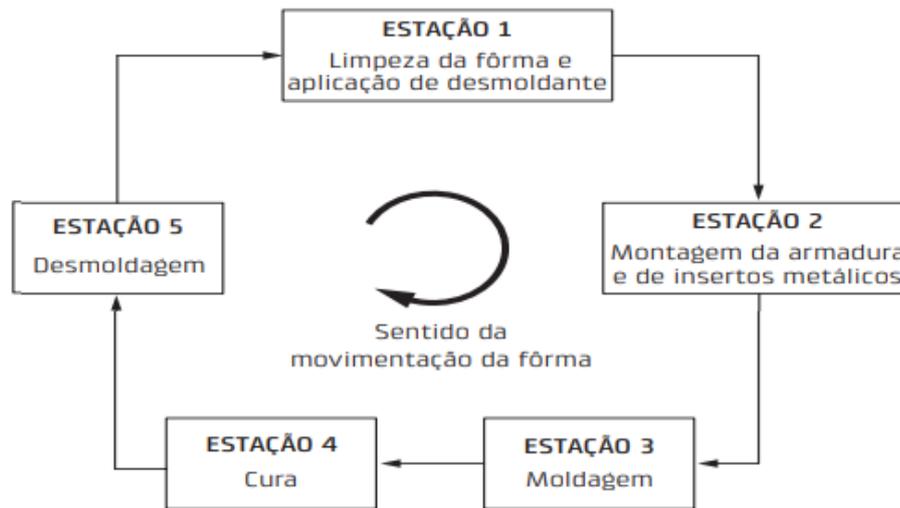
**Figura 21: Layout de fábrica de lajes alveolares**  
**Fonte: Welter Holzberger, 2021.**

Para a execução destes processos, normalmente são empregados três diferentes ciclos, sendo eles fôrma estacionária, fôrma móvel ou pista de concretagem. Segundo Paulani (2008), no método de execução com fôrmas estacionárias, os trabalhos de execução dos elementos giram em torno da fôrma, no qual não é movida de posição até o término das atividades.

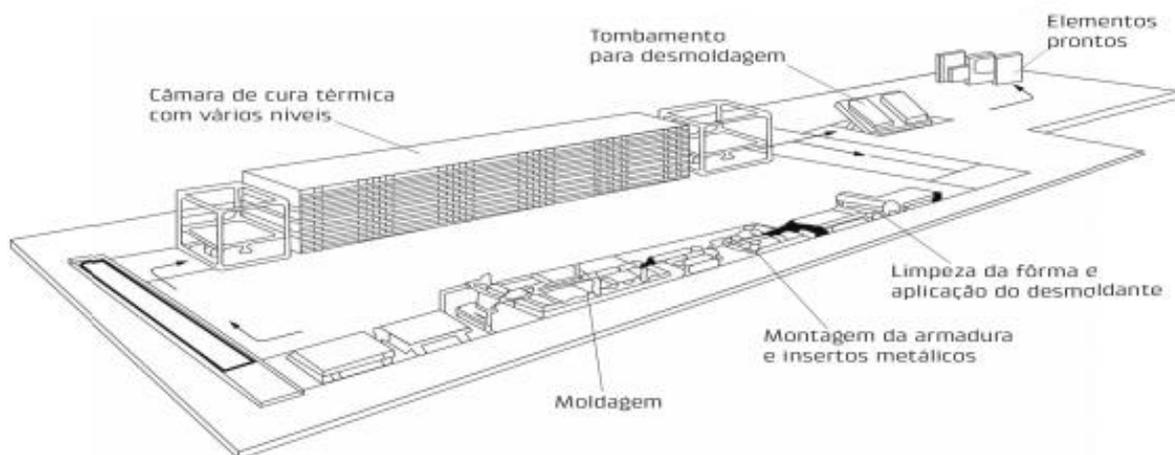
O método de execução com fôrma móvel, também conhecida como carrossel, os processos executivos são totalmente opostos ao anterior. Assim, as fôrmas que se deslocam até as equipes de preparação que ficam locadas em diferentes pontos da fábrica.

Por fim, na pista de concretagem, a produção dos elementos ocorre de maneira contínua, no qual são dispostos em uma linha de produção e são alimentados de forma sequencial. O que irá definir a escolha é o investimento e a produtividade desejada. Paulini (2008) ainda cita que os processos executivos que apresentam maiores ganhos na produtividade são com execução em pista de concretagem e com fôrmas móveis.

As figuras 22, retirada do livro Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações de Mounir Kalil El Beds representa o ciclo de execução com fôrmas móveis. Esse processo em fábrica, está representado pela figura 23, no qual representa um exemplo de execução de painéis com fôrmas móveis.



**Figura 22: Ciclo de execução com fôrmas móveis**  
Fonte: El Bebs, 2000.



**Figura 23: Exemplo de execução de painéis com fôrma móvel**  
Fonte: El Beds, adaptado de Komar, 1979.

Para as aduelas de concreto, há viabilidade de linha de montagem, por não necessitar produzir diferentes elementos simultaneamente. Desta forma, a fabricação das peças pode ser feita de maneira contínua.

Nos casos em que a pré-fabricação se encerra nesta etapa, os módulos são transportados até o canteiro de obras, no qual receberam os acabamentos, como instalações e revestimentos no local. Para este trabalho, considera-se os elementos 3D do tipo monobloco, ou seja, aqueles nos quais são transportados para o canteiro de obras com os acabamentos já instalados quase totalmente.

Assim, estas formas de produção chamadas de *offsite* (fora do local, ou seja do canteiro de obras), possuem o maior número de atividades e insumos envolvidos, devido serem finalizados em fábrica, com nível de conclusão de 80 a 90%, contando com execução de trabalhos estruturais, elétricos, hidráulicos e de acabamento (O'BRIAN et al., 2000; KAWECKI, 2010; KAMALI; HEWAGE, 2016).

