

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCOS RODRIGUES LINS

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES
COM O SISTEMA DE CONSTRUÇÃO MODULAR *OFF-SITE***

Delmiro Gouveia

2023

MARCOS RODRIGUES LINS

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES
COM O SISTEMA DE CONSTRUÇÃO MODULAR *OFF-SITE***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Alagoas, como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharelado em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Felisberto de
Lima.

Delmiro Gouveia

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4/2209

L759a Lins, Marcos Rodrigues

Análise da viabilidade da construção de casas populares com o sistema de Construção Modular *Off-Site* / Marcos Rodrigues Lins. - 2023.

87 f. : il.

Orientação: Marcelo Felisberto de Lima.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2023.

1. Construção civil. 2. Construção Modular *Off-Site*. 3. Viabilidade. 4. Habitação popular. 5. Casa popular. 6. Sistema construtivo. 7. Impacto ambiental. I. Lima, Marcelo Felisberto de. II. Título.

CDU: 624.05

MARCOS RODRIGUES LINS

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE CASAS POPULARES
COM O SISTEMA DE CONSTRUÇÃO MODULAR *OFF-SITE***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora do curso de Engenharia Ci-
vil da Universidade Federal de Alagoas e apro-
vada em 31 de Julho de 2023.

Documento assinado digitalmente
 MARCELO FELISBERTO DE LIMA
Data: 03/08/2023 15:09:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador

Prof. Dr. Marcelo Felisberto de Lima, Universidade Federal de Alagoas

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ODAIR BARBOSA DE MORAES
Data: 03/08/2023 11:22:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno

Prof. Dr. Odair Barbosa de Moraes, Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 JESSICA BEATRIZ DA SILVA
Data: 03/08/2023 10:08:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinadora Externa

Msc. Jéssica Beatriz da Silva

DEDICATÓRIA

Dedicado a toda força de vontade e convicção
que alinhados a fé e foco, possibilitou este tra-
balho.

Ao nascer, jogaram-me as maçãs
de Kafka, há uma metamorfose em
processo

(Evan Do Carmo)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que possibilitou todos acontecimentos e aprendizados que me conduziram a este momento.

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Felisberto de Lima, pela orientação, suporte e paciência ao longo de todo o processo.

Aos meus familiares e amigos, por me apoiarem e me incentivarem a perseguir meus objetivos acadêmicos, mesmo em momentos difíceis.

Meus Pais Sr. José Marcio Rodrigues Lins e Sra. Marizete da Silva Lins, que com suas lutas e sacrifícios, me possibilitaram chegar a este momento.

A minha querida Raiana Porfírio de Lima, assídua companheira, sem a qual não seria possível alcançar a qualidade presente.

À Universidade Federal de Alagoas - Campus do Sertão, por fornecer o acesso às ferramentas e recursos necessários para a realização deste trabalho.

Á todo apoio e suporte do Odair Barbosa de Moraes, com sua experiência e bondade.

E a todos os profissionais da área que contribuíram com suas pesquisas, estudos e teorias, que foram a base para a elaboração deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise da viabilidade da construção de casas populares com sistema de construção modular *off-site*, existente em outros tipos de construção, como escolas, comércios e etc. comparado aos sistemas de alvenaria convencional, alvenaria estrutural e paredes de concreto moldada no local. Primeiramente buscou-se explicar o cenário atual da construção civil no Brasil e suas capacidades, importância e impacto socioeconômico. Em seguida, apresentou-se conceitos de industrialização para a construção civil e os aspectos construtivos dos sistemas abordados, partindo de elementos como fundação, estrutura, vedação, revestimentos e instalações complementares. O objetivo maior deste trabalho é investigar a viabilidade da construção modular *off-site* como alternativa para a construção de casas populares, frente aos demais sistemas mencionados realizando uso de uma ampla e aprofundada revisão bibliográfica, onde encontre que o método construtivo modular *off-site* possa ou não ser mais vantajoso nos aspectos de desempenho, qualidade, custo de obra, impacto ambiental, produtividade e principalmente prazo de obra, através de uma análise SWOT seguida de uma tabela de prioridades, como uma melhor e promissora possibilidade para construções habitacionais populares.

Palavras-chave: Construção Modular *off-site*. Sistemas Construtivo. Impacto Ambiental. Habitações Populares. Tecnologia.

ABSTRACT

This study conducts an analysis of the viability of constructing low-cost houses using an off-site modular construction system, which is already used in other types of construction such as schools, commercial buildings, etc., as compared to conventional masonry systems, structural masonry, and on-site cast concrete walls. Firstly, the current scenario of the civil construction industry in Brazil and its capabilities, importance, and socioeconomic impact were discussed. Subsequently, industrialization concepts for civil construction and the construction aspects of the mentioned systems were presented, covering elements like foundations, structures, enclosures, finishes, and complementary installations. The main objective of this work is to investigate the feasibility of off-site modular construction as an alternative for low-cost housing construction, compared to the other mentioned systems. This investigation is carried out through a comprehensive and in-depth literature review, which will determine whether the off-site modular construction method is more advantageous in terms of performance, quality, construction cost, environmental impact, productivity, and, most importantly, construction time. This analysis will be conducted using a SWOT analysis followed by a priority table, aiming to identify if the off-site modular construction is a better and promising possibility for low-cost housing projects.

Keywords: Modular Construction off-site. Construction Systems. Environmental Impact. Affordable Housing. Technology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	— Características dos métodos	56
Quadro 2	— Análise SWOT - Alvenaria Convencional	72
Quadro 3	— Análise SWOT - Alvenaria Estrutural	73
Quadro 4	— Análise SWOT - Paredes de Concreto Moldada no Local . .	74
Quadro 5	— Análise SWOT - Modular <i>Off-site</i>	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	— Variação de volume do PIB referente a anos anteriores . . .	17
Figura 2	— Variação de volume do PIB referente a anos anteriores <i>per capita</i>	18
Figura 3	— Variação de Volume do PIB da Indústria e Subsetores	20
Figura 4	— Diagrama de produção com sistema modular <i>off-site</i>	30
Figura 5	— Fase A - Canteiro de Obras	32
Figura 6	— Fase A - Fábrica	33
Figura 7	— Fase B - Instalação Final e Ajustes Finos.	33
Figura 8	— Montagem de Edifício Multifamiliar	35
Figura 9	— Centro de Tratamento do Hospital M'Boi Mirim	35
Figura 10	— Períodos de construção relativos para um prédio modular de 6 andares em comparação com a construção totalmente no local.	37
Figura 11	— Projeto Tipo - Fase A no Campo	39
Figura 12	— Chassi do Módulo	40
Figura 13	— Piso do Módulo	41
Figura 14	— Estruturas de Paredes	41
Figura 15	— Revestimento Interno - Áreas Secas	42
Figura 16	— Revestimento Externo - Áreas Externas	43
Figura 17	— Projeto Tipo - Fase B no Campo	44
Figura 18	— Sistema de Alvenaria Convencional	45
Figura 19	— Sistema de alvenaria estrutural	47
Figura 20	— Sistema de Concreto Moldado <i>in loco</i>	49
Figura 21	— Edifício de concreto moldado no local	49

Figura 22	— Projeto Tipo - Arquitetônico	53
Figura 23	— Projeto Tipo - Arquitetônico em Perspectiva	53
Figura 24	— Projeto Tipo - Alvenaria Convencional	58
Figura 25	— Projeto Tipo - Alvenaria Estrutural	59
Figura 26	— Projeto Tipo - Parede Moldada no Local	60
Figura 27	— Projeto Tipo - Modular <i>off-site</i>	61
Figura 28	— Valores Totais e Diferença Comparado ao Sistema Modular <i>off-site</i>	62
Figura 29	— Curva ABC - Sistema de Alvenaria Convencional	63
Figura 30	— Curva ABC - Sistema de Alvenaria Estrutural	64
Figura 31	— Curva ABC - Sistema de Paredes de Concreto Moldadas <i>in loco</i>	64
Figura 32	— Curva ABC - Sistema Modular <i>Off-Site</i>	65
Figura 33	— Sistema de Alvenaria Convencional	67
Figura 34	— Sistema de Alvenaria Estrutural	68
Figura 35	— Sistema de Paredes de Concreto Moldadas no local	68
Figura 36	— Sistema Modular <i>Off-Site</i>	69
Figura 37	— Prazo de execução em dias úteis e diferença em relação ao Modular <i>off-site</i>	70

LISTA DE SIGLAS

PIB	Produto Interno Bruto
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida
CVA	Casa Verde e Amarela
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ABRAINC	Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias
PPP's	Parcerias Público-Privadas
BIM	Building Information Modeling
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
CAIXA	Caixa Econômica Federal

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	PIB total do Brasil em milhões de R\$	16
Tabela 2	PIB Nacional Per Capita	18
Tabela 3	PIB por Setores e Subsetores	19
Tabela 4	Quadro de áreas mínimas	52
Tabela 5	Sistema de Alvenaria Convencional	58
Tabela 6	Sistema de Alvenaria Estrutural	59
Tabela 7	Sistema de Paredes de Concreto Moldadas no local	60
Tabela 8	Sistema de Construção Modular <i>off-site</i>	61
Tabela 9	Tabela de Prioridades Considerando Pontos Fortes e Fracos, Internos e Externos da Análise SWOT	76

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivos Específicos	15
2	A CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS CARACTERÍSTICAS	16
2.1	Importância da Construção Civil no PIB Nacional Brasileiro	16
2.2	Construção Civil no Brasil	21
2.3	Atratividade Financeira da Construção Civil	23
2.4	A Construção Civil em Habitações Populares	24
2.5	Industrialização da Construção Civil	24
2.5.1	Construção Enxuta	26
2.5.2	Indústria 4.0	27
2.5.3	Modelagem de Informação da Construção (BIM)	28
2.6	A Construção Modular <i>Off-Site</i>	29
2.6.1	Características e Processos	32
2.7	Sistemas Construtivos Utilizados em Habitações Populares	37
2.7.1	O Procedimento Modular <i>Off-site</i>	39
2.7.2	Alvenaria Convencional	44
2.7.3	Alvenaria Estrutural	46
2.7.4	Paredes de Concreto Moldadas no Local	48
3	METODOLOGIA	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.0.1	Alvenaria Convencional	58
4.0.2	Alvenaria Estrutural	59
4.0.3	Paredes de Concreto Moldadas no local	60
4.0.4	Modular <i>off-site</i>	61
4.0.5	Curva ABC	62
4.1	Cronograma Físico	66
4.2	Qualidade e Meio Ambiente	71
4.3	Análise SWOT e Tabela de Prioridades	72
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	78
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho investiga possibilidades de reduzir o deficit habitacional com rapidez, sem perder a qualidade, focando em um dos principais setores do país, a construção civil.

Para Teixeira e Carvalho (2005), o desenvolvimento do país está atrelado de forma indireta ao setor da construção civil, o que faz olhar mais atenciosamente para este setor com grande influência no produto interno bruto do Brasil.

O deficit habitacional é, segundo Antunes (2022), um problema recorrente que afeta seis milhões de famílias por todo o país, seja por não ter moradia própria ou por ter condições precárias de moradia.

A tecnologia vem impulsionando novas possibilidades, cada vez mais econômicas, eficazes e eficientes em diversos setores como automobilística e produção de elementos fabris.

Compreender a importância de investimentos em inovação e tecnologia, para que aprimore a gestão e a qualidade dos projetos e processos construtivos, além de buscar meios de estimular o investimento privado e a participação do setor financeiro na construção de infraestrutura. A implementação de práticas mais sustentáveis também pode gerar benefícios financeiros para o setor, como a diminuição dos custos com energia e água, além de valorizar os imóveis.

Assim, será investigado a inserção de conceitos da indústria 4.0 e construção enxuta na construção de casas populares no Brasil, com o intuito de responder a seguinte pergunta: "Como tornar produtiva a construção de casas populares com qualidade, menos custos, menores prazos de construção e menos impactos ambientais?"

Há muitos desafios a serem superados na construção civil, como a falta de mão de obra qualificada, a escassez de materiais sustentáveis e a necessidade de redução dos impactos ambientais. Por isso, a evolução da tecnologia construtiva é fundamental para enfrentar esses desafios e buscar soluções mais eficientes e sustentáveis. É, portanto, necessário o empenho na pesquisa e desenvolvimento para criar sistemas construtivos que atendam as exigências do mercado, capacitando os profissionais da área a utilizá-los de forma adequada.

A construção modular *off-site* tem ganhado destaque como uma abordagem inovadora na construção civil, apresentando potencial para atender às demandas de construção de casas populares de maneira eficiente e acessível. Nesse sistema construtivo, os módulos da edificação são fabricados em uma fábrica, fora do local de construção, e posteriormente transportados e montados no local final.

Essa abordagem oferece várias vantagens para a construção de casas populares. Em primeiro lugar, permite um controle de qualidade mais rigoroso, uma vez que os módulos são produzidos em condições controladas e padronizadas na fábrica. Isso resulta em uma maior precisão e qualidade das estruturas, evitando problemas comuns em obras convencionais. Além disso, a fabricação dos módulos em ambiente industrial permite um aumento significativo na produtividade, reduzindo o tempo de construção e os custos associados.

Outros diferenciais do método são sua flexibilidade e adaptabilidade. Os módulos po-

dem ser projetados de acordo com as necessidades específicas de cada habitação, permitindo uma personalização adequada às demandas e preferências dos moradores. Além disso, essa abordagem construtiva é mais sustentável, uma vez que permite uma redução significativa do desperdício de materiais e um menor impacto ambiental durante a construção. Busca-se, dessa forma, alcançar a integração da segurança, economia e estética com os avanços tecnológicos da sociedade, rompendo com os métodos construtivos convencionais.

1.1 Objetivo Geral

Investigar a viabilidade da construção modular *off-site* como uma alternativa para a construção de casas populares.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para esta pesquisa, foram definidos por:

- Realizar levantamento bibliográfico sobre o impacto da construção civil no Brasil, de forma social, técnica e econômica;
- Analisar as características do *lean construction* e da indústria 4.0 na construção civil;
- Pesquisar sobre o sistema construtivo modular *off-site* e o que proporciona para a construção de casas populares;
- Identificar os principais métodos utilizados no Brasil para construção de casas populares;
- Desenvolver um projeto arquitetônico para avaliar financeira e cronologicamente os sistemas construtivos;
- Avaliar as diferenças entre construção modular *off-site* e os sistemas construtivos mais utilizados para casas populares.

2 A CONSTRUÇÃO CIVIL E SUAS CARACTERÍSTICAS

Este capítulo aborda os conceitos fundamentais e as tecnologias relevantes no âmbito da construção civil brasileira, examinando os impactos sociais, técnicos e econômicos associados a essas tecnologias. Também são explorados dois tópicos específicos: a construção modular off-site, como sistema construtivo inovador que envolve a fabricação de componentes em ambiente controlado e sua posterior montagem no local da construção e a aplicação da indústria 4.0 na construção civil, com conceitos tecnológicos e de otimização de processos.

2.1 Importância da Construção Civil no PIB Nacional Brasileiro

Como o setor da construção civil é atrelado ao setor da indústria, que por sua vez compõe o total nacional, convém analisar esta participação dentro do subsetor da industrialização, e assim consegue-se perceber como ocorreu sua oscilação, através de dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - (IBGE), (2022) e a Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC, através de um acompanhamento da maior esfera até a menor, assim, começa-se avaliando o PIB total do Brasil, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – PIB total do Brasil em milhões de R\$

[HTML]FFFFFFF	[HTML]FFFFFFFAno	[HTML]FFFFFFFPIB - correntes	PIB - ano anterior	[H
	2002	1.488.787	1.355.932	
	2003	1.717.950	1.505.772	
	2004	1.957.751	1.816.904	
	2005	2.170.585	2.020.441	
	2006	2.409.450	2.256.583	
	2007	2.720.263	2.555.700	
	2008	3.109.803	2.858.838	
	2009	3.333.039	3.105.891	
	2010	3.885.847	3.583.958	
	2011	4.376.382	4.040.287	
	2012	4.814.760	4.460.460	
	2013	5.331.619	4.959.435	
	2014	5.778.953	5.358.488	
	2015	5.995.787	5.574.045	
	2016	6.269.328	5.799.370	
	2017	6.585.479	6.352.263	
	2018	7.004.141	6.702.942	
	2019	7.389.131	7.089.646	
	2020	7.609.597	7.147.007	

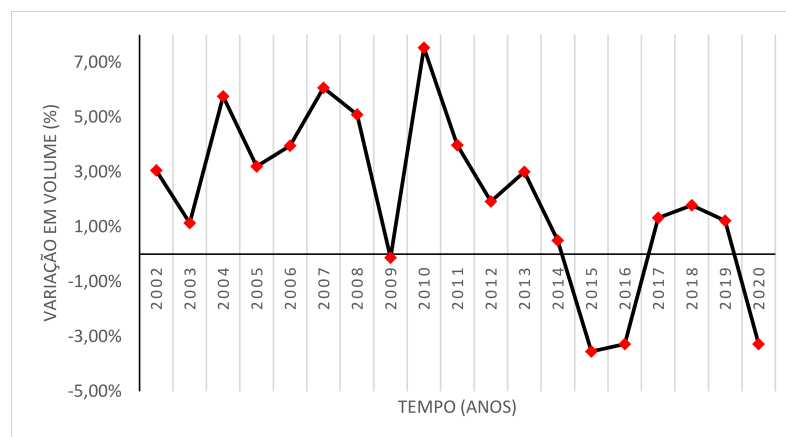
Fonte: Autor (2023)

O PIB total é uma soma das capacidades de produção no país gerada no período referido, tendo assim vários setores e subsetores como mencionado outrora. Este valor global é avaliado

e definido pelo IBGE, que fornece trimestralmente um relatório sobre o respectivo assunto, na Tabela 1 tem-se disponível o PIB total do Brasil em escala de milhões de reais no período respectivo, considerando os preços correntes e o preço do ano anterior, em sequência, encontra-se uma variação em porcentagem que possibilita o acompanhamento da oscilação existente no período de 2002 a 2020.

Como pode-se ver, o PIB acumulado cresceu de 2002 a 2004 com uma baixa vista em 2003, seguiu-se crescendo até 2008 e houve uma queda significativa de 0,1% abaixo de zero e em 2010 subiu consideravelmente para 7,5%, o que decresceu oscilando até 2019 para 1,2%. Com o início da pandemia este valor despencou para -3,3% novamente, o que significa uma baixa significativa nas construções em todo o território nacional, consequentemente uma taxa significativa de desemprego, graficamente, tem-se na Figura 1 o comportamento anteriormente descrito, porém agora visual ao longo do tempo.

Figura 1 – Variação de volume do PIB referente a anos anteriores



Fonte: Autor (2023)

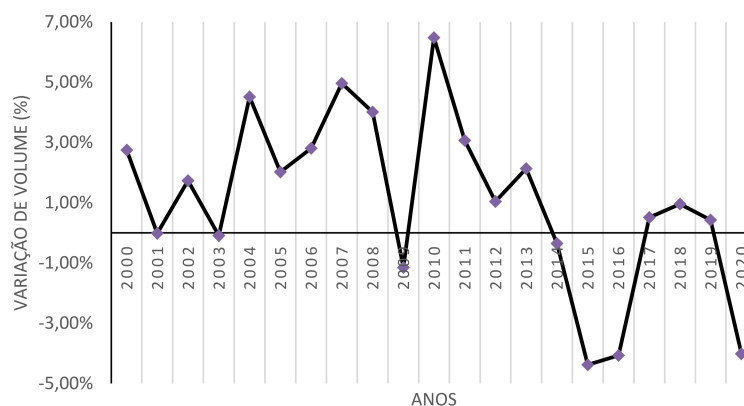
O PIB *per capita*, que calcula-se dividindo o valor total do PIB do referido ano pelos habitantes com força/capacidade de trabalho, conforme descreve IBGE (2014), se refere às pessoas com idade para trabalhar (acima de 14 anos) que não estão trabalhando, mas estão disponíveis e tentam encontrar trabalho. Assim, para alguém ser considerado desempregado, não basta não possuir um emprego. Algumas pessoas, mesmo que não possuam emprego não podem ser incluídas como desempregado, como dona(o) de casa que dedica-se exclusivamente aos cuidados do lar, universitário que exerce suas cargas horárias estudando e empreendedor(a) que tem negócio próprio, logo, com a população apta a trabalhar, tem-se a Tabela 2.

Tabela 2 – PIB Nacional Per Capita

Ano	Habitantes (mil)	PIB Correntes (R\$)	PIB ano anterior (R\$)	Volume (%)
2002	178.499	8.340,58	7.596,29	1,7
2005	184.991	11.733,45	10.921,83	2,0
2006	187.062	12.880,52	12.063,31	2,8
2007	189.038	14.390,01	13.519,49	5,0
2008	191.010	16.280,82	14.966,94	4,0
2009	192.981	17.271,34	16.094,29	-1,1
2010	194.891	19.938,60	18.389,58	6,5
2011	196.604	22.259,91	20.550,41	3,1
2012	198.315	24.278,35	22.491,80	1,0
2013	200.004	26.657,54	24.796,66	2,1
2014	201.718	28.648,74	26.564,31	-0,3
2015	203.476	29.466,85	27.394,16	-4,4
2016	205.157	30.558,75	28.268,02	-4,1
2017	206.805	31.843,95	30.716,23	0,5
2018	208.495	33.593,82	32.149,19	1,0
2019	210.147	35.161,70	33.736,58	0,4
2020	211.756	35.935,74	33.751,19	-4,0

Fonte: Autor (2023)

Da Tabela 2, extrai-se a Figura 2, que traz oscilação semelhante ao do PIB Nacional, o que assegura boa congruência entre a distribuição *per capita*.

Figura 2 – Variação de volume do PIB referente a anos anteriores *per capita*

Fonte: Autor (2023)

Esta oscilação mantém-se ao dividir o produto interno bruto nacional para os habitantes com potencial de trabalho, ocupantes, em um decréscimo significativo quando comparado o valor inicial em 2002 ao final em 2020.