Para tanto, após o estoque das peças mostrado na figura 24, sob demanda de encomenda, a segunda parte da construção começa. Desta forma, as peças são transportadas para um próximo espaço fabril no qual passará por um processo de linha de montagem novamente, mas agora para instalação elétrica, hidráulica, isolamento, revestimento e instalações de demais objetos como louças sanitárias e marcenarias.



**Figura 24: Estoque de peças pré-fabricadas**  
Fonte: Going GREEN Brasil, 2020.

As figuras 25, 26 e 27 são imagens retiradas do blog da Autodesk, no qual mostra o processo industrial referente as instalações citadas acima, da empresa BLOX, com

sede no Alabama, no qual industrializou o processo de fabricação de hospitais em plena crise do COVID-19.



**Figura 25: Uma linha de produção na fábrica BLOX perto de Birmingham, AL**  
Fonte: Autodesk, 2020.



**Figura 26: Pré-fabricando componentes hospitalares padrão menores**  
Fonte: Autodesk, 2020.



**Figura 27: Montagem de componentes das instalações médicas**  
**Fonte: Autodesk, 2020.**

#### 4.4. ANÁLISE DO PROCESSO DE EXECUÇÃO

##### 4.4.1. Preparação do terreno

O preparo do terreno para obras modulares se assemelha aos processos para a construção de edificações convencionais, ou seja, inicia-se pelos serviços preliminares, como delimitação e limpeza do terreno, terraplanagem, compactação do solo, marcação de gabaritos, instalações provisórias de água e energia, entre outros. Posteriormente inicia-se o processo de infraestrutura, o qual será feito e avaliado a partir do método de sondagem do terreno juntamente com cálculo estrutural específico.

As fundações em obras modulares geralmente são executadas em radiers ou sapatas. Elas acontecem simultaneamente à execução da fabricação das peças de concreto. O modelo de radier consistem em um modelo de fundação semelhante a uma placa, a qual abrange toda a área da construção. Este sistema é feito através de lajes em concreto armado em contato direto com o solo sendo indicado para edificações de pequeno porte.

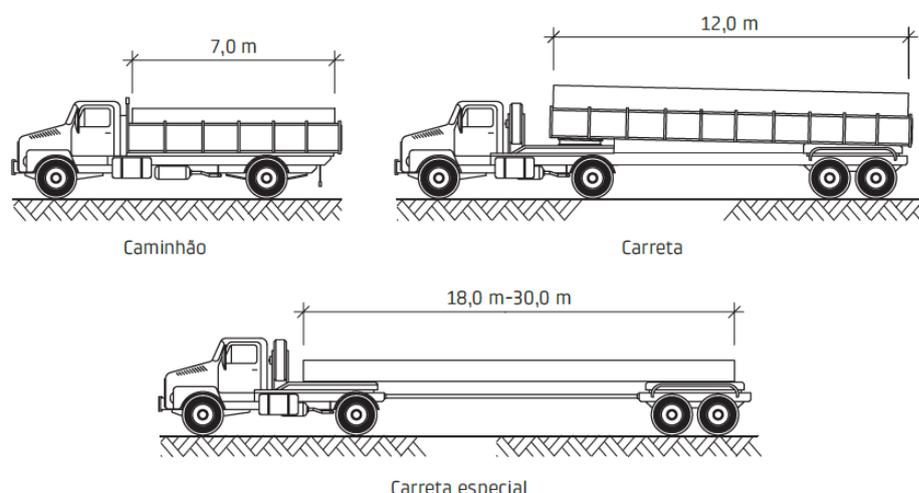
Para o sistema de fundações do modelo sapatas, definida de acordo com a NBR 6122: Projeto e execução de fundações (ABNT, 2010) como um elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de

tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armaduras especialmente dispostas para este fim, ainda como, estruturas de volume usadas para transmitir ao terreno as cargas de fundação, no caso de fundação direta. Neste caso temos como sequência a execução de baldrames, as quais possuem a função de distribuir as cargas dos elementos construtivos, dos módulos, para as fundações, podendo ser abaixo ou acima do nível do solo, como no caso de vigas baldrames aéreas.

Para ambos os modelos de fundações, se faz necessário a compatibilização dos mesmo com os modelos de encaixes de pinos/chumbadores, já utilizados para a execução de edificações e estruturas pré-moldadas, cujas funções principais são as transferências das forças entre as interfaces dos elementos e conexão entre as partes.

#### 4.4.2. Transporte e manuseio

O transporte até o canteiro poderá ser feito de forma rodoviária, por caminhões adequados ou hidroviária, quando necessário. Nesta etapa é preciso se atentar as restrições de transporte como por exemplo às dimensões máximas permitidas para transporte em caminhões e autorizações de prefeituras para interromper o trânsito nas proximidades do canteiro de obras, quando necessário. A figura 28 mostra as dimensões de carrocerias da caminhões, carretas e carretas especiais para transporte de cargas.



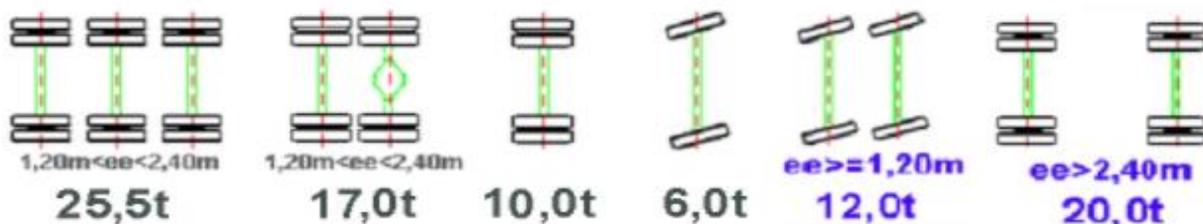
**Figura 28: dimensões de carrocerias**  
Fonte: El Debs, 2000.

Segundo o site GT Gestão de Transportes Especiais, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) prevê a necessidade da Autorização Especial de Trânsito

(AET), para veículos que transportam cargas indivisíveis, cujo peso e/ou dimensões excedam os limites regulamentares máximos fixados pela Resolução 210/2006 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). As dimensões e pesos máximos permitidos estão elucidados nas figuras 29 e 30.



**Figura 29: Dimensões máximas permitidas (resolução 210/06)**  
**Fonte: GT Gestão de Transportes Especiais, 2021.**



**Figura 30: Pesos máximos permitidos (resolução 210/06)**  
**Fonte: GT Gestão de Transportes Especiais (2021).**

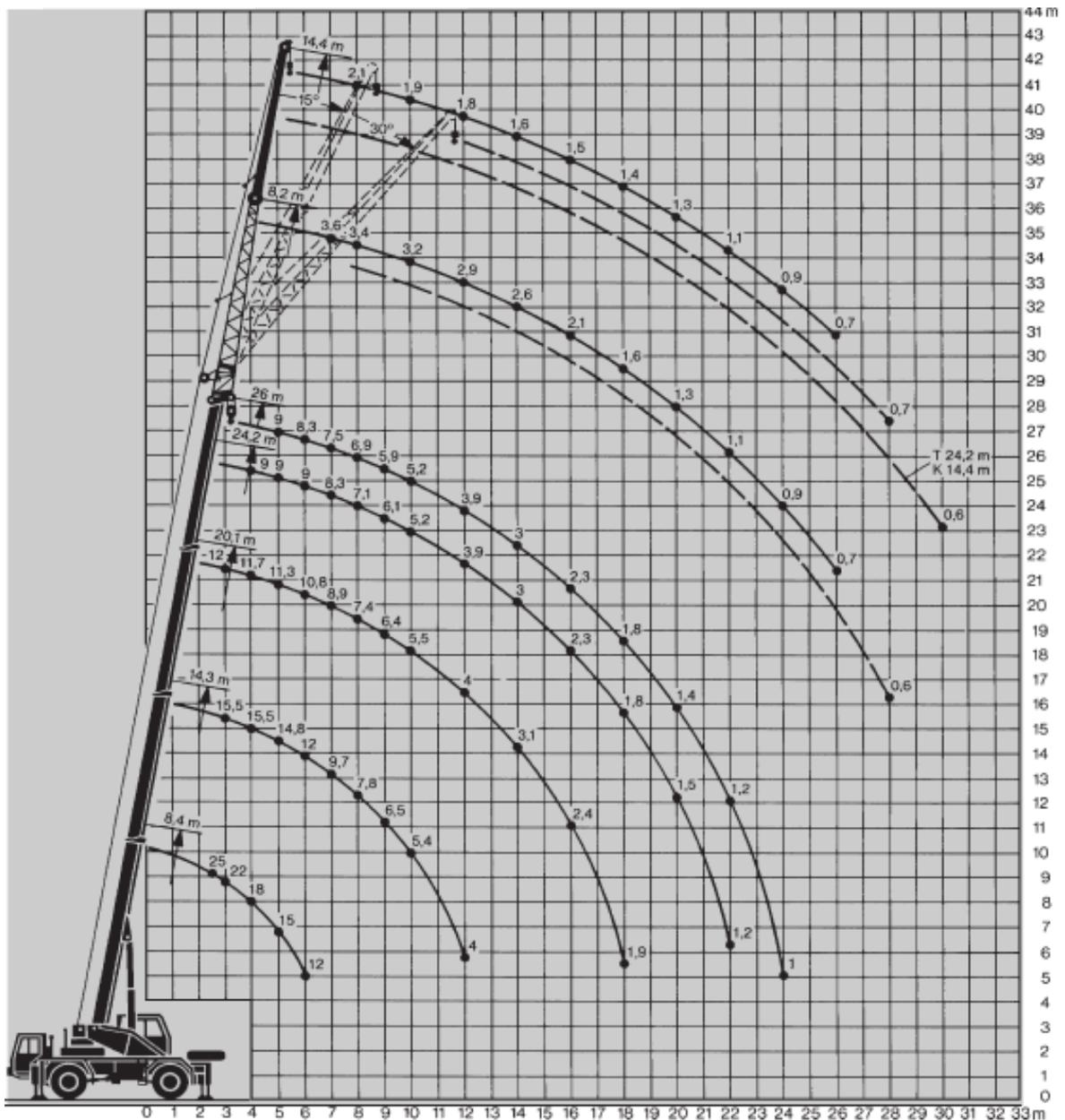
Levando em consideração que não há dados de peso específico do Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (GFRC), usou-se para o cálculo do peso das aduelas o peso específico do concreto armado de  $2500 \text{ kg/m}^3$ . A aduela de concreto possui volume de  $3,71 \text{ m}^3$ , obtendo-se assim um peso de  $9275 \text{ kg}$  por peça. Considerando ainda um valor de  $20 \text{ kg/m}^2$  para paredes de drywall, no qual cada peça conta em média com  $20 \text{ m}^2$ , o peso das paredes será de  $400 \text{ kg}$ . Por fim, considerando uma carga extra de  $150 \text{ kg/m}^2$  para demais objetos, como por exemplo, revestimentos de parede e louças sanitárias, totalizando  $1080 \text{ kg}$ , o peso médio total por aduela será de  $10755 \text{ kg}$ . Desta forma, considerando as dimensões máximas, com o peso de  $25500 \text{ kg}$ , será possível transportar até duas peças nas dimensões de  $6,0 \times 3,0 \times 1,2$  metros ou quatro peças nas dimensões de  $3,0 \times 3,0 \times 1,2$  metros, sem que haja excedente de carga.