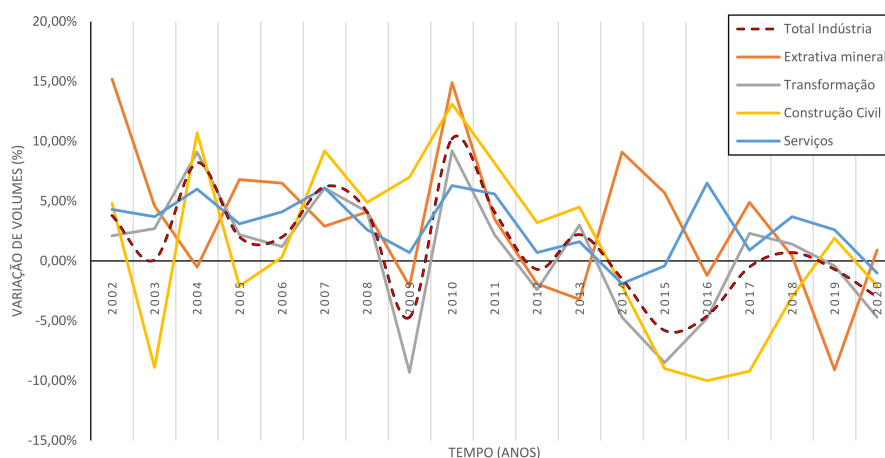
Como dito dantes, o PIB ainda divide-se em setores, sendo o secundário o analisado por referir-se ao setor da indústria. Consequentemente os principais setores e subsetores da construção civil que se aloca em indústria, tal qual sofreu oscilações neste período, entre a indústria, serviços e agropecuária, a Tabela 3 demonstra a variação de volume do PIB no setor da indústria e seus subsetores extrativa mineral, transformação, construção civil e serviços que se refere a produção e distribuição de energia, água, saneamento entre outros serviços similares.

Tabela 3 – PIB por Setores e Subsetores

Ano	Total Indústria	Extrativa mineral	Transformação	Construção Civil	Serviços
2002	3,80%	15,20%	2,10%	4,80%	4,30%
2003	0,10%	4,60%	2,70%	-8,90%	3,70%
2004	8,20%	-0,50%	9,10%	10,70%	6,00%
2005	2,00%	6,80%	2,20%	-2,10%	3,10%
2006	2,00%	6,50%	1,20%	0,30%	4,10%
2007	6,20%	2,90%	6,10%	9,20%	6,10%
2008	4,10%	4,10%	4,10%	4,90%	2,60%
2009	-4,70%	-2,10%	-9,30%	7,00%	0,70%
2010	10,20%	14,90%	9,20%	13,10%	6,30%
2011	4,10%	3,50%	2,20%	8,20%	5,60%
2012	-0,70%	-1,90%	-2,40%	3,20%	0,70%
2013	2,20%	-3,20%	3,00%	4,50%	1,60%
2014	-1,50%	9,10%	-4,70%	-2,10%	-1,90%
2015	-5,80%	5,70%	-8,50%	-9,00%	-0,40%
2016	-4,60%	-1,20%	-4,80%	-10,00%	6,50%
2017	-0,50%	4,90%	2,30%	-9,20%	0,90%
2018	0,70%	0,40%	1,40%	-3,00%	3,70%
2019	-0,70%	-9,10%	-0,40%	1,90%	2,60%
2020	-3,00%	0,90%	-4,70%	-2,10%	-1,00%

Fonte: Autor (2023)

A Tabela 3, exprime as oscilações do PIB no setor de indústria e seus subsetores, desta forma, a mesma nos permite avaliar graficamente na Figura 3.

Figura 3 – Variação de Volume do PIB da Indústria e Subsetores

Fonte: Autor (2023)

As máximas e mínimas da construção civil, como pode-se observar na Figura 3, acompanham em maiores volumes a indústria em si, destacando a importância deste setor para a indústria brasileira.

As oscilações existentes advêm de acontecimentos gerais econômicos e específicos do setor que ocorrem no Brasil, como iniciativas de programas de financiamento como o Programa Minha Casa, Minha vida - PMCMV, sendo estes o principal meio de financiamentos imobiliários atualmente.

O PMCMV criado em março de 2009 pela medida provisória 459 de 26 de março de 2009 tinha por fim, combater o déficit habitacional brasileiro, valendo-se da Lei 10.257 de 2001, responsável por compor as políticas públicas habitacionais (FEDERAL, 2014), A Lei Nº 11.977, de 7 de julho de 2009, tem por finalidade criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais ou requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais, para famílias com renda mensal de até R\$ 4.650,00 (quatro mil, seiscentos e cinquenta reais).

Ao observarmos a Figura 3, nota-se que após 2009, a construção civil atingiu seu maior pico no período, com PIB próximo a 15% em relação ao ano anterior, posteriormente, decaiu com uma leve estabilização até o ano de 2013, onde decaiu-se e entrou em recessão e voltou a recuperar-se até sair de uma variação negativa em 2019, mas com a chegada da pandemia, iniciou uma nova queda. Segundo Brasil (2021), a construção havia retraído em 2017 e 2018 e voltou a crescer em 2019, alcançando 1,5%. A criação de empregos no setor também voltou a crescer, após vários anos de queda ou estagnação.

Destaca ainda a Brasil (2021), que no setor da indústria da construção, em 2010 as obras de infraestruturas correspondiam a 44,1% e em 2019, tinha seu primeiro lugar tomado para a construção de edifícios, que veio crescendo a cada ano desde 2010, após a consolidação e popularização do PMCMV, encontrando-se em 2019 com 44,2%.

As mudanças na atuação da indústria da construção, conforme Brasil (2021), são constatadas com os tipos de obras e/ou serviços prestados, onde em 2010 o primeiro lugar era da construção de ferrovias, rodovias, obras urbanas e outras de artes especiais, retendo 21%. Em 2019, constatou-se a inversão que começou a passos largos desde 2010, o primeiro lugar foi ocupado por obras residenciais com 25,7% de participação, e em segundo, serviços especializados para construção, com 19,8% de participação no setor.

Segundo Luiz (2022), com baixo investimento previsto para 2023, de apenas 1,2 bilhão de reais, atinge com uma redução de 90% a população alvo, prejudicando consequentemente o setor da construção civil.

O impacto destes acontecimentos atinge diretamente a construção civil, mas também a taxa de desemprego e população que necessita do programa para alcançar a residência própria.

2.2 Construção Civil no Brasil

A construção civil é significativa para a sociedade. Diversos aspectos da sociedade são moldados pela construção civil, que por sua vez remetem à técnicas de construção influenciadas pela história da construção como conhecimento milenar e tecnológico. Este conhecimento se traduz nas características da sociedade, como suas formas, cores, ritmo, mobilidade urbana, segurança e conforto. A construção civil possui forte influência no bem estar social, seja como geradora de emprego ou no desenvolvimento econômico com empreendimentos na área da educação, da saúde, habitações, em estradas, entre outros.

Para Teixeira e Carvalho (2005), o desenvolvimento do país está atrelado de forma indireta e induzida, ao setor da construção civil, em sua industrialização, especificamente, visto como um setor econômico estrategicamente importante, não só pelo seu impacto direto, mas pelo potencial de crescimento.

Como os demais setores utilizam de meios para produção e distribuição, como estradas, portos, aeroportos e depósitos entre outros, a construção civil enquadra-se no figurante de impacto, pois possibilita os outros setores desenvolver-se consequentemente. Teixeira e Carvalho (2005) defendem que a indústria da construção civil está amplamente difundida em território nacional, embora hajam concentrações de empresas nas regiões Sul e Sudeste.

O setor tem grande influência no produto interno bruto (PIB) do Brasil, como em 2003, que a construção civil participou em 7,23% para a formação do PIB Nacional e movimentou cerca de R\$100,951 bilhões, já descontados os impostos indiretos líquidos e demais taxas (Teixeira; Carvalho, 2005).

De acordo com Brasil Escola (2022), a economia brasileira é dividida em três grandes setores: o primário, o secundário e o terciário. Cada um desses setores abrange atividades econômicas, essa categorização permite avaliar a composição da economia nacional e identificar quais setores precisam de programas e leis que promovam seu desenvolvimento como um todo.

O setor primário é composto por atividades extrativistas de matéria-prima, como agricul-

tura, pecuária, pesca e extrativismo mineral. O setor secundário são atividades industriais nos mais diversos ramos, como automobilística, metalúrgica, têxtil, celulose, dispositivos eletrônicos e a construção civil. Segundo Brasil Escola (2022), o terceiro setor da economia pode ser definido como aquele que reúne todas as atividades referentes aos serviços prestados por empresas e pessoas, como também o comércio. Assim, esse setor terciário abrange muitas atividades não só dos setores anteriores mas outras demais atividades.

A compreensão da divisão da economia brasileira em setores é considerada essencial para a formulação de políticas públicas e estratégias empresariais que visam promover o desenvolvimento econômico do país. O setor terciário predomina na economia brasileira, mas o setor secundário desempenha um papel significativo na geração de empregos e na produção de bens de consumo e exportação. Dessa forma, o equilíbrio entre esses setores é crucial para um desenvolvimento econômico sustentável.

A construção civil no Brasil enfrenta desafios significativos, como a falta de investimentos em infraestrutura, burocracia excessiva, escassez de mão de obra qualificada e a dependência de financiamentos públicos e/ou privados. Esses obstáculos podem prejudicar o crescimento do setor e, por consequência, sua contribuição para a economia do país.

Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2019), "[...] em 2020, o setor da construção civil foi responsável por cerca de 9% do PIB brasileiro e gerou mais de 2 milhões de empregos diretos". Além disso, o setor também é notavelmente um pioneiro impulsionador de outros segmentos, como o de materiais de construção, imobiliário e de infraestrutura.

De acordo com o Portal da Indústria:

A dependência da produção industrial e também das tecnologias por países desenvolvidos denota fragilidade econômica, que poderia ser amenizada, por exemplo, com implementação de planos governamentais e projetos que viabilizem a produção das áreas de ciência e tecnologia, com fins de promover o desenvolvimento industrial nacional, já que a indústria desempenha um papel estratégico no fortalecimento de todo o setor produtivo brasileiro (Portal da Indústria, 2022).

Demonstrando-se de grande importância, a busca por novas soluções cada vez mais tecnológicas para que assegure a progressão do setor e da economia em si, a indústria da construção civil tem forte influência na economia do país e suas alterações no decorrer do tempo influenciam diretamente ou até indiretamente em diversos segmentos da economia nacional, como mineração, tecnologia, ciências e etc. Segundo Vieira e Nogueira (2018), o setor é tido como um dos mais importantes para a economia, por colaborar substancialmente para a disponibilidade de empregos diretos, isto é, na própria construção civil, e de milhares de empregos indiretos em outras áreas industriais.

De acordo com Souza et al. (2015), após a estabilização do Plano Real, a economia brasileira buscou métodos construtivos mais eficientes e com melhor relação custo-benefício. A

privatização de empresas importantes como a Companhia Vale do Rio Doce e a Light Serviços Elétricos S.A. contribuiu para um crescimento de 2,9% na construção civil em 1996. No início dos anos 2000, com a gradual retomada de ferramentas de crédito, o setor registrou crescimento de 2,1% em 2000 após queda no ano anterior.

Um bom programa de crédito para financiamento é capaz de incentivar e impulsionar o setor com impacto significativo, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2023), o PIB da construção civil no Brasil evoluiu 4% no último trimestre de 2020, incentivado pela retomada de obras do programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), pelo aumento de obras de infraestrutura e por incentivos fiscais do governo.

Ainda de acordo com o IBGE (2023), os investimentos do governo em infraestrutura foram responsáveis por um aumento de 2,2% no PIB da construção civil no primeiro trimestre de 2021.

2.3 Atratividade Financeira da Construção Civil

O deficit habitacional é um problema corrente no Brasil, que afeta milhões de pessoas e se manifesta tanto em áreas urbanas quanto rurais. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023), cerca de 5,9 milhões de famílias brasileiras viviam em condições inadequadas de moradia.

A análise da percepção do mercado da construção civil pelos brasileiros para compra, construção, venda, terceirização e desenvolvimento de novas técnicas é fundamental para o desenvolvimento da atratividade financeira do setor.

Para enfrentar o problema do deficit habitacional, o governo brasileiro vem adotando diversas políticas públicas, como a construção de moradias populares, a regularização fundiária e o financiamento habitacional. No entanto, ainda há muitos desafios a serem superados, como a falta de recursos, a burocracia e a má gestão dos projetos, (Ministério do Desenvolvimento Regional, 2023).

Para a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias - (ABRINC), (2021), o setor da construção civil tem uma importância considerável no crescimento econômico e geração de empregos no Brasil, assim, a economia caminha com mesma sintonia do setor para a mesma.

Para manter a prosperidade do setor, o crescimento do PIB e solucionar problemas de habitação populacional, é necessário o constante progresso e evolução das tecnologias aplicadas para tornar a construção cada vez mais prática, rápida e segura.

O setor da construção civil enfrenta o desafio de se adequar às novas exigências ambientais e sociais constantemente, é crescente a demanda por práticas construtivas sustentáveis e socialmente responsáveis, o que implica na necessidade de as empresas adotarem medidas para reduzir o impacto ambiental de suas obras e garantir condições de trabalho cada vez melhores. Ressalta-se que esse desafio pode demandar investimentos significativos, mas é essencial para assegurar a sustentabilidade do setor a longo prazo, com medidas e soluções tecnológicas, como construção enxuta e maximização da industrialização dos processos da construção civil.

2.4 A Construção Civil em Habitações Populares

O Brasil a partir de 2003 começou uma abordagem social, com programas que amenizassem o deficit frente as necessidades básicas da população carente, logo criou-se o Ministério das Cidades. Jardim e Porcionato (2017) referem-se a este processo como objetivado a combater as disparidades sociais, criando espaços humanizados e garantir a maximização do acesso a transporte, saneamento e moradia.

Para os programas criados pelo governo, Jardim e Porcionato (2017) abordam em sua pesquisa que foi implementada estratégias de ampliação do mercado privado, por meio de Parcerias Público-Privadas (PPPs), com o objetivo de direcionar os recursos financeiros federais para as faixas de renda abaixo dos cinco salários mínimos, onde se concentra a maior parte do deficit habitacional.

Posteriormente, com o desenvolvimento do PMCMV entre outros incentivos, Jardim e Porcionato (2017), afirmam que entre 2009 e 2014, o PMCMV atendeu a 6,8 milhões de beneficiários, onde desse total, 52% com renda até R\$ 1.600,00; 39% com renda até R\$ 3.275,00 e 9% com renda de até R\$ 5.000,00.

O PMCMV foi criado em 2009 para combater o deficit habitacional no Brasil e a Lei Nº 11.977, de 2009, teve como finalidade criar mecanismos de incentivo à produção e aquisição de novas unidades habitacionais ou requalificação de imóveis urbanos e produção ou reforma de habitações rurais para famílias com renda mensal de até R\$ 4.650,00. Após 2009, a construção civil atingiu seu maior pico no período, com PIB próximo a 15% em relação ao ano anterior. Posteriormente, houve uma leve estabilização até o ano de 2013, quando o setor entrou em recessão.

A crescente importância e expansão da construção civil no país levanta preocupações sobre o rumo que esse método consolidado de construir está tomando, especialmente em relação à sustentabilidade, tecnologia e qualidade. É fundamental que o atendimento às necessidades da população seja feito de forma tecnológica e com alto padrão de qualidade, gerando benefícios para a comunidade, o meio ambiente e o mercado da construção civil. Isso impulsiona a industrialização do setor, por meio da adoção de metodologias cada vez mais atualizadas.

2.5 Industrialização da Construção Civil

A industrialização na construção civil é um processo que tem ganhado cada vez mais importância no setor. De acordo com Formoso e Agopyan (2005), a utilização de técnicas e tecnologias industriais na construção de edifícios e infraestruturas é uma forma de aumentar a produtividade, reduzir custos e melhorar a qualidade dos produtos finais. Com a padronização e a utilização de processos industriais, é possível reduzir o tempo de execução de obras, além de garantir a precisão e a uniformidade dos elementos construtivos.

Além dos benefícios em termos de eficiência e qualidade, a padronização e o uso de proces-

sos industriais na construção civil também oferecem oportunidades significativas para a redução dos impactos ambientais. Com a fabricação de elementos construtivos em ambiente controlado, é possível minimizar o desperdício de materiais, otimizando o uso dos recursos naturais. Além disso, a pré-fabricação dos componentes permite uma gestão mais eficiente dos resíduos gerados durante o processo, facilitando a reciclagem e a destinação adequada. Dessa forma, a construção industrializada contribui para a sustentabilidade ambiental, promovendo a redução do consumo de recursos naturais e a diminuição do impacto sobre os ecossistemas locais.

A conscientização e a educação dos profissionais e usuários da construção civil são fundamentais para a redução dos impactos ambientais. É necessário disseminar boas práticas, incentivar a adoção de sistemas construtivos sustentáveis.

Segundo estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - (IPEA), construção civil quando industrializada pode trazer benefícios, como a redução do tempo na execução de obras, a redução do orçamento e elevação da qualidade. Sobretudo, a utilização de processos industriais pode proporcionar maior segurança e sustentabilidade às construções (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019).

Dessa forma, a industrialização na construção civil é uma estratégia essencial para enfrentar os desafios da urbanização e da demanda crescente por habitações e infraestruturas, através da adoção de tecnologias em aspectos sustentáveis, econômicos e produtivos.

Uma abordagem que tem ganhado destaque na construção civil é a modularização, que consiste na produção de módulos pré-fabricados em pátios, enviadas para sua montagem no canteiro de obras. A modularização permite uma maior eficiência na produção, redução de custos e prazos mais curtos para a entrega do projeto. Segundo Lavall (1998), "[...] a modularização pode ser aplicada em diversos tipos de construção, desde casas até prédios de grande porte".

Mas, ainda assim, a implementação de um sistema de produção na construção civil enfrenta alguns desafios, que são, segundo Koskela (2001), a resistência cultural, falta de investimentos tanto em tecnologias, como na especialização de mão de obra, e a falta de padronização na construção civil também dificulta o acesso e implementação de sistemas de produção, como a modularização.

Apesar dos desafios, a adoção de sistemas de produção na construção civil é fundamental para a atualização da indústria e para o aumento da competitividade e melhor capacidade de resposta às demandas da sociedade por habitação. O uso de metodologias como a modularização pode ajudar as empresas a melhorar sua eficiência e produtividade, além de reduzir custos e prazos de entrega dos projetos, aumentando assim a atratividade e impulsionando a implementação da construção modular.

Uma abordagem sustentável que vem ganhando destaque na indústria da construção civil é a construção modular *off-site*. Essa metodologia se baseia na fabricação de componentes em ambiente controlado, fora do local de construção, e posterior montagem no local final. A sustentabilidade é alcançada por meio de diversos aspectos desse sistema construtivo.

Primeiramente, a redução significativa do desperdício de materiais. Na fabricação em ambiente controlado, é possível otimizar o uso dos recursos, minimizando perdas e descartes desnecessários. Além disso, a possibilidade de reutilização de materiais em diferentes projetos, bem como a fácil desmontagem e remontagem dos módulos, contribui para a redução do impacto ambiental.

A eficiência energética das construções modulares, com a padronização dos componentes que permite uma melhor integração de isolamento térmico e sistemas de eficiência energética, resultando em menor consumo de energia ao longo da vida útil da edificação.

2.5.1 Construção Enxuta

O *Lean Construction* é uma metodologia que tem ganhado cada vez mais espaço no setor da construção civil por oferecer uma abordagem inovadora para o gerenciamento de projetos. Segundo Ballal e Anumba (2015), o principal objetivo da metodologia é reduzir o desperdício em todas as fases construtivas, desde o projeto até a entrega, tendo a maximização de percepção de valor para o cliente. Dessa forma, é possível melhorar a eficiência dos processos e reduzir custos, resultando em um produto final de maior qualidade.

Grandes problemas na construção civil podem ser definidos, sendo os atrasos no prazo da obra, a falta de segurança no local de trabalho e também o desperdício de materiais os principais, por má alocação ou imperícia da mão de obra, surge assim um conceito que vem ganhando espaço com intuito de corrigir estas problemáticas, denominado construção enxuta, ou em vernáculo: *lean construction*.

Outra vantagem da *lean construction* é a sua abordagem colaborativa, que incentiva a comunicação e a colaboração entre todas as partes envolvidas no projeto, incluindo proprietários, contratantes e fornecedores, conforme Abdullah, Halim e Rizal (2019). Essa abordagem ajuda a minimizar conflitos e a promover um ambiente de trabalho mais produtivo e colaborativo. Além disso, a metodologia valoriza a formação de equipes multidisciplinares, o que permite uma maior integração e coordenação entre as diferentes áreas envolvidas no projeto.

Além de iniciativas econômicas e políticas para impulsionar o setor da construção civil e reduzir o déficit habitacional, é de extrema importância o desenvolvimento de novas tecnologias, que tornem o processo construtivo mais rápido, sem perdas nos quesitos de segurança e qualidade, este feito demanda uma demorada e árdua pesquisa por materiais, métodos de uso, funcionalidades e disponibilidade da matéria prima, uma vez que grande impulsionador das novas tecnologias é a busca por sustentabilidade.

Segundo Barros e Costa (2023), os preceitos inspiradores foram os do *lean production*, sendo a indústria da manufatura o ponto de referência para o melhor gerenciamento de recursos e aplicabilidade em relação a construção civil, assim, desenvolve-se os principais conceitos que podem espelhar-se à indústria da manufatura.

Para Vale e Alves (2022), o gerenciamento de projetos consiste em coordenar recursos de

projeto durante seu ciclo de vida através dos métodos adequados, visando as metas de custo, tempo, escopo e qualidade, para isso, um bom planejamento é extremamente importante, para garantir ao gestor um controle e otimização destas metas.

As iniciativas através da pesquisa de materiais e novas metodologias de execução são realizadas através de testes atuais no mercado, como alvenaria de vedação, concreto armado, estruturas de aço e estruturas de madeira e etc. Com estas análises, desenvolvem-se teorias e são aplicadas para análise, e assim surgem as tecnologias construtivas sustentáveis, que ganham espaço e destaque no mercado internacional, cada vez mais.

Com o passar do tempo, estas ideias mundiais vem vagarosamente para o Brasil ou são, aqui criadas, ou até mesmo, aprimoradas, mas pela difícil aceitação do novo, a implementação é uma tarefa árdua para a aceitação de novas técnicas, métodos e a credibilidade no potencial de novos sistemas construtivos.

Assim, os sistemas construtivos trazem em cada um, um aprendizado específico, um considerável passo dado a cada novo modelo construtivo, diz Barros e Costa (2023). Muitas pesquisas vem sendo realizadas neste sentido, como a reutilização de materiais reciclados da própria construção civil, como entulhos ou até resíduos de madeiras, que normalmente seriam descartados, sem nenhum proveito na sociedade.

Ao se falar em produção enxuta, é importante considerar uma gestão que analisa todos os procedimentos do ponto de vista do cliente, limitando o uso de recursos e buscando reduzir o desperdício. Segundo Vale e Alves (2022), essa abordagem visa aumentar a produção com qualidade, reduzindo o tempo e o custo da obra. Dessa forma, é possível obter uma maior eficiência e um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

Além disso, é importante destacar a necessidade de investir em tecnologias que permitam auxiliar na gestão e na execução de projetos de construção. Com o avanço das ferramentas digitais, é possível utilizar softwares de modelagem e simulação, como o Revit e Naviswork da Autodesk, Project da Microsoft entre outros para otimizar o processo de planejamento e a execução das obras, bem como sistemas de automação e controle para garantir uma produção mais eficiente e segura e precisa.