Para a realização do manuseio da peça do veículo de transporte para o canteiro, será necessário maquinário especial chamado de guindaste ou auto-grua. A figura 31 demonstra como é feito o manuseio de um módulo de concreto, semelhante a ideia estudada neste trabalho.



**Figura 31: Manuseio de módulo de concreto**  
**Fonte: Paulo Oliveira, 2019.**

Seguindo as premissas de que o peso de cada peça é de aproximadamente 10755 kg, e considerando ainda que haverá casos de até duas peças transportadas pela máquina conectadas, foi adotado para tal estudo, a Auto-grua de 25 toneladas de capacidade, da empresa Liebherr. A figura 32 demonstra a altura de elevação alcançada por tal maquinário.



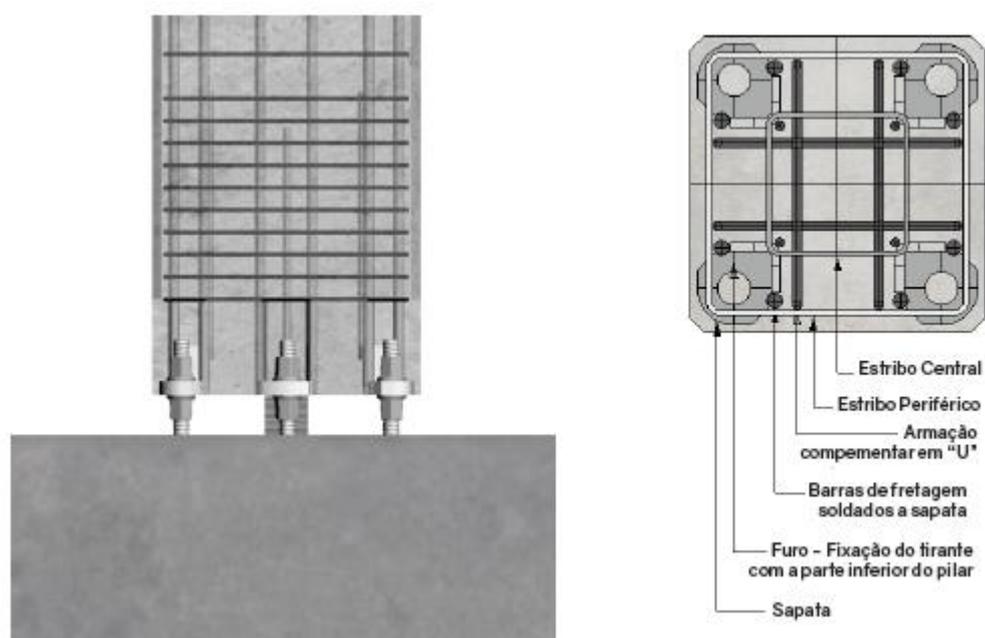
**Figura 32: Altura de elevação**  
**Fonte: Catálogo Liebherr LTM 1025, 2021.**

#### 4.4.3. Montagem e Instalação

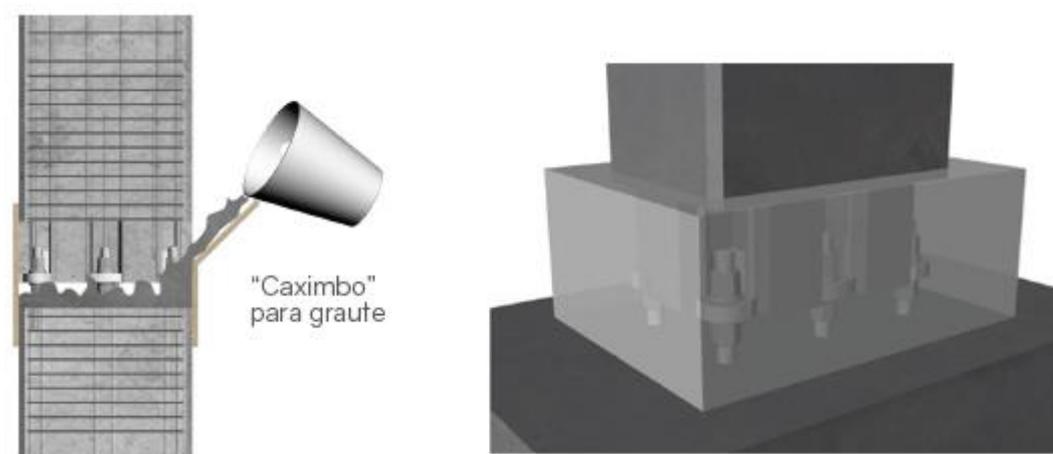
O processo de montagem já pode ser iniciado após o recebimento dos primeiros módulos ou quando todas as peças já estiverem no canteiro, dependendo do plano de montagem definido.

Para a correta instalação das peças, a etapa de preparação do terreno já deve ter sido finalizada. Assim, a ligação entre as peças de concreto e as fundações será feito através de sistemas tipo pino ou chumbadores. Neste caso em específico, foi sugerido o uso do tipo emendas de elementos pré-moldados. Este sistema de união

aparafusável é empregado em caso de conexão entre pilares muito longos, ligação entre vigas e pilares, entre vigas e paredes de concreto, entre outros. Como a aduela foi concebida através de um chassi de concreto, com fechamentos laterais de parede de concreto, é possível considerar que esta estrutura conta com um sistema convencional de vigas, pilares e paredes estruturais. Desta forma, os quatro pilares permitem a conexão da peça com a fundação, como as figuras 33 e 34 retiradas do catálogo da empresa Trejor.



**Figura 33 - Conexão tipo emenda**  
Fonte: Catálogo Trejor, 2017.



**Figura 34: Grauteamento das emendas**  
Fonte: Catálogo Trejor, 2017.

Após a alocação e fixação das aduelas com as fundações, a etapa seguinte é a conexão das instalações secundárias as redes primeiras, ou seja, as conexões hidráulicas e elétricas da residência ao terreno.

Na sequência, as junções entre as peças de concreto devem receber tratamentos para fins de vedação térmica, acústica e de impermeabilização.

Além das finalidades já citadas, as juntas tem como principal objetivo permitir que fatores que favoreçam a movimentação da estrutura, não prejudiquem a sua integridade, auxiliando na prevenção futura de fissuras e rachaduras. Para o estudo em questão foi analisado o tratamento de juntas através de poliuretano (PU), selante de alta aderência e elasticidade, utilizado na construção civil.

Para a impermeabilização das coberturas das aduelas deve-se seguir os seguintes passos: após a laje de cobertura far-se-á uma camada de impermeabilização com manta asfáltica de aproximadamente quatro milímetros de espessura, em seguida um virgula cinco centímetros de espessura da camada de proteção mecânica composta por argamassa, cimento, areia e emulsão adesiva, pôr fim a camada de argila expandida. Os principais objetivos da utilização da argila expandida se resumem em favorecer o isolamento acústico e térmico com a redução de até 5°C do interior da edificação, auxílio na proteção mecânica da impermeabilização e da laje de cobertura aumentando a durabilidade da mesma, e um melhor acabamento estético. A figura 35, a seguir, mostra a aplicação da argila expansiva sobre laje.



**Figura 35: Aplicação de argila expansiva sobre laje**  
Fonte: Cinexpan, 2021.

Segundo GIBB (1999), após o tratamento das juntas, os módulos devem ser submetidos a teste de estanqueidade, feitos através do teste das instalações hidrossanitárias e da impermeabilização. Esse teste é importante para evitar falhas em impermeabilizações.

De acordo com a NBR 9574: Execução de impermeabilização (ABNT, 2009), após a cura do sistema de impermeabilização, o local deve ser preparado para receber uma quantidade de água compatível com a cota máxima a ser alocada. Desta forma, a água precisa permanecer nesta condição por setenta e duas horas. Assim, caso o nível da água esteja menor que o inicial, é possível que esteja ocorrendo infiltração.

A NBR 5626: Instalação predial de água fria (ABNT, 1998), que trata de sistemas hidráulicos, aponta a importância do teste de estanqueidade para todos os tipos de sistemas de tubulações que transportam líquidos e gases. Para o teste hidráulico, a tubulação é preenchida de água e é verificado visualmente se há ocorrências de vazamentos. Ainda é possível utilizar dispositivos específicos, como o manômetro, para verificação de vazamentos de água, quando se trata de uma grande rede. Para o caso de tubulações de gás, o equipamento utilizado será novamente o manômetro, que irá verificar a variação de pressão. Caso a pressão se mantenha constante, o sistema não possui vazamentos.

Após as junções terem sido tratadas e a estrutura encontrar-se estanque, são executados os revestimentos de piso, parede e forros necessários de acordo com o projeto arquitetônico executivo.

Segundo Gabriela Baú (2021), após a finalização das etapas de instalação, deve-se ser executado reparos de eventuais danos causados aos acabamentos do módulo durante a etapa de transporte, como reparos de pintura e de trincas de gesso.

#### 4.5. PROJETOS ARQUITETÔNICOS

Como um dos objetivos deste trabalho, foram propostos três modelos de construções modulares utilizando a estrutura concebida neste estudo. Esta estrutura tem como intuito permitir seu empilhamento em até três pavimentos, porém, os projetos a seguir foram construídos em até dois pavimentos.

#### 4.5.1. Modelo 01 – Cabana de Campo

O primeiro modelo apelidado de Cabana de Campo permite uma construção rápida, com um baixo número de aduelas, abrindo um leque para o uso tanto residencial quanto hoteleira.

O projeto tem por objetivo abrigar até quatro pessoas, com uma cama de casal e um sofá-cama. Conta com uma cozinha com sala de estar integrados, varanda social de 13,2 metros quadrados, varanda íntima de 6,6 metros quadrados, além de um banheiro espaçoso com banheira. A figura 36 ilustra a planta humanizada deste primeiro projeto, no qual é seguido de uma imagem renderizada da fachada do mesmo, exposto na figura 37.



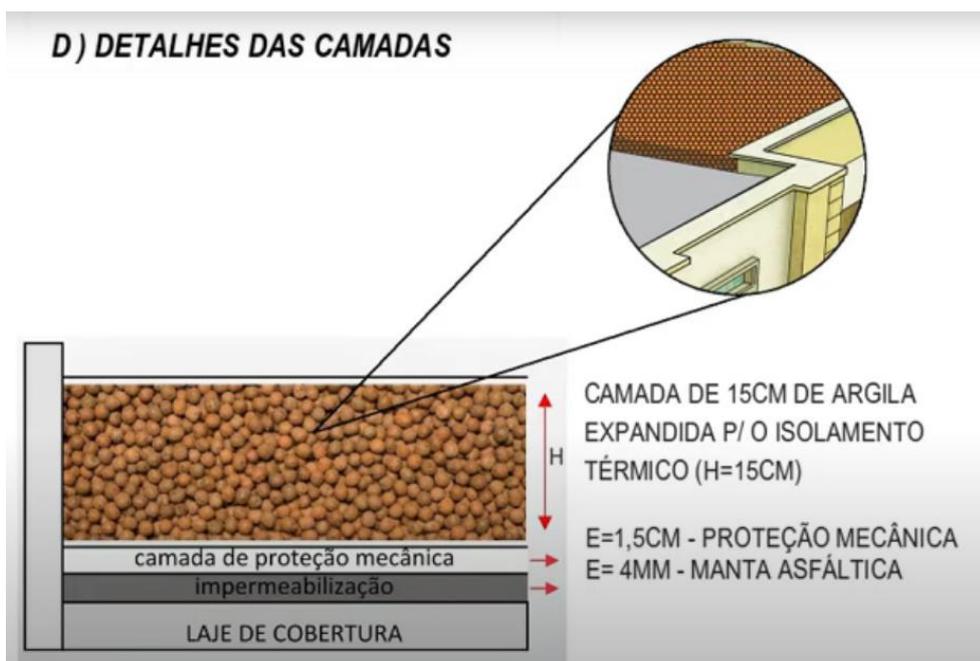
**Figura 36: Planta humanizada da Cabana de Campo**  
**Fonte: Autor, 2021.**



**Figura 37: Imagem renderizada da Cabana de Campo**  
**Fonte: Autor, 2021.**

Para a construção da Cabana de Campo, será necessário o uso de onze módulos de concreto. Sua área social é de aproximadamente 44,16 metros quadrados, enquanto a área íntima será de 16,56 metros quadrados, totalizando assim 60,72 metros quadrados.