2.5.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é uma tendência que vem sendo amplamente difundida nos últimos anos e apresenta diversos impactos no setor da construção civil, esta nova era tecnológica é caracterizada pela aplicação de tecnologias avançadas, como a inteligência artificial, internet das coisas e big data, com o objetivo de otimizar processos e aumentar a eficiência dos sistemas produtivos.

A Indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial, é um termo que representa um aglomerado de tecnologias que estão revolucionando a forma como as empresas operam e se relacionam com seus clientes. Na construção civil, a Indústria 4.0 está mudando a maneira como as empresas gerenciam seus projetos, tornando os processos mais eficientes, econômicos e sustentáveis.

Segundo Lopez e al. (2019), a Indústria 4.0 na construção consiste em integrar tecnologias como *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da informação da construção, robótica, inteligência artificial, *Internet of Things* (IoT) "Internet das coisas", e *cloud computing* para automatizar processos, aumentar a produtividade e a qualidade do empreendimento.

Sua aplicação na construção civil tem como principal objetivo tornar os processos mais eficientes, eficazes e efetivos possível. De acordo com McKinsey & Company (2018), a implementação da Indústria 4.0 pode reduzir em até 20% os custos de construção e aumentar em 30% a produtividade do setor. Com a utilização de tecnologias como drones, sensores e dispositivos IoT, é possível obter informações precisas sobre o andamento da obra, o que permite a tomada de decisões com menos taxas de imprecisões e maior assertividade.

A mesma também traz inovações que ajudam a garantir a segurança dos trabalhadores no canteiro de obras, por exemplo, com a robótica, é possível realizar atividades de risco, como trabalhos em altura, trabalhos com exposição á químicos, entre outros, sem a necessidade de expor os trabalhadores a situações perigosas. para Lopez e al. (2019), o uso de exoesqueletos robóticos reduzem até 80% do risco de lesões musculoesqueléticas nos colaboradores.

Vale ressaltar os benefícios para a sustentabilidade na construção civil. Com a utilização de tecnologias como *Building Information Modeling* (BIM) e simulação energética, é possível projetar edifícios mais eficientes, que consomem menos energia e água. Segundo PWC (2019), "a utilização da Indústria 4.0 na construção civil pode reduzir em até 50% o consumo de água e em até 30% o consumo de energia elétrica em edifícios". Também permitindo uma maior integração entre as equipes envolvidas na construção civil, por meio do uso de plataformas digitais e sistemas de gestão.

2.5.3 Modelagem de Informação da Construção (BIM)

Para que tenha-se uma boa e assertiva padronização dos processos de execução de uma construção modular, em uma linha de série padronizada, será necessário, compreendermos as tecnologias disponíveis para o projeto, e na atualidade, ao se falar em projetar com qualidade, eficiência e segurança, deve-se abordar o BIM, que é uma metodologia que integra informações em um modelo virtual tridimensional para criar e gerenciar projetos de construção. O modelo BIM é uma base de dados compartilhada entre os membros da equipe de projeto e construção, incluindo arquitetos, engenheiros, empreiteiros e proprietários, que contém informações sobre as características físicas e funcionais do edifício e todas as suas disciplinas, justamente, que permitirá separar as partes e executar, sem perda de dados ou desintegrar o projeto em seu total. O modelo BIM é capaz de integrar informações relacionadas à geometria, materiais, custos, prazos, segurança e operação do edifício, permitindo que os profissionais envolvidos no projeto tomem decisões mais informadas e precisas.

Segundo Succar (2009), o BIM traz ganhos para o processo de construção, como a redução de erros e retrabalhos, a melhora na comunicação entre a equipe de projeto, a detecção anteci-

pada de conflitos e a maior eficiência na gestão de custos e prazos. A utilização do BIM permite também a criação de simulações virtuais e modelos para visualização do projeto, facilitando a compreensão e comunicação com todos envolvidos no projeto.

Para Eastman et al. (2011), o BIM é uma ferramenta que evoluiu tecnologicamente do desenho bidimensional, posteriormente tridimensional até chegar a plataforma de colaboração que comporta todo o ciclo de vida de um projeto. A implementação do BIM traz também, benefícios para o meio ambiente, pois a integração das informações e a simulação virtual permitem a análise de alternativas de projeto que reduzem o impacto ambiental, como a utilização de materiais sustentáveis, sistemas de ventilação e iluminação mais eficientes e a redução do consumo de energia.

Para Mattos (2019), "A indústria da construção tem sido um dos ramos produtivos que mais vem sofrendo alterações substanciais nos últimos anos". A intensa competitividade atual, o processo de globalização, a agilidade e demanda por bens pessoais impulsionam o setor a ter um planejamento e controle mais rigoroso, cada vez mais econômico, rápido e eficiente, seja no ponto de vista ambiental, ou funcional como discutido antes.

2.6 A Construção Modular *Off-Site*

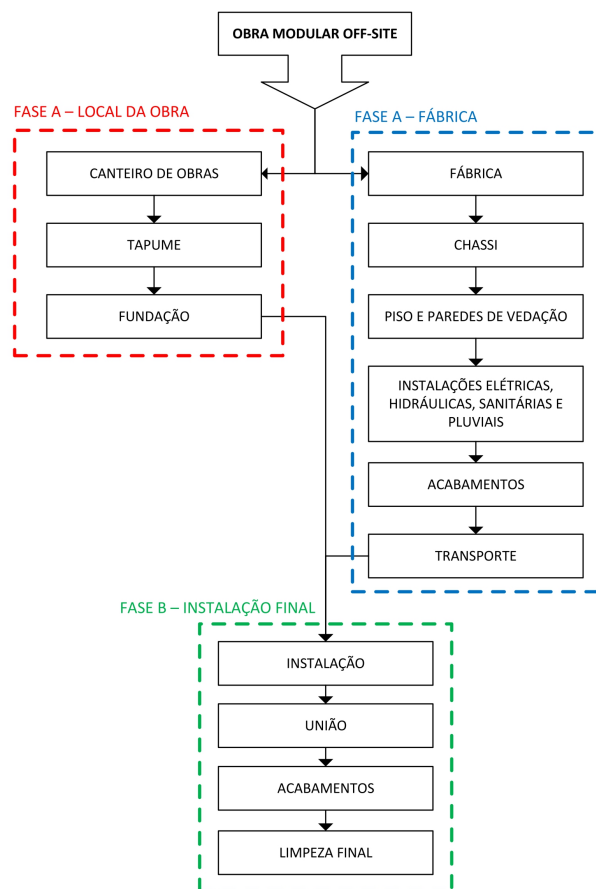
A construção modular off-site é uma abordagem inovadora no setor da construção civil que consiste na fabricação de componentes construtivos em uma fábrica ou ambiente controlado, fora do local da obra. Nesse processo, os elementos modulares são produzidos de forma padronizada e precisamente dimensionados, utilizando tecnologias avançadas e materiais de alta qualidade. Após a fabricação, esses componentes são transportados para o local da construção e montados de maneira rápida e eficiente, resultando na finalização da edificação.

Para Freitas (2014), a construção modular é confundida com a história do pré-moldado, talvez pelo fato de um ajudar a desenvolver habilidades importantes para o outro, como transporte, logística, produção em ambiente controlado, entre outras similaridades.

A construção modular *off-site* é caracterizada pela total industrialização do processo construtivo, sendo assim, produzido os espaços tridimensionais em uma linha de série dentro de uma fábrica. Segundo Guimarães e Santos (2022), a industrialização é alcançada em diversos níveis do projeto, podendo maximizar a efetividade e eficácia da industrialização.

Este sistema pode ser separado em três etapas e desenvolvidas paralelamente, conforme diagrama na Figura 4.

Figura 4 – Diagrama de produção com sistema modular *off-site*



Fonte: Autor, (2023)

No diagrama de produção do sistema modular *off-site* na Figura 4, pode-se encontrar nos retângulos tracejados três etapas denominadas fase a local da obra, Fase A Campo, Fase A Fábrica, e Fase B, instalação final. As duas Fases A seguem em paralelo, onde, na Fase A local da obra, desenvolve-se atividades como escavação, aterramento, fundação e infraestruturas de instalações hidráulicas, sanitárias e elétricas.

A Fase A, Fábrica, enquadra-se a produção dos chassis, pisos e paredes, instalações elétricas, hidrossanitárias e pluviais, os acabamentos e embalagem dos módulos desenvolvidos, por fim da fase, é realizado o transporte dos módulos ao local da obra. Ao chegar, inicia-se a Fase B, instalação final, onde será realizado atividades como instalação dos módulos, união dos mesmos para criar uma volumetria única, ao fim, inicia-se os acabamentos em pontos de união e conexão dos sistemas; ao fim destas atividades, realiza-se a limpeza final e entrega do empreendimento.

Esta possibilidade de separar atividades, realizá-las em paralelo e posteriormente as unir, denomina-se coordenação modular, o que torna o processo construtivo mais rápido, frente a possibilidade de realizar mais de uma tarefa simultaneamente, sem alterar os resultados finais.

Para Kim, Kim e Han (2019), a coordenação modular apresenta uma abordagem que traz consigo uma série de vantagens no contexto da construção civil. Uma das principais vantagens

é a redução de custos, que ocorre devido à padronização dos componentes construtivos. Ao utilizar módulos pré-fabricados, é possível otimizar o processo de produção, reduzindo desperdícios de materiais e aumentando a eficiência no canteiro de obras. Além disso, a coordenação entre os diferentes elementos construtivos é simplificada, o que evita retrabalhos e erros durante a execução do projeto.

Sendo a coordenação modular uma forma de operação, que padroniza seus aspectos e procedimentos, de tal forma que ao aumentar ou reduzir a escala de determinado projeto, não se faz necessário a mudança da tipologia construtiva, sendo válida pra qualquer material que se possa aplicar, como alvenaria estrutural ou a construção modular.

Outra vantagem significativa da coordenação modular é a redução do tempo de execução da obra. Com a utilização de módulos pré-fabricados, é possível acelerar o processo construtivo, uma vez que boa parte da fabricação ocorre em ambiente controlado, paralelamente à preparação do local de instalação. Dessa forma, é possível reduzir os prazos de entrega do empreendimento, atendendo às demandas por construções mais rápidas e eficientes. Além disso, a redução do tempo de execução também implica em menor exposição dos trabalhadores aos riscos presentes no canteiro de obras, contribuindo para a segurança e bem-estar dos profissionais envolvidos.

Além dos benefícios em termos de custos e tempo, a Coordenação Modular também oferece ganhos em relação à qualidade da construção. A padronização dos componentes e a fabricação em ambiente controlado permitem um maior controle de qualidade, garantindo a precisão dimensional e a uniformidade dos elementos construtivos. Isso resulta em um acabamento mais refinado, além de maior durabilidade e resistência da edificação. Com uma construção mais precisa e de qualidade superior, é possível obter uma melhor eficiência energética e maior conforto térmico e acústico para os usuários do espaço construído.

A coordenação modular baseia-se na ideia de que as atividades de determinado projeto possam ser divididos em "partes" independentes e produzidos de maneira separadas, por fim, unidas no final do processo, compondo o resultado final, uma modulação completa de uma edificação. Segundo Molenaar (2014), a coordenação modular permite a padronização dos itens que compõem o módulo, levando ainda a uma redução de custos e qualidade final.

Para Womack e Jones (2003), a produção em série é uma das mais importantes técnicas na manufatura enxuta, que visa maximizar o valor entregue ao cliente como também minimizar os desperdícios e aumentar a eficiência do processo. Já para Slack, Brandon-Jones e Johnston (2019), a produção em série é uma estratégia que permite a produção de bens de consumo em grande escala, aumentando a eficiência produtiva e permitindo a redução de custos em função da padronização.

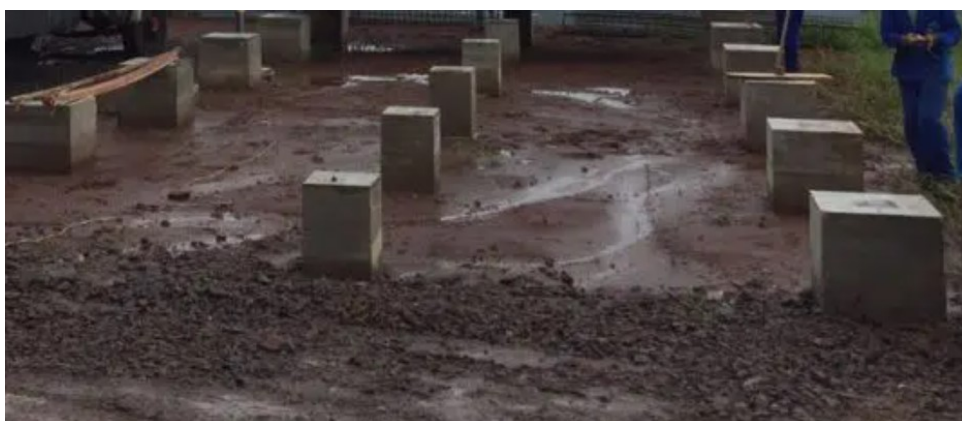
2.6.1 Características e Processos

A construção modular *off-site* é caracterizada pela definição, repetição e padronização dos processos e materiais utilizados em ambiente controlado e o projeto desmembrado em partes, que são produzidas em paralelo e unidas posteriormente, como visto anteriormente visando eficiência. Para Freitas (2014), a pré fabricação surge associada a modularização, onde o que as diferencia é não a normalização dos processos, mas sim a ferramenta e mecanismo utilizados na produção.

Como visto, este sistema é separado em três fases, sendo, Fase A na fábrica, Fase A no canteiro e Fase B a instalação dos módulos no canteiro.

A Figura 5 apresenta a Fase A, que trata-se do preparo do terreno e instalação das fundações e infraestruturas para conectar com os módulos, essas fundações, normalmente são blocos com 50 centímetros de altura que além de proteger os módulos do contato direto com o solo, permite a passagem de tubulações e manutenções futuras e evita percolação de água para os módulos, na Figura 6 encontra-se a fase em paralelo a esta.

Figura 5 – Fase A - Canteiro de Obras



Fonte: adaptado de VISIA (2020)

Na Figura 6, apresenta-se a produção dos módulos separadamente, onde os mesmos são organizados em uma linha de produção em série, neste momento, cada parte é produzida e segue para a próxima posição na linha de montagem, assim, tem-se o chassis, que segue-se para os pilares e união, posteriormente faz-se a instalação de pisos e paredes de vedação, na sequência tem as instalações elétrica, hidrossanitárias e pluviais, posteriormente, acabamentos como pintura, revestimentos, louça, metais e esquadrias.

Figura 6 – Fase A - Fábrica



Fonte: adaptado de VISIA (2020)

Por fim é feita a embalagem do módulo e realizado seu transporte para o local da obra, que assim, entra-se na próxima fase, a Fase B de instalação final (ver Figura 7).

Figura 7 – Fase B - Instalação Final e Ajustes Finos.



Fonte: adaptado de VISIA (2020)

Após o transporte, dá-se início a instalação dos módulos, como demonstrado na Figura 7, estes módulos são alocados conforme posicionamento determinado em projeto e é realizado

os ajustes finos, como a união das estruturas, as conexões elétricas, hidrossanitárias e pluviais entre os módulos, inclusive a cobertura, por fim, uma limpeza fina e a inspeção de seu pleno funcionamento faz-se a obra concluída e entregue.

Para Lawson, Ogden e Goodier (2014), o principal uso da construção modular era a construção de edificações temporárias e transportáveis, mas atualmente a construção pré-fabricada é usada em unidades volumétricas e usados em edifícios como escolas, hospitais e supermercados, até mesmo edifícios residenciais no exterior. A crescente demanda é notada pela natureza do processo *off-site* que traz benefícios econômicos e sustentáveis.

Embora tenha começado a alguns anos, a construção modular *off-site* começa a ganhar força no Brasil com iniciativas de empresas como a Brasil ao Cubo, CMC Modular, Tecverde e DBN, que atuam no país, desenvolvendo projetos com arranjo tridimensional executados em fábrica e instalados no local.

A construção modular *off-site* é definida por Lawson, Ogden e Goodier (2014) como podendo ser:

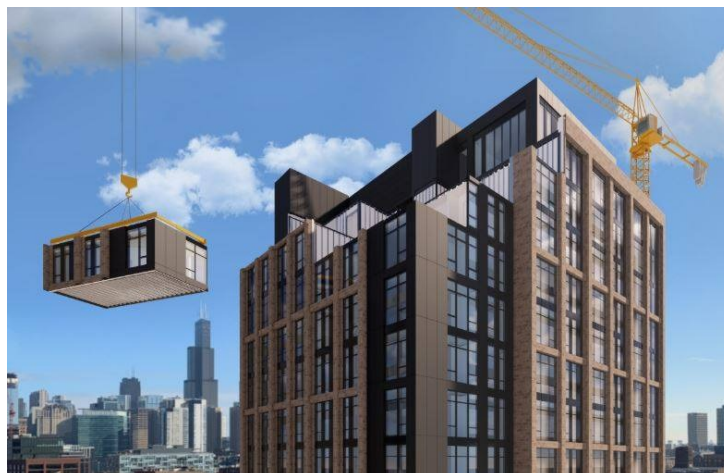
- Modular, de três dimensões, produzida em fábrica e apenas montada no local;
- Planar, de duas dimensões, sendo produzida na fábrica, apenas as partes planas, encaixadas e fixadas no canteiro;
- Mesclada, podendo ser produzida, partes volumétricas (tridimensionais) e partes bidimensionais, conforme definição de projeto.

A construção modular é geralmente aplicada em construções do tipo celular, onde é padronizado os ambientes, com medidas similares principalmente por conta do transporte. De acordo com Lawson, Ogden e Goodier (2014), a construção pode ser definida pelos painéis de fechamento, onde para um ambiente que comporte até dois módulos, uma de suas laterais será completamente aberta, provendo a conexão no local, gerando um amplo ambiente.

Segundo Lawson et al. (1999), o mercado da construção civil japonesa tem amplo domínio da construção modular, com mais de 150 mil casas produzidas anualmente, com alto nível de sofisticação do momento de modelagem até sua entrega.

No Reino Unido, onde iniciou-se em 1998, de acordo com Lawson, Ogden e Goodier (2014), a reformulação da construção, ou *rethinking construction*, movimento que tinha como intuito desenvolver novas metodologias atrativas para a população, considerando o conforto, materiais e ter uma relação mais forte com o cliente, resolvendo impasses como tempo de obra e qualidade geral, como dito.

Figura 8 – Montagem de Edifício Multifamiliar



Fonte: TecnoFrame (2020)

A Figura 8 mostra o projeto de uma montagem de um edifício multifamiliar, onde seus módulos foram transportados e içados conforme projeto, posicionados já prontos pra utilização. Para TecnoFrame (2020) a construção modular "[...] está presente no Brasil há pelo menos 18 anos e recentemente vem ganhando mais destaque no mercado nacional[...]".

Alguns dos principais incentivos a intensificação da construção modular, foram o ambiente controlado, a rapidez e permanência da qualidade, que na pandemia de 2019 era extremamente necessário, pela urgência.

Para Guimarães e Santos (2022), uma importante construção modular *off-site* foi o Centro de Tratamento, anexado ao Hospital Municipal M'Boi Mirim – Dr. Moysés Deutsch, projeto desenvolvido em parceria com Brasil ao Cubo®, Ambev® e Gerdau®, na Zona Sul de São Paulo, presente na Figura 9, abaixo.

Figura 9 – Centro de Tratamento do Hospital M'Boi Mirim



Fonte: Brasil ao Cubo (2020)

O anexo presente na Figura 9 foi planejado e executado para atender as demandas de

tratamentos em casos emergenciais, sendo de uso exclusivo do programa SUS. Posteriormente ao se passar o período, o edifício foi completamente doado para expansão das clínicas existentes no hospital, visto a carência da região circunvizinha.

Conforme desenvolve Guimarães e Santos (2022), ao se juntarem as três empresas citadas, iniciaram a mobilização entre parceiros e estudos de viabilidade, buscando integrar as disciplinas para uma execução ágil, rápida e que fosse economicamente viável.

O projeto se deu em uma coordenação multidisciplinar, onde fora dividida em quatro partes, a montagem dos chassis (piso e teto), as paredes, a montagem do volumétrico e a montagem no local. Estes processos foram desenvolvidos simultaneamente em pátios fabris, que possibilitou uma agilidade incomum aos métodos convencionais. No total foram desenvolvidos 70 módulos, medindo 3,00m por 6,00m cada, totalizando uma área de 1260m².

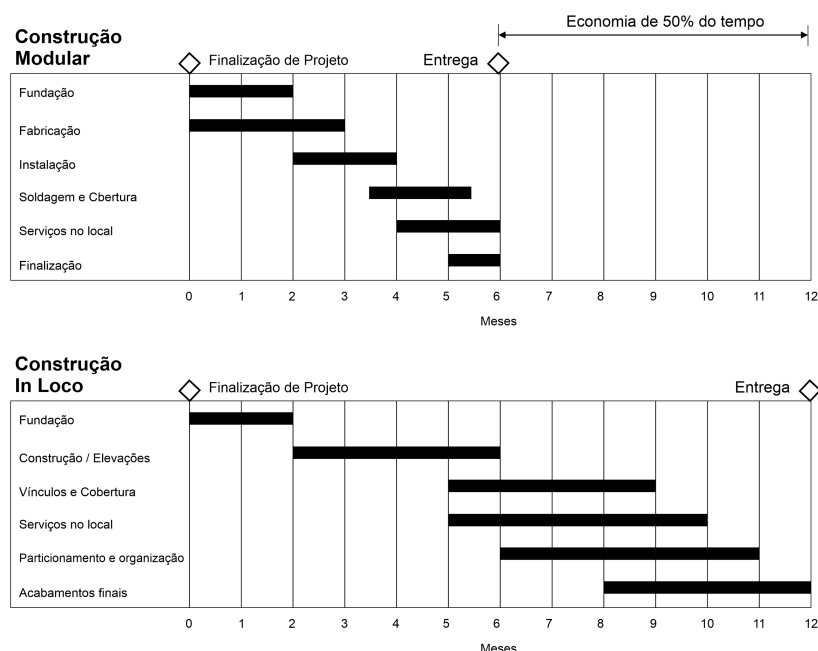
A padronização dos módulos, divididos entre leitos, sala de triagem e passarela, todos com suas conexões individuais executadas e esperas prontas para uma conexão geral das instalações complementares (dados, elétrica, hidráulica e sanitária), sendo conectadas posteriormente com o sistema *plug and play*, desenvolvido pela BR3®, segundo Guimarães e Santos (2022), este termo é advindo da informática, e se refere a dispositivos facilmente acoplados e prontos para uso, os *plugins*.

Já a execução da fundação e acoplagem dos módulos, em São Paulo capital, foi realizada paralelamente às etapas de construção da estrutura e montagem dos módulos, tendo sido utilizada a fundação tipo radier (GUIMARÃES; SANTOS, 2022). Os autores ainda discorrem sobre economia de 20% a 50% no cronograma da construção, ao se comparar com métodos convencionais praticados no país.

Em sua pesquisa, Guimarães e Santos (2022) afirmam que na procura por qualidade, agilidade e impacto social num período considerável, foi realizado o planejamento para ser entregue em um prazo de 40 dias, tendo sido entregue em surpreendentes 33 dias, ou seja, sete dias de antecedência.

Desta forma, fica claro a eficiência do planejamento para essa metodologia construtiva, e Lawson, Ogden e Goodier (2014) desenvolvem sobre o período de execução, como mostrado na Figura 10 abaixo.

Figura 10 – Períodos de construção relativos para um prédio modular de 6 andares em comparação com a construção totalmente no local.



Fonte: Adaptado de Lawson, Ogden e Goodier (2014)

Na Figura 10, Lawson, Ogden e Goodier (2014) demonstram que com a construção modular é possível otimizar em até 50% o tempo de obra, pois muitas atividades podem ser desenvolvidas simultaneamente, como também, os materiais adotados são além de alta qualidade, mais fáceis de trabalhar e de maior disponibilidade no mercado, desde que dentro do orçamento.

O chassi e os painéis tem suas estruturas executadas em aço, utilizando boa parte dos elementos disponíveis no *light steel frame* e os fechamentos são executados com placas cimentícias, placas de chapas de madeira compensada de grande resistência ou até de gesso acartonado, de acordo com especificações.

Para Guimarães e Santos (2022), mesmo sendo um método construtivo oneroso, torna-se um método atrativo ao se considerar o prazo de entrega, qualidade na execução e sustentabilidade. Vale ressaltar ainda a flexibilidade e a qualidade do produto final, que trazem resultados benéficos para uma construção.

2.7 Sistemas Construtivos Utilizados em Habitações Populares

Um método construtivo tem que passar por avaliações de segurança, sustentabilidade e qualidade, através da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a Norma NBR15575: 2021, dividida em seis partes de título: Edifícios Habitacionais - Desempenho, onde tem-se:

Normas de desempenho são estabelecidas buscando atender aos requisitos dos usuários, que, no caso desta Norma, referem-se aos sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado. O foco desta Norma está nos requisitos dos usuários para o edifício habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013)

Como visto, a maximização da industrialização dos processos da construção civil, sempre esteve atrelada á termos como, redução de custo, prazo e aumento de qualidade, Celestino (2021) desenvolve seu trabalho sequencialmente partindo da evolução dos programas habitacionais, criado inicialmente o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), que, conforme o autor, busca desenvolver soluções mais econômicas e de qualidade, para a redução do deficit habitacional.

A aprovação de um sistema construtivo é dada em duas fases, conforme o PBQP-H, segundo Celestino (2021), inicialmente há uma avaliação que analisa os padrões utilizados na metodologia, posteriormente a diretriz técnica valida os dados avaliados e cumprindo todas as etapas, o sistema encontra-se aprovado e apto para sua utilização.

Métodos ou sistemas construtivos são processos que a partir de um material, ou mais, e formas de aplicação definem-se diretrizes que garantem a construção da melhor forma possível.

Entretanto, conforme afirma Barros (1996), a existência e a disponibilidade de uma dada tecnologia construtiva, seja ela racionalizada ou mesmo inovadora, por si só, não garante a melhoria do processo de produção de edifícios ou o incremento da qualidade, tão almejados pelo setor produtivo.

O desenvolvimento tecnológico está altamente ligado com estas metodologias e/ou processos e a partir destas ligações, é possível definir o nível em que se encontra, cada uma, considerando as características específicas da tecnologia construtiva empregada (BARROS, 1996). As caracterizações implementadas na produção de edifícios são especificadas de acordo com este conhecimento tecnológico e é possível assim, propor uma classificação para os diversos processos construtivos que são comumente utilizados.

Com os aspectos anteriormente citados, diversas classificações são propostas pelos pesquisadores mostrando uma não conformidade da escolha, segundo Barros (1996), "Há uma classificação que prevê três níveis distintos para o caso da produção[...]", sendo estes os processos construtivos tradicionais, racionalizados e industrializados, enquanto Martucci (1990) propõe uma classificação com cinco níveis diferentes: artesanais, tradicionais, racionalizados, pré-fabricados e industrializados.

De acordo com Barros (1996 apud MARTUCCI, 1990), 'artesanais são os processos construtivos que carregam um forte traço regional, cultural e histórico'. Como as ocas indígenas, casas e comércios desenvolvidos conforme a cultura lusa, vinda com os portugueses, transmitida de geração em geração. Este processo construtivo é comumente encontrado com construtores locais, que constroem casas e comércios de pequeno e médio porte.

Sabbatini foca sua pesquisa em produção de edifício de múltiplos pavimentos, e não traz em suas definições o termo artesanal, conforme Sabbatini (1989), citado por Barros (1996), 'os processos construtivos tradicionais são aqueles baseados na produção artesanal, com uso intensivo de mão de obra, baixa mecanização, elevados desperdícios de mão de obra, material e tempo', o que pode ocasionar dispersão, subjetividade nas decisões, descontinuidade e fragmentação da obra, gerando problemas que para resolução demandam tempo considerável e ainda geram baixa sincronia entre atividades similares.

A escolha do sistema construtivo que será adotado irá impactar diretamente no tempo, custo e qualidade que a obra terá; este conjunto de técnicas e conhecimentos utilizados são os sistemas construtivos que de acordo com cada um destes sistemas, emprega-se um tipo de estrutura, que irá definir os seus métodos construtivos, segundo Revista: Entenda Antes- O mundo da construção (2020), as principais técnicas utilizadas atualmente são alvenaria convencional, alvenaria estrutural, e paredes de concreto moldadas no local.

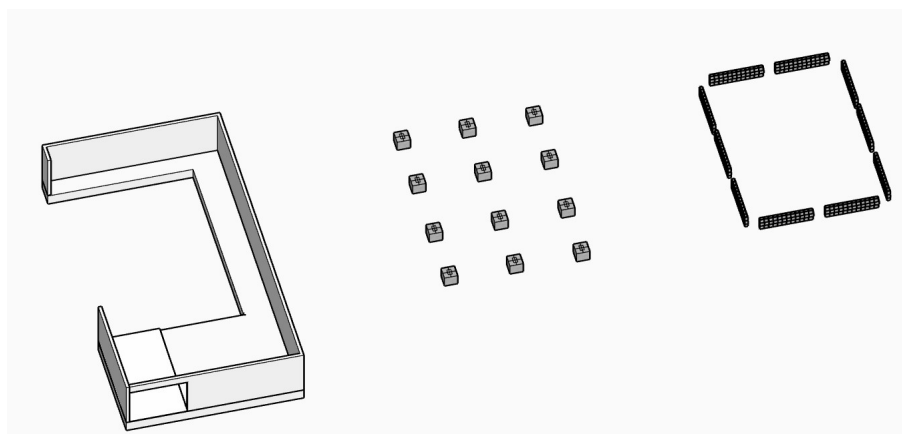
2.7.1 O Procedimento Modular *Off-site*

Para Lawson, Ogden e Goodier (2014), a construção modular é um método inovador que proporciona maior velocidade de construção em comparação com os métodos tradicionais. O procedimento de execução da construção modular envolve diversas etapas bem definidas, após a execução dos projetos e aprovação, o mesmo é separado em três etapas, onde duas são desenvolvidas paralelamente e a última se une no final, conforme diagrama visto na Figura 4.

Enquanto os módulos são construídos na fábrica, no canteiro de obras são executadas as fundações e preparativos para recebimento dos módulos. Assim, pode-se separar o projeto em Fase A, no campo e na fábrica e Fase B, a montagem.

A Figura 11 mostra a Fase A no campo, onde será produzido os serviços preliminares, terraplanagem, execução de fundação e muro de vedação, conforme projeto e especificações técnicas.

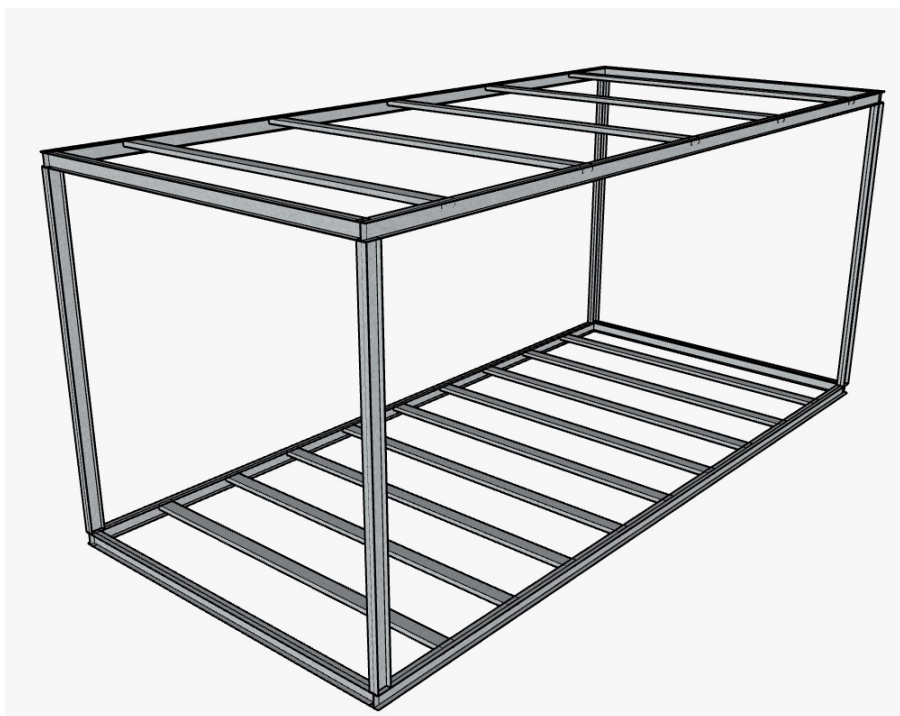
Figura 11 – Projeto Tipo - Fase A no Campo



Fonte: Autor (2023)

A Fase A na fábrica é iniciada com o desenvolvimento do chassi do módulo, conforme a Figura 12, que é a união de elementos de aço, resultando no volumétrico apresentado, após sua conclusão, passa-se à seguinte etapa que pode ser observada na Figura 13.

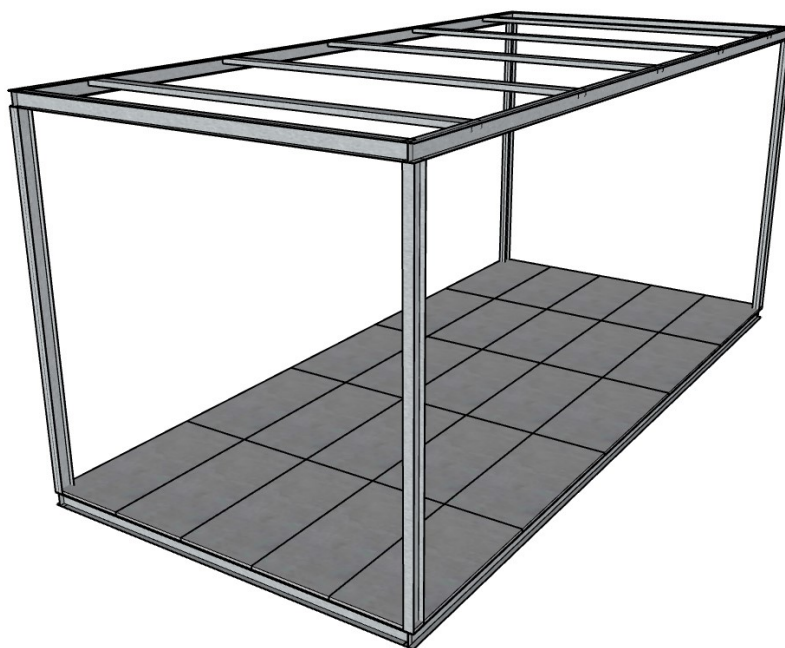
Figura 12 – Chassi do Módulo



Fonte: Autor (2023)

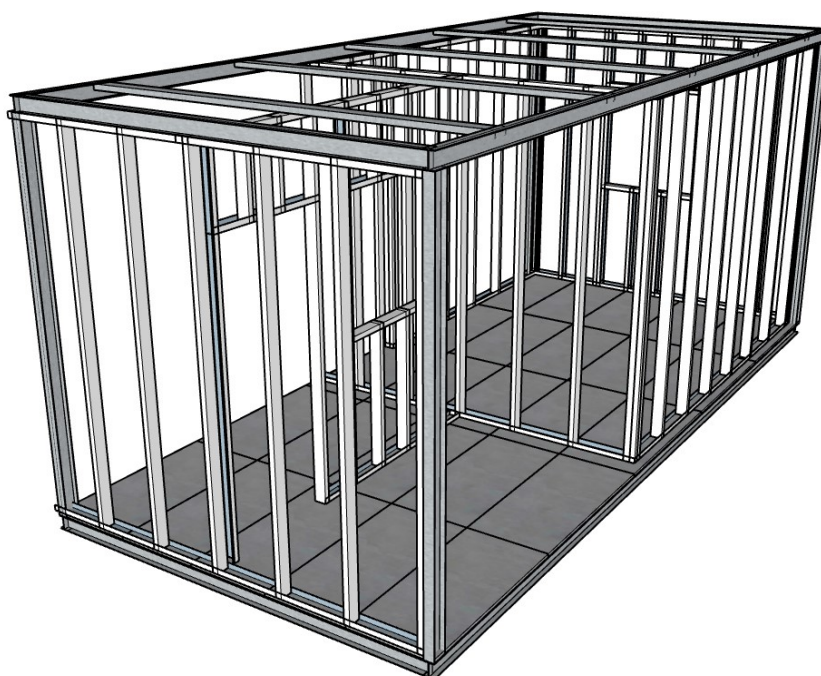
Após a conclusão do chassi, o mesmo passa para a próxima fase na linha de montagem, onde será instalado os pisos com placa cimentícia pré-fabricadas, fixados com parafusos e vedados com silicone. Após a finalização do mesmo, a próxima etapa é a instalação da estrutura metálica das paredes de vedação, tais estruturas são então instaladas conforme projeto, resultando na Figura 14 abaixo. Ao fim das instalações das estruturas, realiza-se as instalações da infraestrutura de disciplinas elétrica, hidrossanitária e pluviais.

Figura 13 – Piso do Módulo



Fonte: Autor (2023)

Figura 14 – Estruturas de Paredes

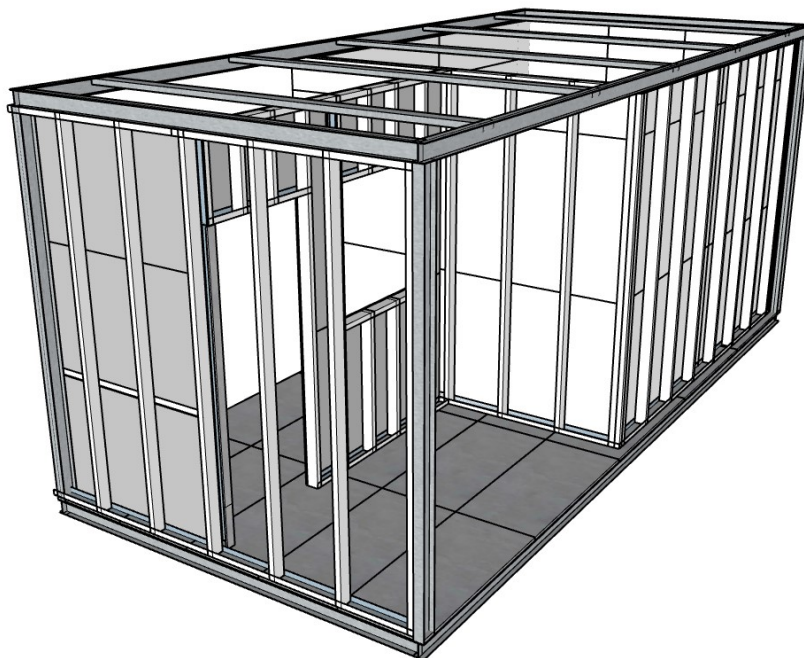


Fonte: Autor (2023)

Ao concluir a instalação de todos os montantes necessários é preparado a instalação dos revestimento de vedação, que conforme o ambiente, pode receber reforço, ou materiais diferentes, por exemplo, a parte interna de áreas secas pode receber chapa de gesso acartonado comum,

representado na Figura 15.

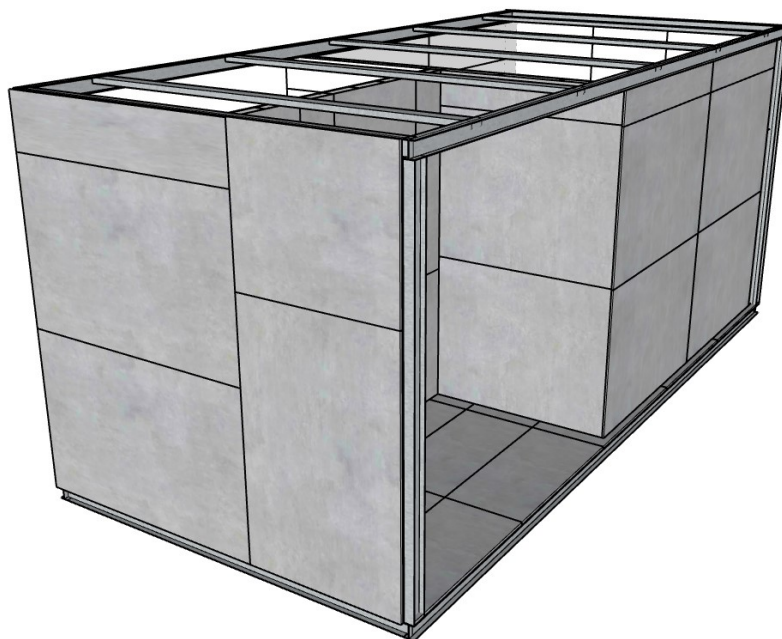
Figura 15 – Revestimento Interno - Áreas Secas



Fonte: Autor (2023)

Áreas úmidas recebem chapa de gesso acartonado resistente a umidade, comercialmente verde, porém nas áreas externas é usualmente utilizado chapas cimentícias, por terem maior resistência a intempéries e estas são as etapas de montagens do módulo representado na Figura 16.

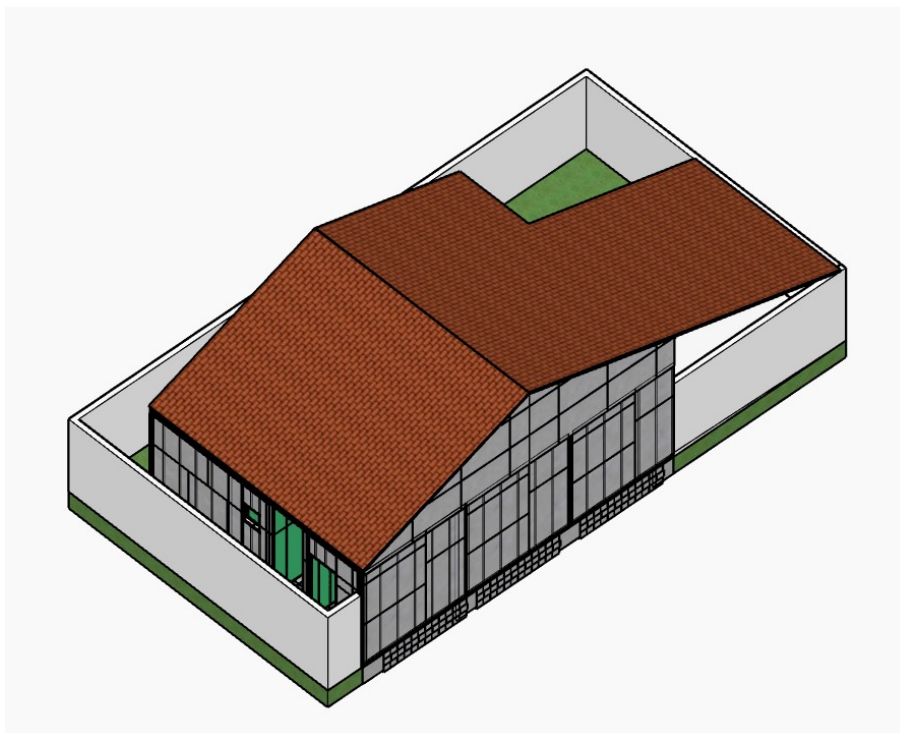
Figura 16 – Revestimento Externo - Áreas Externas



Fonte: Autor (2023)

Após este procedimento concluído, o módulo é direcionado a próxima etapa onde receberá os acabamentos, como aplicação de porcelanato, pintura, instalações de louças, metais e esquadrias, sendo finalizadas, o módulo é embalado, estando pronto para transporte e posterior instalação.

Figura 17 – Projeto Tipo - Fase B no Campo



Fonte: Autor (2023)

A Fase B, é o transporte e instalação (ver Figura 17), onde, após a conclusão da fabricação dos módulos, inicia-se a fase de transporte e montagem no local da obra. Os módulos são cuidadosamente transportados até o local de destino e, em seguida, são instalados e conectados para formar a estrutura final, e realizada a ligação dos sistemas entre módulos, da rede de abastecimento e coleta de água, esgoto e sistema elétrico.

Por fim, é realizada a integração dos sistemas elétricos, hidráulicos e de climatização, garantindo o pleno funcionamento da construção, mas vale lembrar que essa etapa de integração dos sistemas requer cuidado e coordenação, mas é facilitada pela padronização dos módulos e pela pré-instalação de muitos componentes durante a fabricação.

2.7.2 Alvenaria Convencional

A alvenaria convencional ou de vedação é um dos sistemas mais difundidos no Brasil, sendo um método culturalmente disseminado. A baixa necessidade de uma mão de obra especializada torna este sistema preferível, pois com pouca instrução, o profissional é capaz de construir casas e comércios de pequeno e médio porte.

Basicamente, a construção de um empreendimento em alvenaria convencional é caracterizada por um exoesqueleto de concreto armado (volumetria de aço preenchida de concreto) ou estruturas de aço laminados soldados ou parafusados de pilares, vigas e lajes que unificadas geram a estabilidade necessária para o imóvel, e as alvenarias são blocos cerâmicos sem função estrutural assentados um sobre os outros, que posteriormente recebe acabamento, a argamassa,

na sequência: chapisco, emboço e reboco, podendo ainda ser diversificada, como a aplicação direta de gesso que reduz o custo da obra, ou até mesmo outra possibilidade, desde que aprovado e presente na ABNT NBR 15575-1:2013. Na Figura 18 Abaixo, é possível averiguar o esquema da construção.