A sua cobertura será tratada com manta asfáltica para impermeabilização, seguido do uso de argila expandida para evitar o contato direto entre a superfície da peça e a incidência solar, conforme figura 38.



**Figura 38: Detalhamento das camadas da cobertura**  
**Fonte: Cinexpan, 2021.**

#### 4.5.2. Modelo 02 – One House

O segundo modelo tem por objetivo abrigar até quatro pessoas, em seus dois quartos, abrindo possibilidade para o uso de sofá-cama, aumentando a capacidade para seis pessoas. Este projeto conta com sala de estar e jantar integrados a cozinha, uma área de serviço e um banheiro social. Além disso, há varandas privativas, uma sacada junto a sala de estar e jantar e uma garagem para até dois veículos.

Este segundo projeto, chamado de One House propõem o empilhamento dos módulos de concreto, permitindo dois pavimentos, sendo a parte inferior a garagem, e a parte superior o restante da edificação. Para sua construção será necessário o uso de 20 módulos de concreto no qual estão setorizados em 62,04 metros quadrados de ambiente serviço, 72,81 metros quadrados de ambiente social e 47,52 metros quadrados de ambiente íntimo. Assim totaliza uma área final de 182,37 metros quadrados. A figura 39 ilustra a planta humanizada, tendo a esquerda o pavimento inferior (garagem), e a direita o pavimento superior. Na sequência, a figura 40 apresenta uma renderização da fachada do One House.



**Figura 39: Planta humanizada da One House**  
**Fonte: Autor, 2021.**



**Figura 40: Imagem renderizada da One House**  
**Fonte: Autor, 2021.**

#### 4.5.3. Modelo 03 – Two House

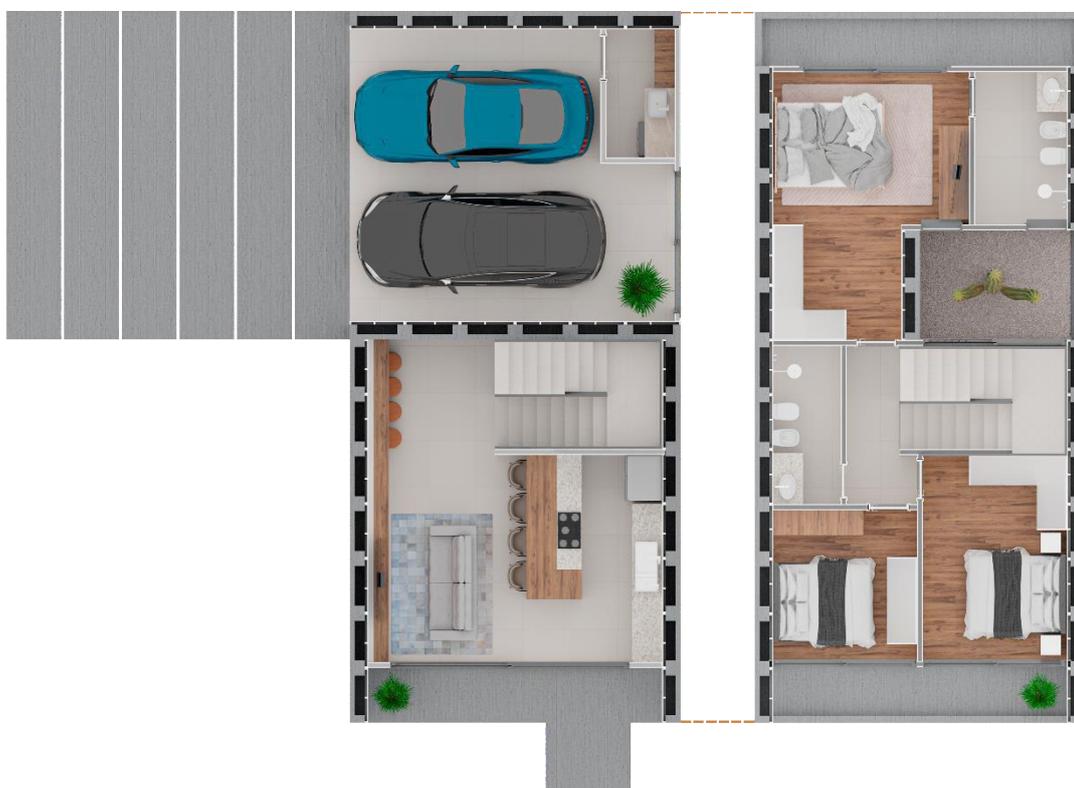
Por fim, o modelo final, apelidado de Two House conta com o empilhamento de aduelas que oferecem no pavimento superior dois quartos espaçosos com um banheiro íntimo, sacada e uma suíte master com closet, jardim externo e sacada.

No pavimento inferior, sendo este o térreo, conta com sala e cozinha integrados, área de serviço e garagem para até dois carros. Assim, este modelo necessita de 26 módulos de concreto que comportam 43,56 metros quadrados de ambiente de serviço, 50,82 metros quadrados de ambiente social e 99,38 metros quadrados de ambiente íntimo, assim totalizando 188,76 metros quadrados de residência.

Assim como o os demais projetos citados, este terá sua cobertura impermeabilizada com manta asfáltica, seguida do uso de argila expansiva para evitar o contato direto da incidência solar com a peça, evitando retrações e trabalhabilidades excessivas.

A figura 41 ilustra a planta humanizada, tendo a esquerda o pavimento inferior (garagem), e a direita o pavimento superior. Na sequência, a figura 42 apresenta uma renderização da fachada do Two House.

Em todos os projetos, o volume de reservatório não foi representado. No entanto, há duas possibilidades para sua implantação, sendo a primeira externa a construção e a segunda, localizada na cobertura. O fechamento do reservatório poderá ser feito de alvenaria convencional caso necessário, ou ainda, utilizando um modelo pré-fabricado destinado para este fim.



**Figura 41: Planta humanizada da Two House**  
**Fonte: Autor, 2021.**



**Figura 42: Imagem renderizada da Two House**  
**Fonte: Autor, 2021.**

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs o estudo de um processo industrial aplicado a construção civil através do uso de peças modulares tridimensionais, as quais são fabricadas de forma *offsite*, ou seja, todos os espaços e componentes da edificação, assim como execução de trabalhos estruturais, elétricos, hidráulicos e de acabamento, são confeccionados, montados e acabados na indústria.

Por basear-se em um processo de fabricação através de módulos, pode-se afirmar que o estudo se torna viável em relação aos quesitos buscados no decorrer da pesquisa como, baixos índices de desperdícios, o que remete a um favorecimento quanto a busca pela sustentabilidade, agilidade de construção, maior qualidade devido ao controle rigoroso de dosagem de materiais.

Essas considerações são possíveis devido ao processo de fabricação, onde a produção dos elementos ocorre de maneira contínua, no qual são dispostos em uma linha de produção e são alimentados de forma sequencial. Este modelo de construção permite um aumento da produtividade devido a utilização de peças modulares o que auxilia diretamente na redução de prazos executivos.

Segundo a pesquisa, a construção modular ganha destaque a partir da necessidade de suprir o déficit habitacional causado pelas grandes guerras, por se tratar de edificações que possibilitam a produção em escala. Atualmente, devido ao grande crescimento populacional, a necessidade de moradias tem cobrado da construção civil um aperfeiçoamento do sistema construtivo através de métodos mais ágeis e eficazes, abrindo portas novamente para o desenvolvimento da construção modular e industrializada.

Os modelos confeccionados para os estudos, remetem-se a edificações genéricas, com o intuito de apresentar o potencial do sistema construtivo e sua versatilidade. Foram desenvolvidos estudos que partem desde a concepção da estrutura, até a sua montagem, porém não foram conseguidas informações necessárias para relacionar o método construtivo com a viabilidade financeira.

Conclui-se, portanto, que este método construtivo supre as necessidades propostas por este estudo, permitindo uma redução no déficit habitacional e conseqüentemente o crescimento econômico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial -. **Manual da Construção Industrializada**: conceitos e etapas. Asa Norte: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - Abdi, 2015. 208 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: Moderna, 1998. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010. 33 p. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/nbr-06122-1996-projeto-e-execucao-de-fundacoes>. Acesso em: 07 jul. 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. 3 ed. Rio de Janeiro, 2017. 86 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574**: Execução de impermeabilização. Rio de Janeiro: Moderna, 2009. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005. 4 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=52163>. Acesso em: 07 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15396**: Aduelas (galerias celulares) de concreto armado pré-moldadas - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017. 15 p. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=383013>. Acesso em: 07 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (Brasil). **Pré-fabricados de concreto**: curso pré-fabricados ABCIC. Recife: Master Pec, 2013. 224 slides, color.

AUTODESK. **Combater a escassez de hospitais com construção modular**. 2020. Disponível em: <https://www.autodesk.ca/en/customer-stories/blox-modular-hospital-construction>. Acesso em: 05 jul. 2021.

BAÚ, Gabriela. **CONSTRUÇÕES MODULARES: MAPEAMENTO DO PROCESSO EXECUTIVO DE EDIFICAÇÕES EM CHASSI DE AÇO**. 2021. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

BEZERRA, Juliana. **Toyotismo**. Disponível em: [www.todamateria.com.br/toyotismo/](http://www.todamateria.com.br/toyotismo/). Acesso em: 02 maio 2021.

CINEXPAN. **Isolamento Térmico na Última Laje**: contribuição para o máximo conforto térmico e grande economia de energia. Contribuição para o máximo conforto térmico e grande economia de energia. 2021. Disponível em: <https://www.cinexpan.com.br/isolamento-termico-com-argila-expandida.html>. Acesso em: 07 jul. 2021.

CONSTRUCT (Brasil). Construct (ed.). **Desperdício na construção civil**: impactos no meio ambiente. Impactos no meio ambiente. 2016. Disponível em: <https://constructapp.io/pt/desperdicio-na-construcao-civil-impactos-no-meio-ambiente/>. Acesso em: 31 mar. 2021.

CONSTRUÇÃO, Mobuss. **Construção industrializada: por que é tendência no canteiro de obras**. 2020. Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/construcao-industrializada/>). Acesso em: 01 maio 2021.

CONCRETON. **Pré-moldados de concreto**. 2021. Disponível em: <https://www.concretonltda.com.br/>. Acesso em: 05 jul. 2021.

CONCRETO, Copel Pré-Moldados em. **Aduela de Concreto**. Disponível em: <http://tuboscopel.com.br/produto-view/aduela-de-concreto/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

CICHINELLI, Gisele. **Instalações em steel frame**. 50. ed. Brasil: Equipe Obra, 2012. 11 p.

DEBS, Monuir Khalil El. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 75 p.