Figura 18 – Sistema de Alvenaria Convencional



Fonte: Brasil (2017)

Como é possível observar na Figura 18, o exoesqueleto de aço é revestido e preenchido com concreto, visto nas extremidades da parede de blocos cerâmicos vertical e horizontalmente no topo, o que o transforma em um elemento sólido que resiste, absorve e transfere as tensões diretamente para o solo, e a alvenaria presente na figura tem função apenas de separar os espaços, ou seja, vedação de ambiente. Este sistema considera não só a execução da alvenaria em si, mas também, os elementos estruturais, transporte, preparo de massa, forma e desforma, revestimentos e pintura, louças e metais, esquadrias, disciplinas elétrica, hidráulica, sanitária e pluvial, entre outros, para assim se considerar pronta.

Segundo Lacerda e Gomes (2014), a alvenaria convencional, além da separação de ambientes, importantes capacidades são ressaltadas, como isolamento térmico e acústico, resistência a infiltrações de água pluvial, estanqueidade de água entre outros.

Já Gonçalves et al. (2022), define a alvenaria convencional como não dimensionada para resistir tensões, o que permite cortes para passagens de tubulações e elementos de outras disciplinas como elétrica e hidrossanitária, o que não é possível em sistemas de vedação com alvenaria estrutural.

A alvenaria convencional, ou não estrutural, tem assim, como vantagem, a adaptabilidade as necessidades do projeto e um baixo custo inicial, uma vez que não se faz necessária uma coordenação modular, com medidas e disposições específicas, permitindo flexibilidade na execução, contudo, tal sistema apresenta desvantagens como tempo de execução e de cura longos.

Isso pode levar a custos financeiros significativos, pois a chegada dos materiais na obra, bem como o tempo necessário para a montagem e execução de formas, armação e montagem, requerem habilidade e tempo consideráveis.

2.7.3 Alvenaria Estrutural

Para Avellar et al. (2018), a alvenaria estrutural se trata de um sistema construtivo que possibilita uma grande racionalização e alta produtividade quando comparada com os sistemas convencionais.

A alvenaria estrutural apresenta vantagens em comparação à alvenaria convencional, pois utilizando blocos com capacidade de resistir tensões existentes (peso próprio e cargas atuantes), reduz significativamente a necessidade de um exoesqueleto para transferir as cargas à fundação, Kato (2002 apud ROMAN, 1996), relembra que a década de 70 é marcada pelo surgimento da alvenaria estrutural, com a construção de edificações habitacionais notadamente em São Paulo, onde dezenas de prédios com doze até dezesseis pavimentos foram construídos.

Diferentemente dos tijolos cerâmicos sem função estrutural, os blocos estruturais são confeccionados com o objetivo de resistir as tensões e podem ser desenvolvidos com resistência específicas, a depender da demanda de cada projeto.

A alvenaria estrutural é um sistema no qual a sua estrutura é formada pelas paredes, capazes de resistir as tensões de uso e acidentais além de seu peso próprio (AVELLAR et al., 2018). Afirmam ainda Gonçalves et al. (2022), que este sistema faz uma substituição de pilares e vigas, onde eles são utilizados nos sistemas de concreto armado, aço ou madeira, em se tratando da alvenaria estrutural, os blocos, além de exercerem a função de vedação, são os elementos responsáveis por resistir e transferir as cargas para a fundação.

A alvenaria estrutural trouxe consigo um importante fator, a modulação na etapa de elaboração do projeto, por se tratar de elementos de tamanho padrão, confeccionados em série e com resistência definida em projeto estrutural, conforme Roman (1996), "a coordenação modular é a técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência", sendo este reticulado o tamanho padrão do bloco estrutural mais a espessura da argamassa.

Segundo Kato (2002), a modulação é a base do sistema de coordenação dimensional utilizado nos edifícios de alvenaria estrutural, desde a elaboração dos primeiros traços é de extrema importância que trabalhe-se pensando nesta modulação.

Figura 19 – Sistema de alvenaria estrutural



Fonte: Revista: Entenda Antes- O mundo da construção (2020)

A Figura 19, mostra exatamente uma edificação em alvenaria estrutural que permite a não utilização de nenhum outro elemento estrutural como pilares e vigas, mas vale ressaltar que pode ainda o sistema ser híbrido, integrando outros sistemas estruturais com este, a depender das necessidades do projeto, sendo estes substituídos por cintas e pilaretes, que é o preenchimento de espaços específicos na alvenaria com barras de aço e graute (concreto fluido com baixa granulometria), tudo definido conforme projeto.

A partir de Franco (1992), no caso da alvenaria estrutural a coordenação modular está baseada no componente bloco que compõe todas as paredes estruturais. Dentre as vantagens ao adotar tal coordenação, temos a simplificação das atividades de projeto, a padronização dos materiais e componentes aplicados, a redução de problemas de compatibilidade, facilidade em aprender as técnicas pelo profissional, pela ampla repetição, maior precisão na execução, aumento da produtividade e consequentemente, qualidade.

Este sistema construtivo é regido pela NBR 16868, que de acordo com a mesma (ABNT, 2020), trata-se do objetivo de estabelecer os requisitos para o projeto da estrutura, análise do desempenho em situações como incêndio e abalos sísmicos. Esta norma é dividida em cinco partes que compõem estas diretrizes, sendo estas:

- NBR 16868-1: Alvenaria Estrutural - Projetos;
- NBR 16868-2: Alvenaria Estrutural - Execução;
- NBR 16868-3: Alvenaria Estrutural - Métodos de Ensaio;
- NBR 16868-4: Alvenaria Estrutural - Estruturas em situação de incêndio;
- NBR 16868-5: Alvenaria Estrutural - Projeto para ações sísmicas.

Gonçalves et al. (2022) define como vantagens da alvenaria estrutural, a garantia de maior economia e redução dos desperdício de materiais, como também o planejamento da obra torna-se mais preciso, otimizando ainda mais a execução.

Quanto as desvantagens do método, destaca-se a necessidade de uma mão de obra especí-

alizada e a necessidade de vigas de concreto armado ou aço em vãos muito grandes, maiores de três metros, (GONÇALVES et al., 2022).

2.7.4 Paredes de Concreto Moldadas no Local

Tendo como atrativo a economia e tempo, o desenvolvimento do sistema de paredes de concreto moldada no local surgiu após a Segunda Guerra Mundial, no intuito de reconstruir e reestabelecer as comunidades acometidas pela guerra, conforme Queiroz et al. (2018). O autor ainda aborda que no Brasil, seu progresso e disseminação foi lento, iniciando-se testes e pesquisas apenas a partir de 1966, por uma necessidade habitacional emergente no país.

O sistema de parede de concreto moldada no local é um método construtivo que consiste em produzir as paredes da edificação no próprio local da obra. O processo envolve a criação de uma forma que delimita o espaço a ser preenchido com o concreto, que é então vertido na forma e deixado para secar e curar. Esse sistema construtivo tem como principal vantagem a rapidez na execução, reduzindo o tempo de obra e, consequentemente, os custos.

Como afirma Almeida e Júnior (2013), O sistema permite a construção de diferentes tipos de estruturas, como casas térreas, assobradadas, edifícios de até cinco pavimentos padrão, edifícios de oito pavimentos padrão com esforços de compressão, e também edifícios de até 30 pavimentos padrão, e, dependendo do projeto, até mesmo com mais de 30 pavimentos.

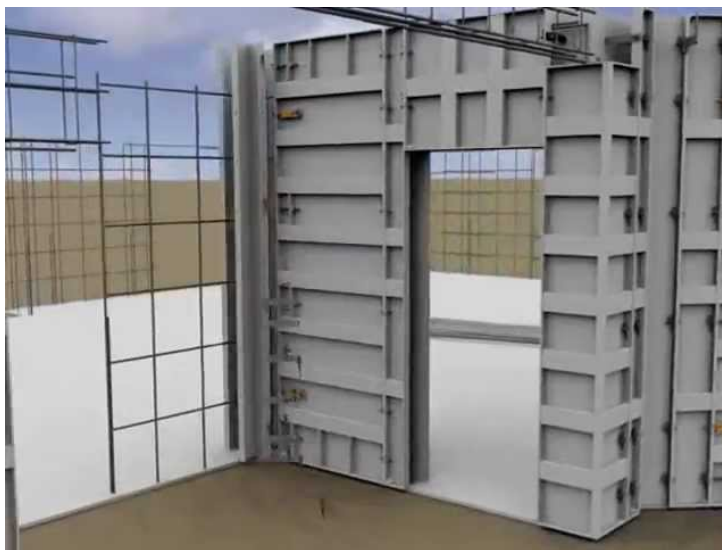
O processo de construção inclui a utilização de formas de plástico, madeira ou metal, que são posicionadas no local onde as paredes serão moldadas, e a aplicação do concreto, que é lançado diretamente nas formas, conforme Vieira, Silva e Goliath (2021). A geometria e dimensões da forma devem ser cuidadosamente projetadas para garantir a qualidade da parede de concreto. Além disso, o controle rigoroso dos materiais, tais como o cimento, o agregado e a água, é fundamental para garantir a resistência e durabilidade do sistema.

De acordo com RÜTHER (2015), a técnica de parede de concreto moldada no local apresenta diversas vantagens em relação a outros sistemas construtivos. Além da rapidez e economia, é possível obter paredes com alta resistência mecânica e estabilidade estrutural, garantindo maior segurança para o edifício. Além disso, a técnica permite a obtenção de paredes lisas e uniformes, o que facilita a aplicação de revestimentos e acabamentos.

Um dos principais desafios enfrentados pelas construtoras que atendem o público de baixa renda é a obtenção de lucro satisfatório nas construções de casas populares. Para contornar essa dificuldade, têm sido empregados sistemas construtivos alternativos que apresentam características como padronização, escalabilidade, redução de desperdício e tempo. Nesse contexto, destaca-se um método de construção racionalizado que oferece produtividade, qualidade e economia em escala. Este sistema permite construir um apartamento popular em um período de 160 a 225 dias, (ALMEIDA; JÚNIOR, 2013 apud ZUNIGA, 2017).

Este sistema trouxe o ganho de produtividade para construções em série, uma vez que utiliza-se formas metálicas em seu maior número pela alta quantidade de reuso (ver Figura 20).

Figura 20 – Sistema de Concreto Moldado *in loco*



Fonte: Moraes (2012)

Ao observar a Figura 20, compreende-se que após a execução da fundação, geralmente em radier (laje plana em concreto armado que proporciona um recalque uniforme, evitando fissuras por recalques diferenciais), são configuradas as malhas de aço das paredes e passagens de tubulações necessárias, após isso, a forma é montada em completo para todas as paredes e laje, então inicia-se o processo de concretagem; após o tempo de desforma previsto, normalmente após 28 dias, retira-se as formas e avança para uma próxima residência ou pavimento, restando apenas os procedimentos de acabamentos, como pintura, revestimentos e instalações complementares para entrega do imóvel, conforme Figura 21.

Figura 21 – Edifício de concreto moldado no local



Fonte: InfoMoney (2021)

A MRV Engenharia e Participações S.A. (MRV) é, segundo Vieira, Silva e Goliath (2021),

a maior construtora residencial da América Latina, liderando o segmento dos imóveis econômicos, comercializados em mais de 150 cidades do Brasil. O principal sistema utilizado é paredes de concreto moldada no local, pois a alta produção, viabiliza a metodologia e aquisição, de por exemplo, formas de qualidade, que podem produzir mais de um condomínio, com um único jogo de formas.

Para Santos, é notável não só a necessidade mas também a importância que é o surgimento da NBR 16.055:2012 de título Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos. Supre a necessidade de padronizar este processo construtivo a fim de desenvolver uma melhor compreensão e qualidade.

Santos (2022) afirma que foi através da norma NBR 16.055:2012, que o sistema começou a ser uniformizado, já que até a metade da década de 90 era pouco utilizada, portanto não se dava a importância necessária à metodologia. Essa uniformização propicia agora maior segurança e promove qualidade na execução com paredes moldadas no local.

De forma gradual a evolução através de pesquisas científicas em busca de tecnologias cada vez mais econômicas, sustentáveis e rápidas que garantam a segurança e qualidade são atrelados a atratividade econômica do país, como formas de impulsionar e regular os investimentos no setor da construção civil.

3 METODOLOGIA

Para Gil (2010), a pesquisa exploratória é utilizada ao se buscar compreender as facetas de um problema ou situação, anteriormente, pouco explorados, com intuito de delimitar o problema de pesquisa e fornecer um acervo intelectual para a elaboração de hipóteses.

A escolha deste método permite uma maior flexibilidade e abertura para a descoberta de novas informações, através da exploração das possibilidades.

Com o intuito de possibilitar um maior entendimento acerca das vantagens e desvantagens do sistema construtivo modular *off-site*, será comparado, com a construção em alvenaria convencional, estrutural, e paredes de concreto moldadas no local, de uma residência unifamiliar popular, projetada para condomínios residenciais de padrão popular.

Para Degani (2017), o planejamento é extremamente importante no processo de construir, neste sentido, desenvolve-se a importância de criar o cronograma físico, tal qual ajuda a compreender não só o tempo necessário de execução, mas também o gasto sub-global de cada atividade que irá compor o custo total da obra.

Mattos (2019) aborda que o primeiro passo para o planejamento é identificar as atividades a serem consideradas e que serão identificadas no cronograma geral do projeto. Posteriormente, deve-se definir a duração destas atividades e a partir disso, desenvolver um diagrama com atividades predecessoras e sucessoras.

Será, como para Mattos (2019), descrita as atividades de cada método construtivo e posteriormente avaliar o contraste de seus orçamentos, cronograma físico e eficácia de cada metodologia.

Com estes dados, será possível realizar uma avaliação através do contraste entre cronograma físico da Construção Modular *off-site* com as demais metodologias construtivas aqui abordadas. Assim será possível avaliar em termos de rapidez e economia os métodos construtivos abordados.

Os capítulos 1, 2 e 3, foram baseados em pesquisas realizadas em artigos, revistas, livros, trabalhos, vídeos e resumos de aulas, para a compreensão dos processos e características existentes e possíveis em cada sistema, sem necessariamente, compreender todas suas particularidades. Para os capítulos 4 e 5 foram utilizados um projeto tipo, desenvolvido pelo autor para a adaptação do mesmo projeto nos sistemas construtivos apresentados.

Com os projetos desenvolvidos em cada sistema construtivo abordado, de acordo com o projeto tipo, foi realizado um levantamento orçamentário e desenvolvido a curva ABC e um cronograma físico.

Os materiais desenvolvidos serão avaliados e estudados seus principais pontos de viabilidade dos sistemas construtivos, a metodologia de análise estratégica *SWOT* simplifica e potencializa a compreensão das características analisadas. Segundo SILVA e GODOY (2021), esta metodologia busca entender e equilibrar os pontos positivos e negativos, podendo ser estes internos ou externos.

Desenvolver características e definições quanto ao projeto escolhido para a análise. Considerando as áreas mínimas por ambiente e um terreno medindo oito metros de frente e 15 metros de comprimento, de geometria pouco acidentada, considerando, assim, plano, temos a composição de espaço abaixo com as áreas mínimas necessárias.

Tabela 4 – Quadro de áreas mínimas

Ambiente	Área (m²)
Sala	12,45
Cozinha	5,98
WC	2,82
Á. Serviço	0,82
Quarto 01	9,53
Quarto 02	6,16
Quarto 03	8,2
Área Externa	60,09

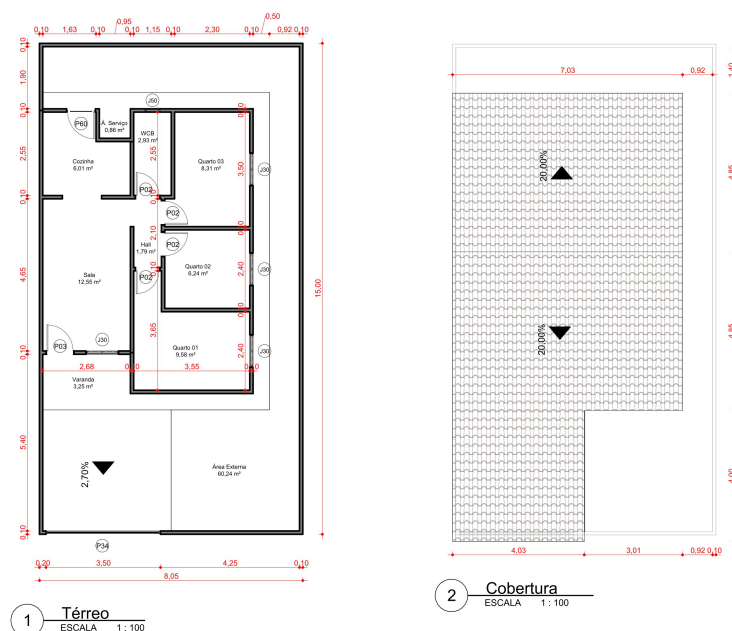
Fonte: Autor (2023)

A Tabela 4 traz as áreas que serão arranjadas no terreno de forma que garanta o conforto e qualidade da residência almejada. Como vimos, o projeto desenvolvido conta com uma composição mínima, sendo assim, três quartos, um banheiro, cozinha, sala, garagem e área externa.

Utilizando o software de modelagem BIM, Revit, da Autodesk® com licença educacional para aluno e da Tabela 4, desenvolveu-se o projeto abaixo.

Na Figura 22, pode-se observar os ambientes mencionados anteriormente, adequadamente dispostos no empreendimento, a construção tem como objetivo ser eficiente e econômica, contando com uma estrutura o mais básica possível que consiga amenizar os impactos patológicos futuros, como a fundação que, de acordo com sua escolha, pode amenizar as fissuras ocasionadas por recalque do solo.

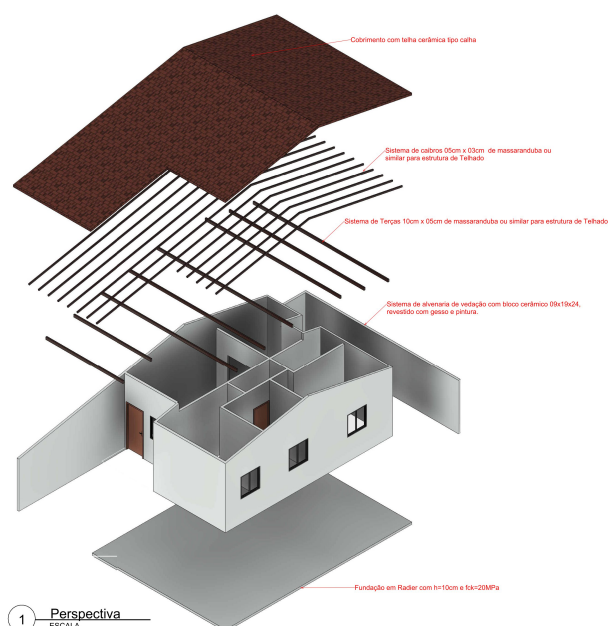
Figura 22 – Projeto Tipo - Arquitetônico



Fonte: Autor (2023)

Na Figura 23 é apresentado o projeto exploratório, baseado no arquitetônico anteriormente desenvolvido, resultando assim, em um modelo tridimensional que permite uma visualização mais precisa dos detalhes, inclusive pelas informações contidas em cada detalhe desenhado.

Figura 23 – Projeto Tipo - Arquitetônico em Perspectiva



Fonte: Autor (2023)

A utilização do software Revit oferece diversas vantagens em relação as técnicas tradicionais de desenho, como o prático e efetivo levantamento dos quantitativos, que já são especificados inicialmente no projeto, enquanto o mesmo é feito. Com a "explosão", como é comumente reconhecido, dos elementos, na Figura 23 pode-se ver suas composições, como a cobertura, que é composta de Terças de 10cm x 5cm e caibros de 5cm x 3cm, e cobrimento com telha colonial tipo calha.

O levantamento inicial do projeto no software para levantamento de áreas e quantitativos foi composto por fundação é tipo laje radier com altura de 10cm e resistência de 20MPa. As alvenarias são blocos cerâmicos de medidas 09x19x24, com revestimentos de gesso e pintura em ambas as extremidades (interna e externa), exceto nas alvenarias internas do banheiro, que contam com reboco, revestimento e pintura.

As instalações Elétricas e Hidrossanitárias, dimensionadas conforme as normas:

- ABNT - NBR 5410/2005: Instalações elétricas de baixa tensão;
- ABNT - NBR 5626/1998: Instalação predial de água fria;
- ABNT - NBR 8160/1999: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução.

Os projetos das disciplinas elétrica, hidráulica, sanitária e pluviais serão os mesmos para os sistemas. A partir dos projetos desenvolvidos, foi possível elaborar as planilhas orçamentárias, através de um levantamento de quantitativos realizado em software BIM onde os projetos foram desenvolvidos, conforme o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), desenvolvido e atualizado pelo IBGE e Caixa Econômica Federal (CAIXA), segundo IBGE (2022), realizada por meio de cooperação técnica acordada.

A curva ABC ajuda a compreender os itens mais impactantes financeiramente em cada método, podendo assim, avaliar quais atividades tornam seus valores como são.

Após os orçamentos, foi realizado uma estrutura analítica do projeto, composta pelo cronograma de Gantt, com as definições de atividades que sucedem outras ou ocorrem em paralelo como também o tempo necessário para cada atividade ser finalizada, posteriormente o projeto como um todo.

Para investigação e estudo de viabilidade dos sistemas construtivos, a metodologia de análise estratégica *SWOT* simplifica e potencializa a compreensão das características identificadas. Segundo SILVA e GODOY (2021), esta metodologia busca entender e equilibrar os pontos positivos e negativos, podendo ser estes internos ou externos.

A matriz SWOT tem para cada letra, um significado, *strength*, *weakness*, *opportunities* e *threats*, que significam forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, sequencialmente. A inserção dos pontos é feito em análise das características apresentadas, como características, materiais, custo e tempo.

A matriz SWOT ainda é dividida em duas partes que são os fatores analisados, sendo estes forças e fraquezas fatores internos, riscos e ameaças são fatores externos, como demanda ou

clima, por exemplo.

Para o preenchimento das tabelas, foi primeiramente definido, através de pesquisas e desenvolvimento do projeto piloto os principais pontos a serem utilizados na matriz SWOT, onde, pode-se separar por fatores internos e externos.

Os fatores internos são definidos como:

- Custo inicial: referente ao valor necessário para se iniciar a obra, geralmente, refere-se á valores de itens como fundações, canteiro de obras e afins;
- Prazo de obra: tempo necessário para o término de todas as atividades e considerar a mesma disponível para o usuário final;
- Mão de obra: é de grande importância que o profissional seja qualificado para a atividade que será realizada, contudo, alguns sistemas podem aceitar mão de obra de pouco conhecimento técnico, o que se tornaria uma fraqueza, podendo prejudicar o projeto por completo, e em caso de aumento da produção, pode ser necessário o aumento da mão de obra, isto também será considerado uma fraqueza por impactar o financeiro;
- Geração de resíduos: refere-se à prática de minimizar a quantidade de resíduos produzidos nas construções, tal abordagem inclui a implementação de práticas de prevenção, redução, reutilização e reciclagem de materiais;
- Impacto ambiental: alterações causadas no meio ambiente, oriundo das ações do sistema construtivo, como fabricação dos materiais, emissão de gases, contaminação de solo e lençóis freáticos.

Os fatores externos por sua vez, são definidos neste trabalho da seguinte forma:

- Escalabilidade: a capacidade de um sistema construtivo ser escalável é que o mesmo é capaz de lidar com o aumento da demanda e expansão do projeto sem comprometer a qualidade, eficiência e prazos;
- Logística: a mesma abrange diversas etapas, desde a aquisição de materiais até a entrega final do projeto, envolve o planejamento, organização e controle de todas as atividades relacionadas ao fluxo de materiais, equipamentos, informações e pessoas, visando garantir a eficiência e a otimização dos processos de construção;
- Qualidade: refere-se ao grau em que um sistema atende às expectativas e requisitos estabelecidos em termos de desempenho, durabilidade, segurança, funcionalidade e estética;
- Popularidade: é a terminologia aqui utilizada para tratar sobre a aceitação de um método construtivo pela população.

Para poder classificar e avaliar melhor as análises swot, foi atribuído notas a cada item da tabela SWOT, nas quais, consideramos forças de 8 a 10, fraquezas de 0 a 4, oportunidades de 6 a 8 e ameaças de 4 a 6, assim, preencheu-se a matriz de prioridades de acordo com cada nota em cada item nos sistemas construtivos, ao final, como é na matriz de prioridades, soma-se as notas e são ranqueadas, definindo as prioridades por maior valor somado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado a análise comparativa entre as metodologias construtivas estudadas, considerando variáveis como custo, qualidade, durabilidade e prazo, a partir de uma matriz SWOT de cada sistema construtivo e análise da matriz de prioridades como ferramenta de escolha. Ao organizar as atividades, foram geradas as planilhas orçamentárias, na qual foi utilizado como banco de dados de preços o SINAPI, na versão 03/2023 e com características construtivas de cada método, disponível no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Características dos métodos

Macro atividades	Alvenaria Convencional	Alvenaria Estrutural	Paredes de Concreto Moldadas no local	Modular Off-site
Fundação	Rasa - Radier	Rasa - Radier	Rasa - Radier	Rasa - Blocos
Superestrutura	Estruturas de concreto armado, laje, pilares, vigas	Blocos Estruturais, armados ou não, grauteados, ou não.	Parede de concreto armado	Perfis de aço galvanizados
Paredes de vedação	Blocos cerâmicos vazados, sem função estrutural	Blocos Estruturais, armados ou não, grauteados, ou não.	Parede de concreto armado	Chapas de madeira compensada, cimentícias e/ou gesso acartonado.
Cobertura	Telha cerâmica, tipo colonial.	Telha cerâmica, tipo colonial.	Telha cerâmica, tipo colonial.	Telha cerâmica, tipo colonial.
Estrutura de telhado	Madeira	Madeira	Madeira	Metálica
Revestimento interno de parede	Chapisco, massa única	Chapisco, massa única	-	Chapas de gesso acartonado com fitamento
Revestimento externo de parede	Chapisco, massa única	Chapisco, massa única	-	Chapas de placa cimentícia com fitamento
Pisos	Revestimento cerâmico	Revestimento cerâmico	Revestimento cerâmico	Revestimento cerâmico
Pintura interna	Emassamento e pintura	Emassamento e pintura	Emassamento e pintura	Emassamento e pintura
Pintura externa	Emassamento e pintura	Pintura	Pintura	Emassamento e pintura

Fonte: Autor (2023)

O Quadro 1 apresenta as principais características dos quatro métodos construtivos explorados neste trabalho, sendo a alvenaria convencional, a alvenaria estrutural, paredes de concreto

moldada no local e construção modular *off-site*, cada qual com suas distinções relacionadas aos elementos construtivos utilizados.

Em fundação, todas opções foram consideradas rasas, como o radier, no entanto a construção modular *off-site* utiliza blocos de fundação para esta etapa, o que pode proporcionar maior agilidade e praticidade na execução.

Em superestrutura, a alvenaria convencional utiliza estruturas de concreto armado, como lajes, pilares e vigas, já a alvenaria estrutural, utiliza blocos estruturais, podendo ser armados ou não e grauteados ou não e as paredes de concreto moldadas no local se utiliza de concreto armado. Já a construção modular *off-site* opta por perfis de aço galvanizados, trazendo uma abordagem diferenciada em relação aos demais métodos, envolvendo leveza para transporte e instalação e um elemento produzido com precisão milimétrica.

Quanto à vedação, a alvenaria convencional utiliza blocos cerâmicos vazados, sem função estrutural, enquanto a alvenaria estrutural utiliza blocos estruturais e as paredes de concreto moldadas no local utiliza o próprio concreto armado. Já a construção modular *off-site* utiliza chapas de madeira compensada, do tipo laminada ou lascas, conhecida também como tipo naval, cimentícias e/ou gesso acartonado, mostrando uma alternativa não convencional com produção controlada, que garante qualidade e resistência, de acordo com especificações.

A cobertura é padronizada em todos os métodos, adotando a telha cerâmica do tipo colonial. No entanto, a estrutura do telhado varia, sendo feita de madeira na alvenaria convencional, alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas in loco, enquanto a construção modular *off-site* utiliza-se de uma estrutura metálica.

Nos revestimentos internos e externos de parede, a alvenaria convencional e a alvenaria estrutural utilizam o chapisco e massa única, enquanto a construção modular *off-site* adota chapas de gesso acartonado com fitamento. Além disso, também utiliza-se de chapas de placa cimentícia com fitamento como revestimento externo de parede.

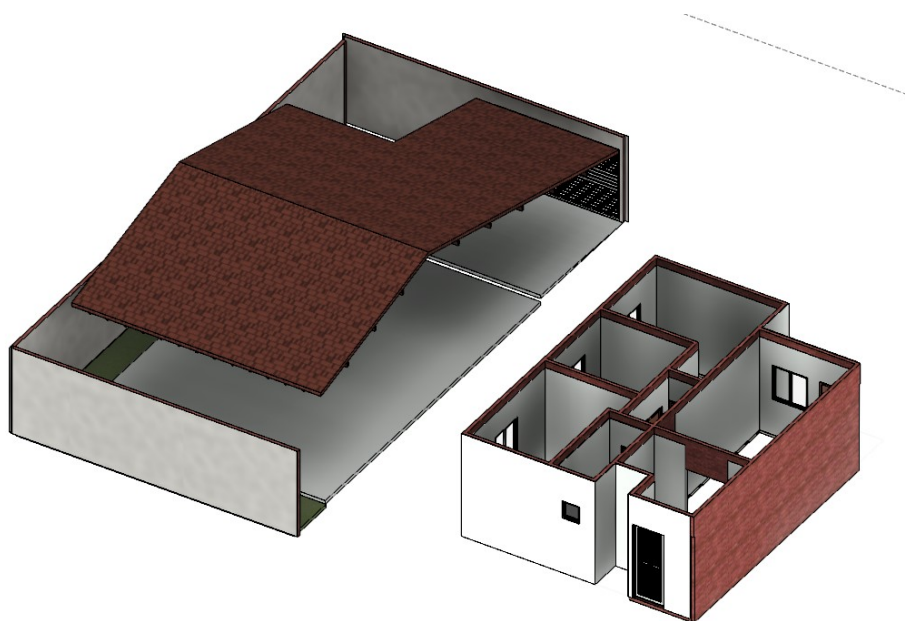
Por fim, os pisos em todos os métodos são revestidos com cerâmica, garantindo uma superfície resistente e durável. Tanto a pintura interna quanto a externa podem variar entre emassamento e pintura ou apenas pintura, dependendo do método de construção adotado.

Essa análise comparativa dos dados apresentados no Quadro 1 apresenta uma visão abrangente das diferenças entre as macroatividades na construção civil. Cada método possui suas vantagens e características específicas, e a escolha entre eles dependerá das necessidades e objetivos de cada projeto. É importante considerar fatores como custo, tempo, durabilidade e praticidade na hora de decidir qual metodologia escolher. Os orçamentos do projeto considerando os métodos construtivos alvenaria convencional, alvenaria estrutural, paredes de concreto moldada no local e construção modular *off-site* encontram-se em resumo nas tabelas abaixo.

4.0.1 Alvenaria Convencional

Considerando a fundação em radier de espessura de 10cm e alvenaria de vedação com blocos cerâmicos vazados de 9x14x20, com chapisco, reboco, emassamento e pintura, superestrutura sendo pilares de amarração, vergas e contravergas, visto na Figura 24 abaixo.

Figura 24 – Projeto Tipo - Alvenaria Convencional



Fonte: Autor (2023)

Com o levantamento no SINAPI, obteve-se os valores presentes na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 – Sistema de Alvenaria Convencional

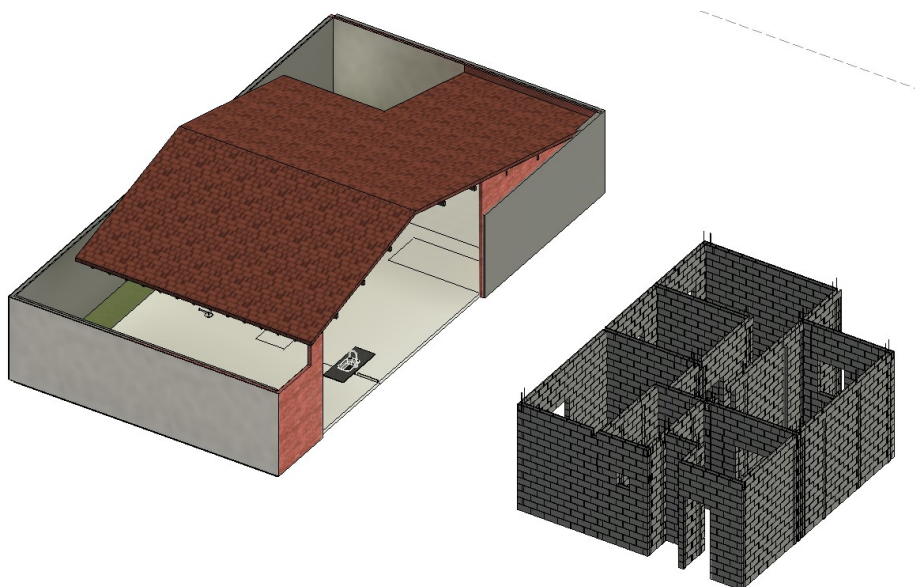
Item	Descrição	Valor
1	Serviços Preliminares	R\$ 5.983,48
2	Fundação	R\$ 19.843,23
3	Superestrutura	R\$ 3.947,42
4	Alvenaria de Vedação	R\$ 12.793,39
5	Cobertura	R\$ 5.041,23
6	Forro	R\$ 4.113,29
7	Instalação Elétrica	R\$ 6.097,82
8	Instalações Hidrossanitária e Pluviais	R\$ 3.741,15
9	Revestimento Interno	R\$ 31.328,77
10	Revestimento Externo	R\$ 4.663,37
11	Louças e Metais	R\$ 1.779,37
12	Esquadrias	R\$ 7.381,64
13	Paisagismo e Limpeza Final	R\$ 1.630,71
	Total	R\$ 108.344,87

Fonte: Autor (2023)

4.0.2 Alvenaria Estrutural

Utilizando a fundação em radier de espessura de 10cm e alvenaria estrutural com blocos de concreto de até 4MPa com dimensões de 14x19x39, resultou o projeto, na Figura 25 abaixo.

Figura 25 – Projeto Tipo - Alvenaria Estrutural



Fonte: Autor (2023)

Ao realizar a precificação do projeto com valores de referência do SINAPI, obteve-se a Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 – Sistema de Alvenaria Estrutural

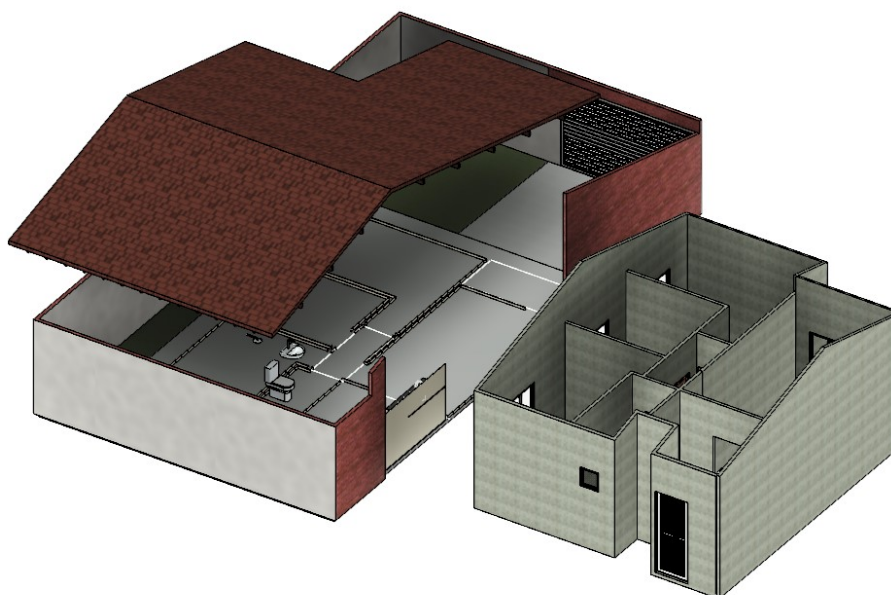
Item	Descrição	Valor
1	Serviços Preliminares	R\$ 5.983,48
2	Fundação	R\$ 18.785,89
3	Alvenaria de Vedação - Muro	R\$ 5.863,85
4	Alvenaria Estrutural	R\$ 19.124,54
5	Cobertura	R\$ 5.041,23
6	Forro	R\$ 4.113,29
7	Instalação Elétrica	R\$ 6.097,82
8	Instalações Hidrossanitárias e Pluviais	R\$ 3.741,15
9	Revestimento Interno	R\$ 31.328,77
10	Revestimento Externo	R\$ 4.663,37
11	Louças e Metais	R\$ 1.779,37
12	Esquadrias	R\$ 7.381,64
13	Paisagismo e Limpeza Final	R\$ 1.630,71
	Total	R\$ 115.535,11

Fonte: Autor (2023)

4.0.3 Paredes de Concreto Moldadas no local

Tendo este projeto, a fundação em radier de espessura de 10cm e paredes em concreto armado monolítico de 20MPa, disponível na Figura 26.

Figura 26 – Projeto Tipo - Parede Moldada no Local



Fonte: Autor (2023)

Com a interligação dos quantitativos do projeto na Figura 26, com os dados de preços do SINAPI, obteve-se a Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Sistema de Paredes de Concreto Moldadas no local

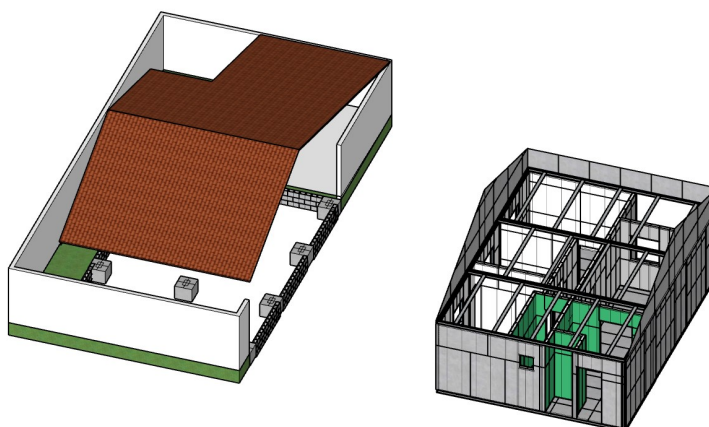
Item	Descrição	Valor
1	Serviços Preliminares	R\$ 5.983,48
2	Fundação	R\$ 18.785,89
3	Superestrutura	R\$ 1.042,11
4	Alvenaria de Vedação	R\$ 50.771,82
5	Cobertura	R\$ 5.041,23
6	Forro	R\$ 4.113,29
7	Instalação Elétrica	R\$ 6.097,82
8	Instalações Hidrossanitárias e Pluviais	R\$ 3.741,15
9	Revestimento Interno	R\$ 27.631,57
10	Revestimento Externo	R\$ 4.338,05
11	Louças e Metais	R\$ 1.779,37
12	Esquadrias	R\$ 7.381,64
13	Paisagismo	R\$ 1.630,71
	Total	R\$ 138.338,13

Fonte: Autor (2023)

4.0.4 Modular *off-site*

Com o desenvolvimento do projeto, tendo como fundação, blocos de concreto armado de 20MPa e estrutura em aço laminado e/ou soldado, com paredes de vedação em *steel frame*, resultou na modelagem disponível na Figura 27.

Figura 27 – Projeto Tipo - Modular *off-site*



Fonte: Autor (2023)

Com a precificação do projeto, através da tabela de custos do SINAPI, obteve-se a Tabela 8 abaixo.

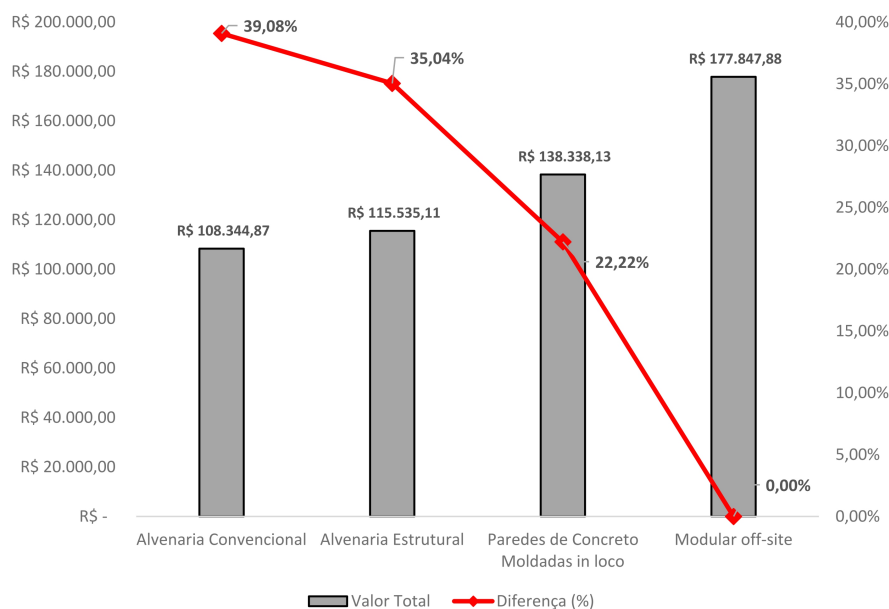
Tabela 8 – Sistema de Construção Modular *off-site*

Item	Descrição	Valor
1	Serviços Preliminares	R\$ 6.285,18
2	Infraestrutura	R\$ 14.642,17
3	Estrutura do Módulo	R\$ 39.132,19
4	Placas de Piso	R\$ 6.654,87
5	Fechamento Vertical	R\$ 31.898,84
6	Cobertura	R\$ 5.041,24
7	Insumos	R\$ 3.500,00
8	Forro	R\$ 4.327,73
9	Instalação Elétrica	R\$ 7.569,08
10	Instalações Hidrossanitárias e Pluviais	R\$ 3.741,17
11	Revestimento Interno	R\$ 27.631,60
12	Revestimento Externo	R\$ 4.338,08
13	Louças e Metais	R\$ 1.779,37
14	Esquadrias	R\$ 7.381,64
15	Paisagismo	R\$ 1.630,72
16	Instalação dos Módulos	R\$ 12.294,00
	Total	R\$ 177.847,88

Fonte: Autor (2023)

As Tabelas 5, 6, 7 e 8 trazem as macro atividades, catalogadas o mais similar possível, para assim, facilitar a comparação entre os itens, alterando entre si, as infraestruturas, superestruturas e sistemas de fechamento vertical, é possível avaliar então, a diferença monetária de cada sistema construtivo e a variação, comparadas ao sistema modular *off-site*, conforme Figura 28.

Figura 28 – Valores Totais e Diferença Comparado ao Sistema Modular *off-site*



Fonte: Autor (2023)

A análise da Figura 28 expõe que a construção modular *off-site* apresenta um custo superior em relação aos demais métodos. Comparado os demais sistemas com a construção modular, a alvenaria convencional, está 39,04% mais econômica, já o sistema de alvenaria estrutural é 35,04% mais econômica que a construção modular. Ademais, os resultados indicam que o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local é 22,22% mais econômico ao se comparar com a construção modular *off-site*.

Contudo, com a Curva ABC como ferramenta, pode-se avaliar qual os itens que impactam e distoam o valor, a ponto de procurar alternativas em áreas específicas, como a estrutura do módulo ou até mesmo o revestimento interno da alvenaria convencional e etc.

4.0.5 Curva ABC

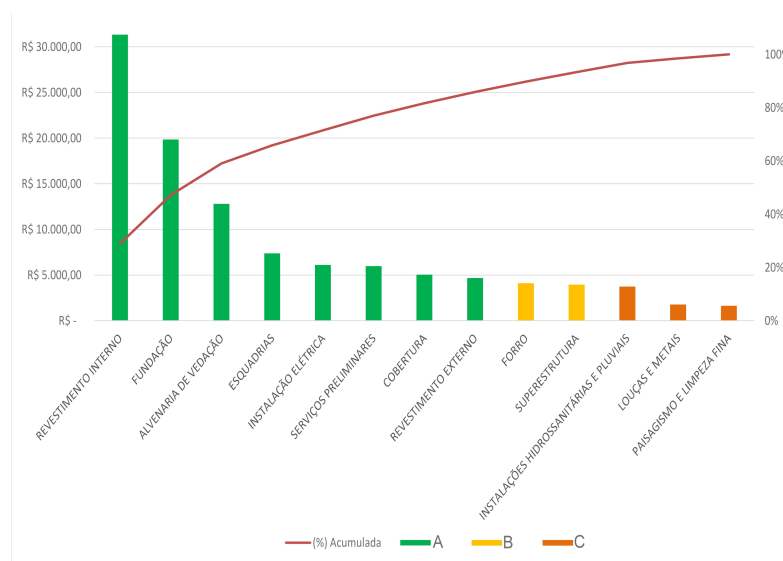
Para Vago et al. (2013) ressalta-se que deve haver um acompanhamento constante, com intuito de diminuir ainda mais os custos, considerando que nem todos os itens merecem a mesma atenção e dedicação de tempo, uma vez, que economizar 20% em itens diferentes, custaria o mesmo tempo, mas os resultados poderiam ser insignificantes, se o percentual do item não for volumoso no orçamento.