DESLAURIERS, J. P. **Pesquisa Qualitativa – Guia Prático**. Montreal, 1991. McGraw-Hill.

FERREIRA, Erickson Alves de Fontes. **Construção Enxuta**: uma ferramenta para o enfrentamento do cenário atual de crise econômica. 2016. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2015.2/construcao-enxuta-uma-ferramenta-para-o-enfrentamento-do-cenario-atual-de-crise-economica.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2021.

**GRANDES CONSTRUÇÕES**. São Paulo/Sp: Sobratema, nov. 2010. Mensal. Disponível em: [www.grandesconstrucoes.com.br/Edicoes/Visualizar?IDEdicao10](http://www.grandesconstrucoes.com.br/Edicoes/Visualizar?IDEdicao10).

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Ufrgs, 2009. 120 p.

GT GESTÃO DE TRANSPORTES ESPECIAIS (Brasil). **Veículos e/ou cargas que precisam de AET**. Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/lei/aet.asp>. Acesso em: 06 jul. 2021.

GIBB, Alistair GF. **Off-site fabrication: prefabrication, pre-assembly and modularisation**. John Wiley & Sons, 1999.

HORTA, Bernardo de Andrade. **CONSTRUÇÃO MODULAR TRIDIMENSIONAL**:: pré-fabricação, tecnologia, trabalho, obsolescência e arquitetura. 2021. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia das Construções, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

KAWECKI, Leonard Robert. **Environmental performance of modular fabrication: calculating the carbon footprint of energy used in the construction of a modular home**. Arizona State University, 2010.

LIS, Laís. **Déficit habitacional do Brasil cresceu e chegou a 5,876 milhões de moradias em 2019, diz estudo**. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/03/04/deficit-habitacional-do-brasil-cresceu-e-chegou-a-5876-milhoes-de-moradias-em-2019-diz-estudo.ghtml>. Acesso em: 06 abr. 2021

MACÊDO, Julianne Simões de. **Um estudo sobre o sistema construtivo formado por paredes de concreto moldadas no local**. 2016. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de

Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2015.2/um-estudo-sobre-o-sistema-constutivo-formado-por-paredes-de-concreto-moldadas-no-local.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MATIAS, Átilas. **Fordismo**. 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/fordismo.htm>. Acesso em: 02 maio 2021.

MERCKITS. **Kits Parede Hidráulica**. Disponível em: <https://www.merckits.com.br/br/produto/kits-parede-hidraulica>. Acesso em: 06 jul. 2021.

NAKAMURA, Juliana. **O QUE É INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO E POR QUE INVESTIR NISSO?** 2018. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/o-que-e-industrializacao-na-construcao-e-por-que-investir-nisso/#:~:text=A%20constru%C3%A7%C3%A3o%20industrializada%20se%20dedica,canteiro%20prontos%20para%20serem%20montados>. Acesso em: 02 maio 2021.

OLIVEIRA, Paulo. **MODULAR BUILDING: BENEFÍCIOS DA CONSTRUÇÃO MODULAR: principais vantagens e benefícios da construção modular**. Principais vantagens e benefícios da Construção Modular. 2019. Disponível em: <https://www.buildin.com.br/modular-building/>. Acesso em: 05 jul. 2021.

PACI PROJETOS (Recife) (ed.). **Sistema PEX: como obter vantagens na sua utilização**. Como obter vantagens na sua utilização. Disponível em: <http://paci.com.br/instalacoes/sistema-pex-como-obter-vantagens-na-sua-utilizacao/>. Acesso em: 06 jul. 2021.

PAULANI, Fernando. **A tecnologia das construções em pré-fabricados de concreto**. 2008. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

PENA, Rodolfo Alves. **Toyotismo e acumulação flexível**. 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/toyotismo-acumulacao-flexivel.htm>. Acesso em: 02 maio 2021

PINTO, Tales. **Princípios do Taylorismo**. 2021. Disponível em: <https://www.historiadomundo.com.br/idade-contemporanea/principios-do-taylorismo.htm#:~:text=Concebido%20como%20um%20m%C3%A9todo%20cient%C3%ADfi>

co,do%20final%20do%20s%C3%A9culo%20XIX.&text=O%20termo%20taylorismo%20deriv  
a%20do,em%20empresas%20industriais%20nos%20EUA. Acesso em: 02 maio 2021.

RICHARD, R. B. Capítulo - Industrialized Building System Categorization. In: SMITH, R. E.;  
QUALE, J. D. **Offsite Architecture - Constructing the future**. Londres: Routledge, 2017.

SOUSA, Rafaela. **Taylorismo**. 2019. Disponível em:  
<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/taylorismo-fordismo.htm>. Acesso em: 02 maio 2021.

TAGAR, Grupo. **AUTO GRUAS / GRUAS MÓVEIS**: auto guas / guas móveis. AUTO GRUAS  
/ GRUAS MÓVEIS. 2021. Disponível em: <https://www.grupotagar.com/files/cranes/LTM-1025.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

TARTUCE, T. J. A. **Métodos de pesquisa**. Fortaleza: UNICE – Ensino Superior, 2006.  
Apostila.

TREJOR. Emenda de Elementos Pré-moldados. 2017. Disponível em:  
<https://www.trejour.com/emenda-de-elementos-pre-moldados>. Acesso em: 05 jul. 2021.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa  
em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

UNIVERSIDADE TRISUL. **Construção Modular**: perspectivas e desafios. 2020. Disponível  
em: <https://goinggreen.com.br/2020/12/16/construcao-modular-perspectivas-e-desafios>.  
Acesso em: 05 jul. 2021.

WELTER HOLZBERGER (Rio Claro). **Implantação e layout da Fábrica (02)**. Disponível em:  
<http://www.clubedoconcreto.com.br/2019/04/implantacao-e-layout-da-fabrica-03.html>. Acesso  
em: 01 jul. 2021.