Segundo Ferraz (2019), um dos pontos cruciais no orçamento é a curva ABC, a mesma pode ser de mão de obra, materiais, insumos e do total global, a curva ABC indica quais itens

tem custos significativos. Esta informação é crucial e valiosa, pois, a tomada de decisões pode ser bem mais precisa e rápida, em relação aos potenciais de economia, ou itens a se olhar com mais atenção no geral.

A curva ABC classifica os itens com valor em ordem decrescente e percentual acumulado, separando-os em três classes A, B e C, onde A representa 80% dos itens, B é 15% e C representa 5% em termo de custo, respectivamente.

Figura 29 – Curva ABC - Sistema de Alvenaria Convencional

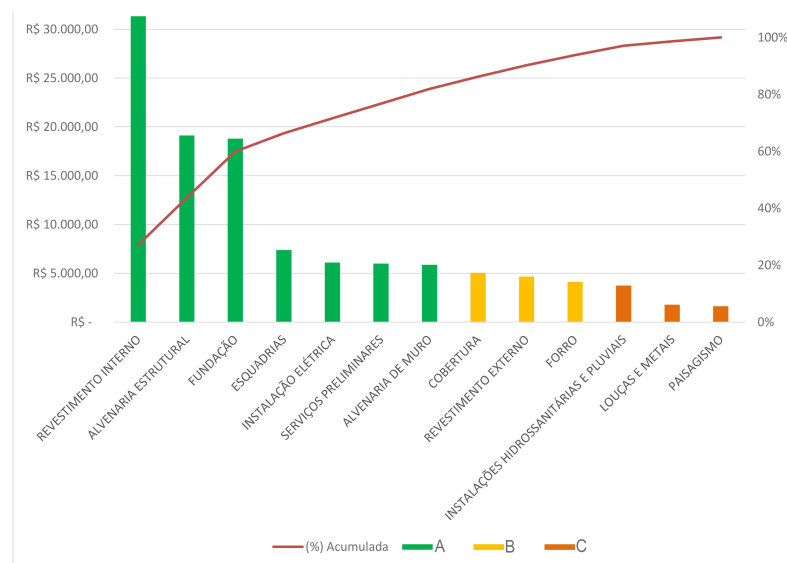


Fonte: Autor (2023)

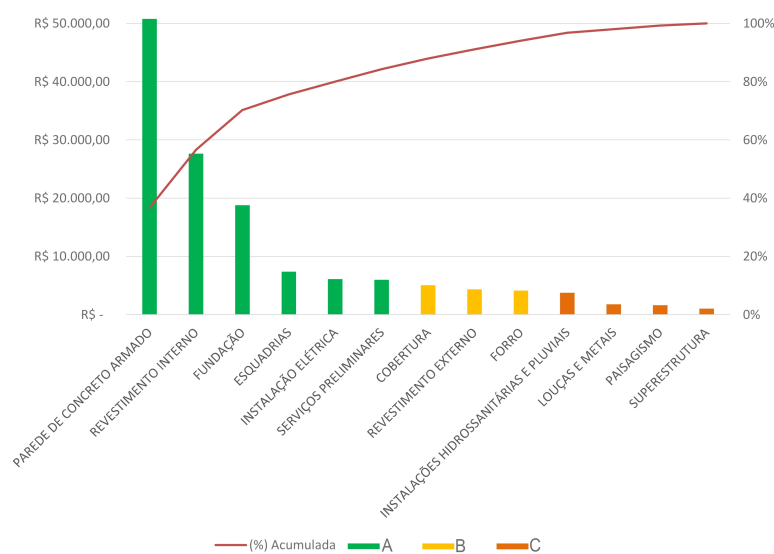
Na Figura 29, observa-se a Curva ABC do sistema de alvenaria convencional, onde a categoria A, encontra-se os itens de maior valor e importância, como o revestimento interno, a fundação, a alvenaria de vedação, as esquadrias, a instalação elétrica, os serviços preliminares, a cobertura e o revestimento externo. Esses itens possuem valores mais altos e são considerados essenciais para o projeto.

A categoria B contém o forro e a superestrutura. Mesmo que esses itens tenham valores pouco menores em comparação com a categoria A, ainda assim têm uma importância significativa na construção.

Já na categoria C, temos os itens de menor valor, como as instalações hidrossanitárias e pluviais, as louças e metais, e o paisagismo e limpeza final. Apesar de terem valores mais baixos, eles ainda desempenham um papel importante no acabamento e finalização do projeto, contudo, não convém, gastar tempo e recursos para tentar otimizar o gasto nestes itens, pois não irão gerar impacto significativo no valor global, respectivamente pode-se observar o mesmo nas Figuras 30, 31 e 32.

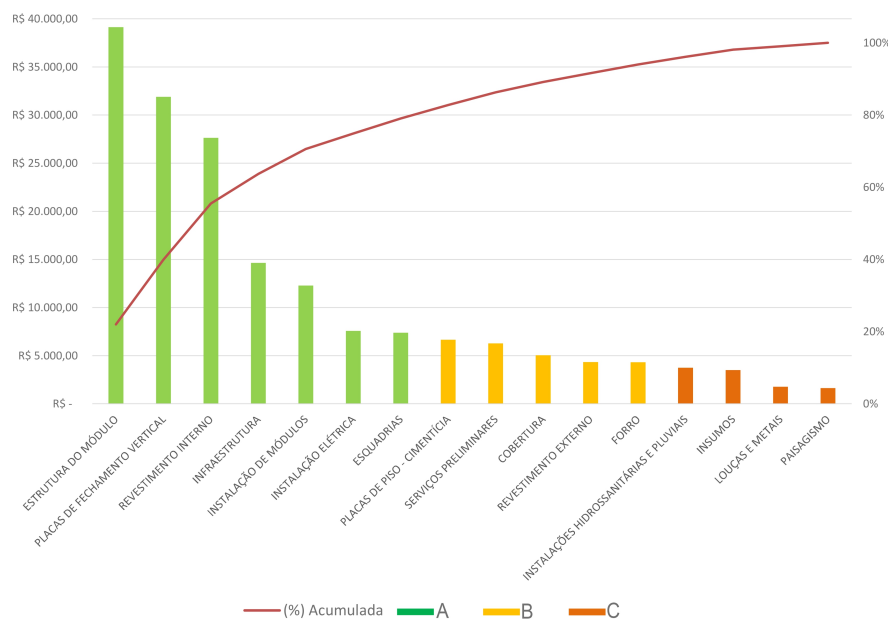
Figura 30 – Curva ABC - Sistema de Alvenaria Estrutural

Fonte: Autor (2023)

Figura 31 – Curva ABC - Sistema de Paredes de Concreto Moldadas *in loco*

Fonte: Autor (2023)

Figura 32 – Curva ABC - Sistema Modular *Off-Site*



Fonte: Autor (2023)

Como visto nas Figuras 29, 30, 31 e 32 acima, é possível classificar cada atividade, com suas relevância financeira, assim, pode-se averiguar que os três primeiros itens de cada metodologia construtiva é, respectivamente:

- Revestimento interno, fundação e alvenaria de vedação;
- Revestimento interno, alvenaria estrutural e fundação;
- Parede de concreto armado, revestimento interno e fundação;
- Estrutura do módulo, placas de fechamento vertical e revestimento interno

Os três primeiros itens de todos orçamentos, são os mais onerosos, sendo os mais importantes de se analisar, com a similaridade no revestimento interno, pode-se então, desconsiderá-lo, restando os demais itens.

A fundação é um elemento extremamente importante, que não só garante a transferência correta das cargas, mas ameniza impactos no restante da residência, como recalques, fissuras e etc.

As metodologias de alvenaria convencional, estrutural e paredes de concreto moldada no local utilizam do mesmo elemento, o radier, com espessura de dez centímetros, com malha de aço, devendo serem consideradas, o tempo de execução das etapas, como corte e dobra de aço, montagem de armação, execução de forma, concretagem e tempo de cura. Para o sistema *off-site* os elementos de fundação são blocos de fundação, são mais rápidos, ao se considerar a pouca quantidade e menores dimensões, facilitando de forma drástica a execução do serviço, não só em tempo hábil, mas com a otimização da quantidade de aço e concreto envolvidos na fundação.

O sistema de paredes vedação vertical da construção modular se sobrepõe aos demais sis-

tema, no quesito qualidade, pois sua forma de execução é prática e em um ambiente controlado, com ferramentas que exercem o suporte e impactam na agilidade do processo, tornando a montagem não só dos perfis metálicos, como também das placas de madeira compensada (tipo de material de construção composto por camadas de lascas de madeira orientadas, unidas com resinas sintéticas), gesso acartonado e/ou placa cimentícia, mais práticos e precisos.

Alvenaria convencional e estrutural demandam o bom clima que possibilite o trabalho, já a construção modular independe do clima, esteja um dia chuvoso ou ensolarado, a produtividade do sistema não é afetada, pois sua produção é em ambiente controlado.

Paredes de concreto moldadas no local é o item mais oneroso de todos os sistemas construtivos, passando a marca de 50 mil reais, o que impacta já de início no processo construtivo, além de este sistema também depender de bom clima, já que como título, é moldado no local final.

Dentre os presentes sistemas construtivos, a maior parte dos elementos são em pequenas partes industrializados, e assim, transformados na obra, como o cimento, o cal e os tijolos, contudo, na construção modular, todos os materiais, são altamente industrializados, trazendo consigo os mais tecnológicos materiais do segmento, como gesso acartonado resistentes a fogo, resistentes a água entre outros, o que permite a utilização do sistema nos mais diversos ambientes.

Ainda é característico a sua junção, dos elementos até a transformação no módulo, pronto pra instalação final, sendo uma construção altamente enxuta, com uma redução considerável de resíduos gerados na construção civil, que é toda executada em pátio de fábrica e por fim transportada, com toda precisão, cuidado e controle de qualidade, que um ambiente industrializado exige.

4.1 Cronograma Físico

O cronograma físico é um componente de extrema importância na seleção de um método construtivo eficiente, pois desempenha um papel fundamental no planejamento e na execução, permitindo que os profissionais do setor tenham uma visão clara das atividades a serem realizadas. Consequentemente, o cronograma físico auxilia na identificação e na alocação adequada dos recursos necessários, como mão de obra, materiais e equipamentos, contribuindo para a otimização dos custos e do tempo de execução da obra.

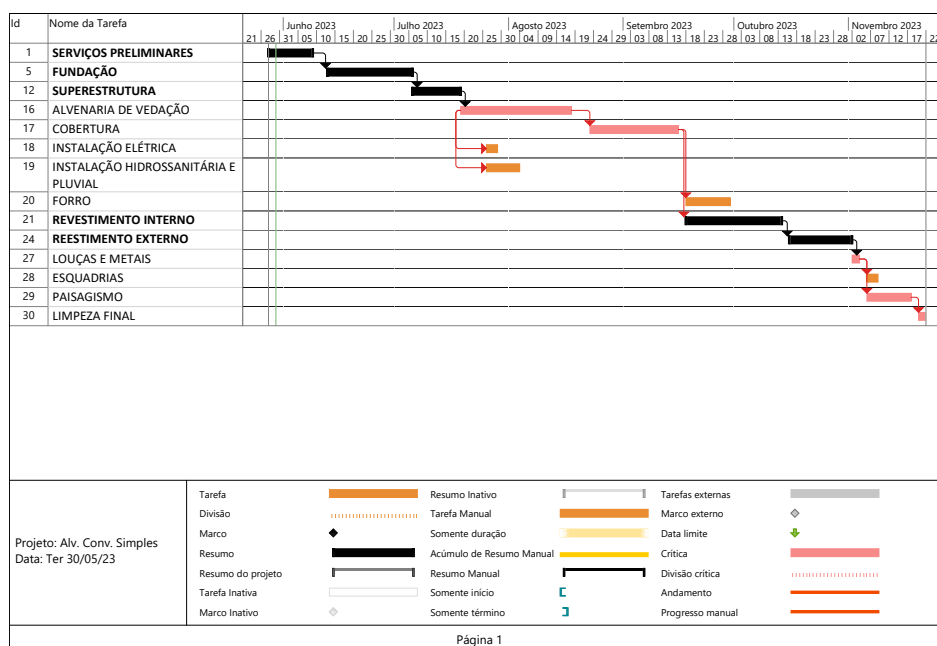
Para Oliveira e Santos (2018), "[...] o cronograma físico é uma ferramenta essencial na seleção de um método construtivo apropriado, uma vez que oferece uma perspectiva visual da evolução da obra e permite uma melhor compreensão dos tempos e sequências das atividades [...]".

O mesmo também permite uma análise precisa do tempo necessário para a conclusão de cada etapa do projeto, possibilitando uma melhor tomada de decisão. Diversos métodos construtivos estão disponíveis, cada um com suas próprias características, vantagens e limitações.

Ao levar em consideração o cronograma físico, os responsáveis pelo projeto podem avaliar criteriosamente qual método será capaz de atender às demandas de prazo e de qualidade, levando em conta os recursos disponíveis e as restrições do local de construção.

Os índices de produtividade apresentados por Mattos (2019) proporcionou os cronogramas de alvenaria convencional, estrutural, paredes de concreto moldada *in loco* e construção modular *off-site*, presentes nas figuras abaixo.

Figura 33 – Sistema de Alvenaria Convencional

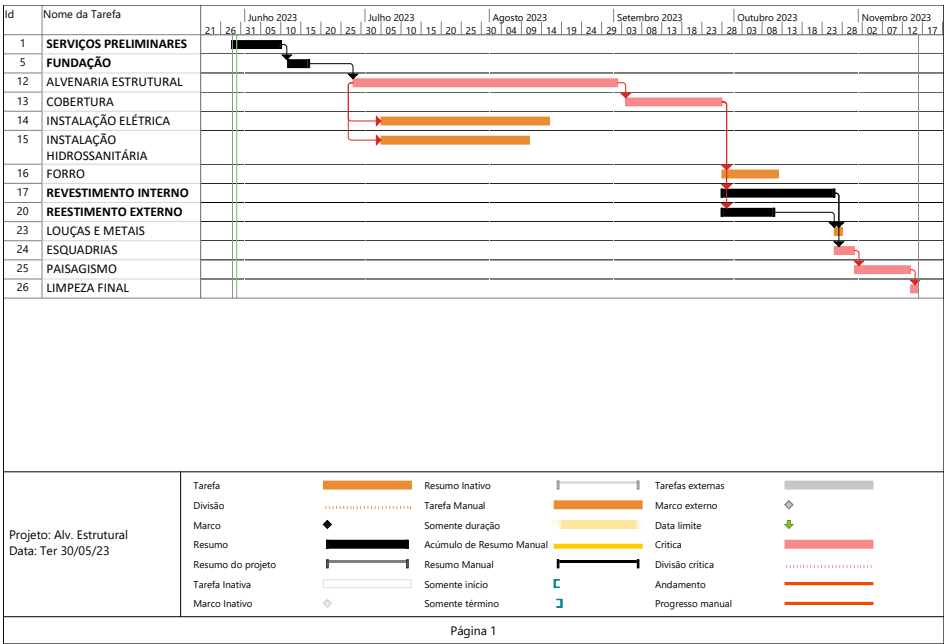


Fonte: Autor (2023)

Como pode-se notar na Figura 33, o sistema de alvenaria convencional para o projeto tipo, leva 127 dias úteis para ser executada, conforme cronograma físico, o que nos dá um total de seis meses e sete dias de atividades da limpeza do terreno, até a limpeza final.

A alvenaria estrutural consome um prazo de 123 dias úteis que totaliza um total de seis meses e três dias úteis até sua conclusão, como pode-se ver na Figura 34.

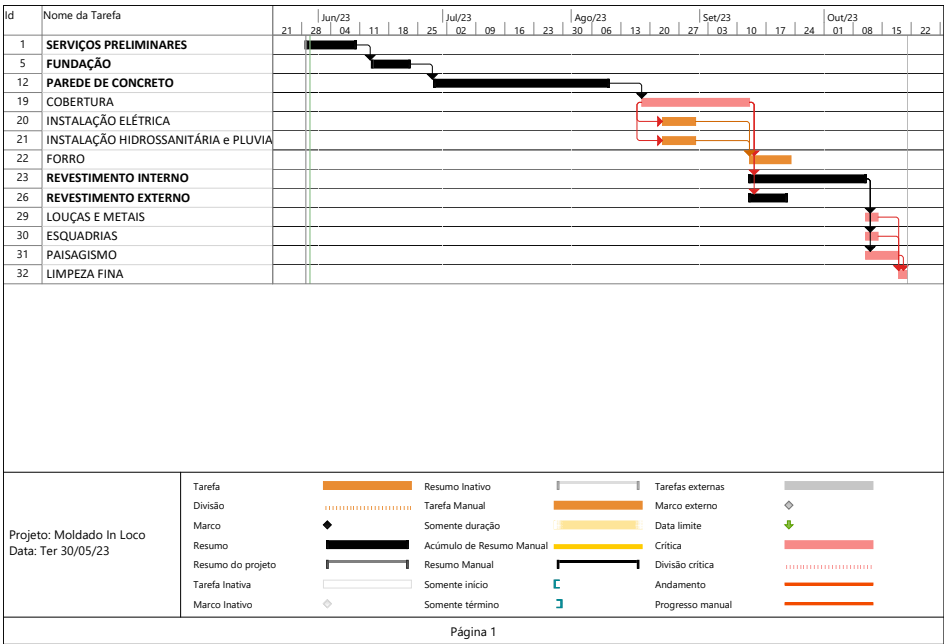
Figura 34 – Sistema de Alvenaria Estrutural



Fonte: Autor (2023)

Já com o sistema de parede de concreto moldada no local, Figura 35, a casa ficará pronta com 105 dias úteis, que resulta em uma obra de cinco meses e cinco dias.

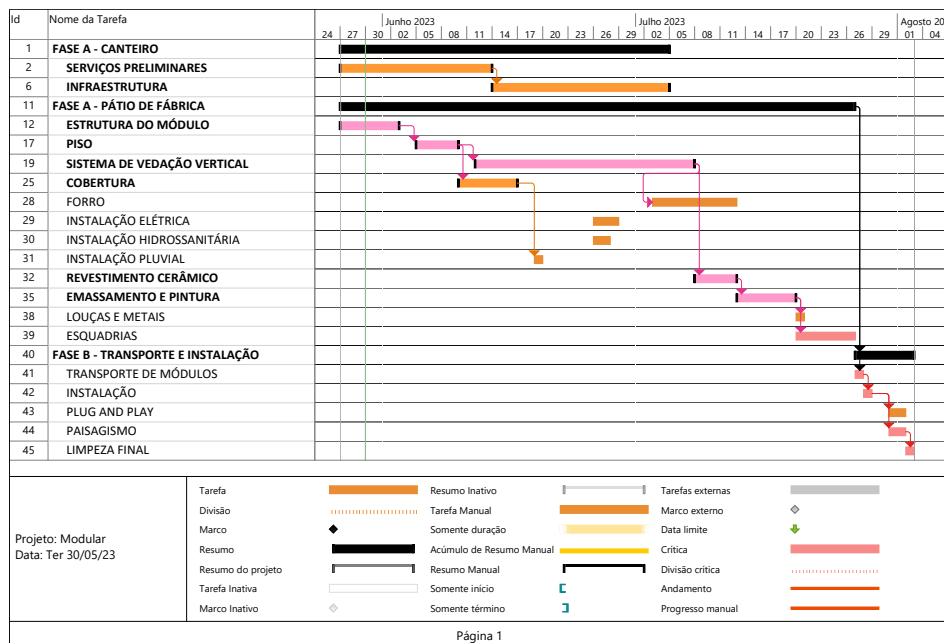
Figura 35 – Sistema de Paredes de Concreto Moldadas no local



Fonte: Autor (2023)

Já uma construção modular do projeto apresentado (ver Figura 36) necessita de 48 dias úteis para ser executada, o que proporciona uma duração da obra, de dois meses e oito dias, devido a sua construção seriada e em ambiente controlado.

Figura 36 – Sistema Modular *Off-Site*



Fonte: Autor (2023)

A análise comparativa dos prazos de execução das diferentes técnicas de construção apresentadas revela informações importantes. O sistema de alvenaria convencional, embora amplamente utilizado, possui um cronograma extenso de 127 dias, resultando em um período de seis meses e sete dias até a conclusão da limpeza final. Isso pode ser considerado um tempo significativo, especialmente para projetos que exigem um tempo de entrega mais rápido.

Por outro lado, a alvenaria estrutural demonstra um prazo de 123 dias úteis, o que equivale a seis meses e três dias, consideravelmente menor em comparação com o sistema convencional contudo, ainda é um período relativamente longo, indicando que essa metodologia também pode não ser a mais eficiente para projetos com restrições de tempo.

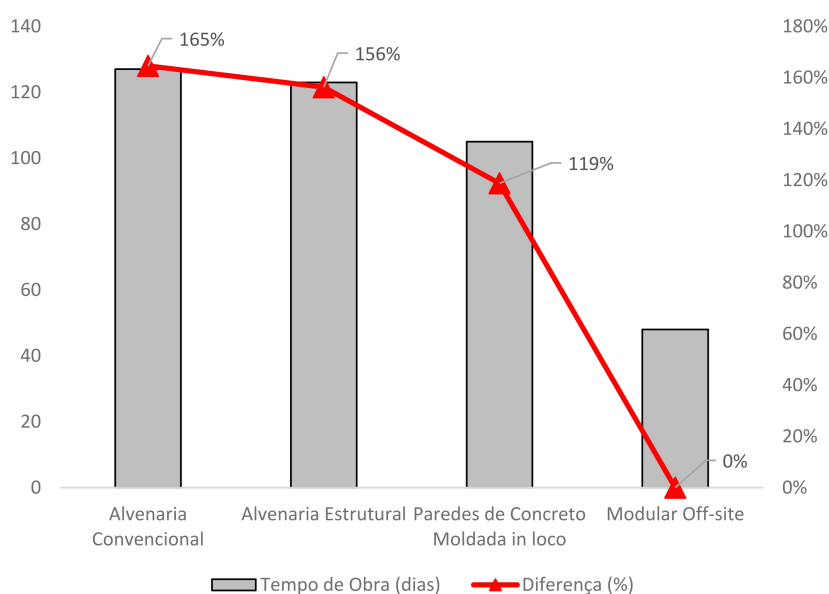
A introdução de sistemas de parede de concreto moldada in loco mostra uma redução significativa no tempo de construção. Com um prazo de 105 dias úteis, o equivalente a cinco meses e cinco dias, essa técnica pode ser uma opção atraente para projetos que necessitam de uma execução mais rápida. A construção em ambiente controlado e a capacidade de moldar as paredes diretamente no local contribuem para essa agilidade.

Por fim, a construção modular se destaca como a alternativa mais eficiente em termos de tempo. Com apenas 48 dias úteis, ou seja, dois meses e oito dias, é possível concluir o projeto. A fabricação em série dos módulos e o ambiente controlado favorecem a rapidez e a precisão

do processo, proporcionando uma solução ideal para empreendimentos que exigem uma entrega ágil.

Em relação aos dias, pode-se elaborar uma quantificação e avaliação, comparando os prazos entre si, considerando em dias úteis, obteve-se a Figura 37 abaixo.

Figura 37 – Prazo de execução em dias úteis e diferença em relação ao Modular *off-site*



Fonte: Autor (2023)

O gráfico na Figura 37 apresenta a quantidade de dias no eixo vertical esquerdo, e no eixo vertical direito duas respectivas porcentagens em relação ao acréscimo do tempo da construção modular *off-site*.

Ao avaliar os prazos existentes, pode-se observar que a alvenaria convencional é 165% mais duradoura que o modular *off-site*, alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas no local, são conseqüentemente, 156% e 119% mais demoradas que a construção modular *off-site*.

A análise da Figura 37 demonstra que a construção modular *off-site* é extremamente rápida em comparação aos demais métodos analisados, assim, para um mesmo projeto com a metodologia construtiva modular *off-site* será necessário menos da metade do tempo da alvenaria convencional, estrutural ou paredes de concreto moldada no local.

O tempo de uma obra é crucial na construção civil, sendo esta, uma variável que impacta diretamente na eficiência, qualidade e viabilidade de um determinado empreendimento e deve ser avaliada como tal, uma gestão eficiente do tempo engloba não só métodos e técnicas de gerenciamento, mas também, cronogramas precisos, coordenação adequada e principalmente, o uso de novas tecnologias que vem surgindo mais e mais, não só para garantir a qualidade e saúde ambiental, mas também a satisfação, principalmente a questão econômica, já que essa é uma grande desvantagem do *off-site*.

Considerando o projeto piloto, pode-se assim considerar uma escalonabilidade no método

modular *off-site*, onde nos outros sistemas precisa-se aumentar o quantitativo de mão de obra significativamente, no sistema de construção modular, o sistema de produção em fábrica tem um auto poder de produtividade, com procedimentos de melhoria continua e otimização de processos, cada vez mais pode-se fazer ainda mais quantidades em menos tempo, mantendo o mesmo custo operacional do empreendimento, ou até mesmo reduzindo por conta do aumento de escala e produtividade.

4.2 Qualidade e Meio Ambiente

O controle ambiental e de qualidade do projeto, são fundamentais para uma escolha mais otimista em relação à metodologia construtiva.

A qualidade dos produtos utilizados nos sistemas de alvenaria convencional é reconhecida em toda nação brasileira, os blocos cerâmicos, argamassas e outros elementos utilizados são fabricados de acordo com padrões que garantam a resistência e durabilidade, por tal, são amplamente testados, mas ainda sim, existem inúmeras variantes, como matéria prima, queima, geração de resíduos, e variação da qualidade num mesmo lote, a execução é crucial também, contudo, este sistema gera uma grande quantidade de resíduos em seu processo construtivo, oriundos de erros de execução, material danificado entre outros, que impossibilita seu reuso.

No caso da alvenaria estrutural, o controle de qualidade é mais assíduo, pois os blocos estruturais são confeccionados a fim de vencer uma resistência específica, não podendo sair daquele controle, todo o lote produzido. As emissões de gases na atmosfera, geração de resíduos como também a contaminação de solo, são preocupantes situações que os responsáveis buscam assiduamente evitar, porém existe a possibilidade, a geração de resíduos é mais controlada que a alvenaria convencional, visto que cada material comprado é precisamente pré definido, porém, ainda sim existe a geração de resíduos, oriundos de erros de mão de obra e materiais danificados.

No sistema de paredes de concreto moldada no local, o controle de qualidade é rigoroso frente aos materiais e procedimentos, pois o controle milimétrico deve ser exercido sobre a execução deste sistema. A resistência necessária do concreto e o posicionamento exato de tubulações e aço garantem a durabilidade da estrutura. Além do mais, é importante considerar a qualidade de materiais terciários, como a forma e ferramentas utilizadas.

A construção modular *off-site*, por sua vez abrange-se os temas de qualidade e meio ambiente, pois é crucial a organização tanto na fabricação dos módulos, quanto na montagem final da edificação. Os módulos pré-fabricados são produzidos em fábricas especializadas, onde são utilizados materiais de alta qualidade e processos de fabricação controlados. Isso permite um alto nível de precisão e acabamento, garantindo que os módulos se encaixem corretamente no local de montagem.

Os materiais utilizados são fiscalizados e controlados, a fim de assegurar que não só tenham sido produzidos conforme as normas específicas para cada material, mas que também o lote a ser utilizado esteja em condições ótimas. Os maquinários e ferramentas utilizados no pátio, são

sempre calibrados a fim de evitar o vazamento de materiais tóxicos. A geração de resíduos fica próxima a nula, pois os cortes e instalações são milimetricamente precisos e por ser produzido em uma fábrica, o número de retrabalhos tende a reduzir.

4.3 Análise SWOT e Tabela de Prioridades

No Quadro 2 é possível observar que a principal força deste sistema é seu custo inicial, sendo um baixo valor necessário, porém fraquezas consideráveis atingem este sistema, como o prazo da obra de 127 dias úteis, ultrapassando os demais.

A geração de resíduos não é controlada pois, como visto anteriormente, o sistema construtivo tem perdas consideráveis de materiais que não são reutilizáveis, como também o erro da mão de obra, vale considerar também os impactos ambientais, causados por contaminação de solo, consequentemente lençóis freáticos.

Quadro 2 – Análise SWOT - Alvenaria Convencional

Forças	Fraquezas
- Custo Inicial.	- Prazo de obra; - Geração de resíduos; - Impacto ambiental; - Mão de obra.
Oportunidades	Ameaças
- Popularidade.	- Escalabilidade; - Logística; - Qualidade.

Fonte: Autor (2023)

A mão de obra utilizada neste sistema construtivo é em sua maioria informal, sem qualificação técnica para uma execução segura e com redução de desperdícios, o que pode ocasionar perdas consideráveis, ou seja, é visto como fraqueza do sistema de alvenaria convencional por aceitar mão de obra desqualificada.

Em fatores externos, tem-se como oportunidades a popularidade deste sistema construtivo, pois o mesmo é o mais difundido no Brasil, justamente pela facilidade de se encontrar mão de obra e materiais, mesmo sem uma inspeção de qualidade, o que enquadra-se como uma ameaça ao sistema, onde tem escalabilidade, pois aumentar a produção com este sistema pode aumentar a necessidade de mão de obra, o que pode onerar o projeto em grande escala, porque ao estimar o custo da produção de n residências, seria como multiplicar o valor orçado para uma por completo, ou seja, a construção de um conjunto de casas iguais, característico de programas como PMCMV não geraria economia significativa. Como também a logística e a qualidade, que juntos, denotam a ameaça ao sistema, pois, seus procedimentos não conferem um padrão operacional uniforme entre seus utilizadores e a qualidade como já observado, é pouco ou não é inspecionada.

A análise SWOT no Quadro 3 traz em si a análise do sistema de alvenaria estrutural, que como observado, tem por força o impacto ambiental, pois ao se utilizar este sistema, todos os procedimentos do projeto devem ser pré-definidos, possibilitando ver facilmente potenciais riscos ao meio ambiente.

Este sistema construtivo demonstra fraquezas como seu custo inicial, pois demanda um valor significativo para adquirir os materiais para se iniciar a obra, prazo de obra é afetado pela produtividade que é reduzida, ao se considerar o peso do bloco estrutural, a altura da alvenaria entre outros fatores, e para corrigir a produtividade deste sistema construtivo, geralmente utiliza-se mais mão de obra, contudo é visto como fraqueza por necessitar de não só uma quantidade considerável de mão de obra, como também a qualificação destes colaboradores, o que pode onerar ainda mais o projeto.

Quadro 3 – Análise SWOT - Alvenaria Estrutural

Forças	Fraquezas
- Impacto ambiental;	- Custo Inicial; - Prazo de Obra; - Geração de resíduos; - Mão de obra.
Oportunidades	Ameaças
- Qualidade; - Popularidade.	- Logística; - Escalabilidade.

Fonte: Autor (2023)

Em fatores externos, foi considerado como oportunidade a qualidade do produto e procedimentos, por se tratar de uma construção com o conceito de coordenação modular, e sua popularidade, pela similaridade com o sistema convencional mais difundido.

O Quadro 4 apresenta um sistema que tem como principal força o prazo de obra, pois em comparação com a alvenaria convencional e alvenaria estrutural a mesma tem, em planejamento, 105 dias úteis, enquanto convencional é 127 e estrutural 123 dias úteis.

Contudo, suas fraquezas são o custo inicial, pois seu volume inicial de aço, concreto e forma é quase que completo, pois a concretagem pode ser monolítica, ou a casa pode ser dividida em etapas, o que pode atrasar o prazo da obra. A geração de resíduos e impacto ambiental são preocupantes neste sistema construtivo, pois, as formas, podem ser de madeira, o que é um volume grande, com pouca quantidade de reúso.

Quadro 4 – Análise SWOT - Paredes de Concreto Moldada no Local

Forças	Fraquezas
- Prazo de Obra;	- Custo inicial; - Geração de Resíduos; - Impacto ambiental; - Mão de obra.
Oportunidades	Ameaças
- Escalabilidade; - Qualidade.	- Logística; - Popularidade.

Fonte: Autor (2023)

A mão de obra neste sistema é tida como fraqueza, pois pode haver escassez de mão de obra qualificada para realizar a construção de paredes de concreto moldadas no local. Isso pode resultar em dificuldades na contratação de trabalhadores com o conhecimento necessário para executar o trabalho de maneira adequada e eficiente.

Quadro 5 – Análise SWOT - Modular *Off-site*

Forças	Fraquezas
- Prazo de Obra; - Geração de Resíduos; - Impacto ambiental; - Mão de obra.	- Custo Inicial.
Oportunidades	Ameaças
- Escalabilidade; - Logística; - Qualidade.	- Popularidade.

Fonte: Autor (2023)

Entre os pontos interessantes no sistema de construção modular *off-site*, observando o Quadro 5, vale ressaltar sua principal força, que é o prazo da obra, pois o projeto piloto, tem um prazo de execução de incríveis 48 dias úteis, contra 105 da parede de concreto moldada in loco, 123 dias úteis do sistema de alvenaria estrutural e 127 dias úteis para a alvenaria convencional.

A geração de resíduos é altamente controlada, pois a mesma é completamente sob medida em todos os seus aspectos, o que garante uma redução considerável na geração de resíduos, consequentemente, para o impacto ambiental, denota-se que ainda que exista, é reduzido, pois todo o processo construtivo ocorre em um ambiente controlado, em pátio de fábrica, onde pode ser desenvolvido medidas de tratamento anti contaminação de solo, corpos hídricos e atmosfera.

A mão de obra é tida como força neste sistema construtivo, onde a maior parte dos serviços é executada com maquinários específicos e o colaborador necessita de um alto conhecimento técnico para manuseio, e ainda sim, o mesmo tem a capacidade de atuar na fabricação delegada inúmeras vezes, não sendo necessário a contratação de mais mão de obra no caso de aplicação

de escalabilidade, claro que, de acordo com o dimensionamento correto da mão de obra.

O sistema de construção modular, por trabalhar com o conceito de fábrica, tem sua linha de produção, onde cada setor tem sua responsabilidade, como por exemplo, montagem, soldagem, instalação de drywall, instalação elétrica entre outros. Em suma, a mão de obra desenvolve uma habilidade única, com a padronização e repetição, alcança um nível de exatidão e qualidade que torna este sistema tão rápido e preciso.

Contudo, o custo inicial é a fraqueza deste sistema, pois o mesmo tem um alto valor de produção, que podem ser resolvidos através das oportunidades, dos fatores externos, como a escalabilidade, pois ao aumentar a produção, não será necessário aumentar os colaboradores, pois a linha de produção é otimizada para dar conta de um aumento na quantidade de tarefas que sigam o mesmo padrão, sem alteração da qualidade e a logística, que juntas, formam as oportunidades que este sistema encontra, em seu desafio maior de vencer a ameaça externa, que é a popularidade, pois a aceitação cultural é muito difícil perante sistemas construtivos diferentes do convencional, mais difundido no Brasil.

Segundo Antunes (2022), cerca de 6 milhões de famílias não tem moradia apropriada, devido a diversos fatores, mas principalmente dificuldades de acessos e segregação espacial da população de média e baixa renda que não tem acessibilidade necessária para conquistar uma nova moradia, com qualidade e segurança adequadas.

Os conjuntos habitacionais e condomínios residenciais populares, são formas de soluções ao problema de déficit de habitações existente, com financiamentos públicos ou privados, estes sistemas usam como anteriormente visto, os três sistemas construtivos abordados neste trabalho, alvenaria convencional, alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas no local.

Como visto nas análises SWOT dos sistemas construtivos, todos sistemas construtivos tem pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças, a partir das Tabelas 10, 11, 12 e 13 será definido notas de zero a dez, onde Forças receberam de oito a dez, fraquezas receberam de zero a quatro, oportunidades receberão de seis a oito e ameaças receberão de quatro a seis.

Em uma matriz de prioridade, disponível na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Tabela de Prioridades Considerando Pontos Fortes e Fracos, Internos e Externos da Análise SWOT

Critérios de Avaliação	Alvenaria Convencional	Alvenaria Estrutural	Paredes de Concreto Moldada no Local	Construção Modular Off-site
Custo Inicial	8	6	4	0
Prazo de Obra	2	4	6	8
Geração de Resíduos	0	4	6	8
Impacto Ambiental	2	8	6	8
Mão de Obra	4	4	8	8
Escalabilidade	2	4	6	5
Logística	4	4	8	6
Qualidade	4	5	6	9
Popularidade	9	8	8	2
Total	35	47	58	54

Fonte: Autor (2023)

A Tabela 9 acima, trata-se de uma tabela de prioridades, onde se insere notas as características dos projetos, e no final soma-se as notas, a prioridade será de acordo com a ordem decrescente dos totais, desta forma, a prioridade que esta tabela fornece pode ser entendida como a melhor possibilidade, assim, enquadra-se um ranking, onde a melhor possibilidade avaliando todas as quatro metodologias, através das ferramentas utilizadas é:

- 1º - Paredes de Concreto moldada no local;
- 2º - Construção Modular *Off-site*;
- 3º - Alvenaria Estrutural;
- 4º - Alvenaria convencional.

Fica claro que ao inserir características como prazo, geração de resíduos, qualificação de mão de obra, escalabilidade de negócio, qualidade e popularidade, a ordem de vantagem varia em relação ao custo inicial apenas, e também ao prazo somente, onde em custo, a alvenaria convencional lidera a lista e em termos de prazo a construção modular *off-site* lidera o *ranking*.

Inserir estas outras especificidades, de acordo com suas forças e fraquezas causadas em cada sistema, permite redefinir a avaliação amplificando seu campo de perspectivas, e o *ranking* acima demonstra que a construção modular, apesar de seu custo elevado, se sobressai frente aos demais considerando os pontos fracos e fortes de fatores internos e externos, ficando em segundo lugar.

Os materiais empregados dos três primeiros sistemas construtivos são altamente disseminados, blocos de vedação ou estrutural e concreto armado são os itens mais utilizados no Brasil para construção de residência. Ao abordar os materiais da construção modular, são materiais que se originam de pesquisas recentes e consequentemente tem pouca disseminação no mercado, pois *steel frame*, gesso acartonado, modulação das construções e construção fora do

canteiro, são conceitos fortes no exterior como visto por Lawson, Ogden e Goodier (2014), mas no Brasil são termos ainda não abordados com abrangência, o que enquadra-se como uma ameaça a resistência cultural.

Com os dados levantados, é possível definir a construção modular *off-site*, em relação aos outros métodos construtivos abordados, como uma construção enxuta que utiliza dos mais altos níveis de tecnologia para a modulação ser bem sucedida e conceitos avançados de gestão de obra que garantam a execução em tempo recorde, podendo reduzir em 70% o tempo de execução de uma obra com controle de qualidade. Apesar de seu elevado custo inicial ao aplicar escala, ou seja, aumentar o número de construções, seu custo ao longo da produção tende a reduzir, pelo fato de que os procedimentos, mão de obra e ambiente de instalação já estão prontos e não é necessário aumentar a equipe ou ambiente de produção.

A construção modular do projeto piloto teve seu projeto completo definido em um planejamento executivo conforme a Figura 36, em 48 dias úteis, o que significa dois meses e oito dias enquanto as de alvenaria convencional, estrutural e paredes de concreto moldada no local necessita de no mínimo cinco meses, tempo suficiente para produzir 2,5 casas no sistema construtivo modular, justamente esta produtividade torna tão interessante a inserção do sistema construtivo modular *off-site* como metodologia construtiva para casas populares de cunho habitacional.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O presente trabalho teve como principal objetivo, comparar e investigar a viabilidade da construção modular *off-site* como uma alternativa frente as metodologias construtivas convencionais para casas unifamiliares mais utilizadas comercialmente no Brasil, para disseminar não só a tecnologia mas também a qualidade do que esta proporciona, tais comparações foram realizadas entre os sistema de alvenaria convencional, alvenaria estrutural, paredes de concreto moldadas no local e a construção modular *off-site*.

A construção civil no Brasil tem um papel fundamental no desenvolvimento do país, seja de cunho econômico ou social e um relevante aspecto, como visto é a construção de habitações populares. A busca por novas soluções cada vez mais eficientes, em aspectos ambientais, econômicos e sociais, incentivou esta pesquisa, que permitiu observar o quão desindustrializado é o setor de construção de habitações populares, sendo visado apenas o lucro no processo. A industrialização da construção civil foi uma vertente fortemente buscada nesta pesquisa, com o intuito de introduzir processos e técnicas que envolvem a produção em massa de componentes construtivos, visando aumentar a produtividade, reduzir custos e otimizar o tempo de construção.

O compêndio dos dados apresentados indicam que a alvenaria convencional, a alvenaria estrutural e as paredes de concreto moldada *in loco* são opções mais baratas em comparação à construção modular *off-site*. No entanto, ao incluir na análise, parâmetros como geração de resíduos, impacto ambiental, qualificação de mão de obra, escalabilidade, qualidade, logística e principalmente o prazo de obra, surpreendentemente o custo não torna-se unicamente relevante, frente a redução de impactos ambientais e qualidade proporcionada, com tempo reduzido em até 70% frente aos outros sistemas construtivos.

Como averiguado, no Brasil existe por volta de seis milhões de famílias que não tem uma moradia adequada, e uma possibilidade de impulsionar seria a adoção de um sistema construtivo, que embora oneroso, é superior em todos os demais fatores, agregando um imenso valor à moradia.

A disseminação desta recente metodologia construtiva no Brasil é a chave para a aceitação da sociedade, para que com tal aceitação, comece a ser implantada e aprimorada cada vez mais por usuários finais, empresas, governo e agentes de regulamentação, que criem normas sobre o sistema construtivo para garantir uma execução de qualidade superior a que por natureza fornece.

A redução de desperdícios, frente aos três principais sistemas construtivos utilizados é uma importante vantagem, pois a construção modular *off-site* tem um controle e planejamento de materiais mais preciso e a modulação influencia na compra dos materiais em quantidades precisas, retendo assim, a necessidade de retrabalhos ou desperdícios.

Por fim, tem-se a visibilidade da construção modular *off-site* como uma alternativa frente aos demais sistemas, a cunho de amenizar o deficit habitacional nacional, porém, a mesma

necessita de mais estudos, análises e disseminação na sociedade, para criar um acervo propriamente nacional, que garanta o progresso tecnológico da sociedade brasileira e da construção civil, como definição de normas, desenvolvimentos de parâmetros, fabris e de campo, desenvolvimento de pesquisas de materiais e procedimentos para enriquecer e aprimorar este método construtivo, inovador, tecnológico.

Para trabalhos futuros fica a busca por compreender formas de baratear o sistema construtivo modular, divulgação e disseminação cultural do sistema construtivo modular *off-site* e propor a composição de parâmetros normativos para aprimorar os procedimentos e materiais empregados.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, R.; HALIM, H. A.; RIZAL, M. Lean construction practices in malaysia: a review. In: IEOM SOCIETY. *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. [S.l.], 2019. p. 2655–2663.

ABNT, A. B. de N. T. *NBR 16868: Alvenaria Estrutural Partes de 1 a 5*. [S.l.]: ABNT, 2020. Disponível em <<https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12808/nbr16868-1-alvenaria-estrutural-parte-1-projeto>>.

ALMEIDA, S.; JÚNIOR, A. Parede de concreto montado in loco: um sistema construtivo com uso em moradias de baixa renda. *Revista*, 2013.

Antunes, A. *Famílias sem casa e casas sem família*. 2022. Artigo. Acesso em: 11 jun. 2023. Disponível em: <<https://www.epsjv.fiocruz.br/noticias/reportagem/familias-sem-casa-e-casas-sem-familia>>.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Técnica, *ABNT NBR 15575-1:2013: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais*. 2013. ABNT, Rio de Janeiro.

AVELLAR, L. A. A. M. de et al. Alvenaria estrutural na construção civil. *Revista Eletrônica TECCEN*, v. 11, n. 2, p. 16–22, 2018.

BALLAL, T.; ANUMBA, C. J. Lean construction: principles, methods and tools. In: ELSEVIER. *Proceedings of the 4th International Conference on Responsive Manufacturing*. [S.l.], 2015. p. 385–392.

BARROS, M. *METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS RACIONALIZADAS NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS*. 454 f. Monografia (Tese (Doutorado)) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1996.

BARROS, R.; COSTA, L. A utilização de novas tecnologias para otimizar a construção civil. *Boletim do Gerenciamento*, v. 34, n. 34, p. 38–48, 2023. ISSN 2595-6531.

BRASIL, A. *IBGE: construção voltou a crescer em 2019, após dois anos de queda*. 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-06/ibge-construcao-voltou-crescer-em-2019-apos-dois-anos-de-queda#:~:text=Em%202019%2C%20o%20Produto%20Interno,%2C%20alcan%C3%A7ando%201%2C5%25.>>> Acesso em: 19 de Janeiro de 2023.

Brasil ao Cubo. *Expansão modular off-site Hospital M'boi Mirim | BRASIL AO CUBO*. 2020. Vídeo online. Acesso em: 26 mar. 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=O7B5I-Tls9I&ab_channel=BrasilaoCubo>.

Brasil Escola. *Setores da economia*. 2022. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/setores-economia.htm>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

BRASIL, M. do. *Sistema Construtivo: Construção convencional ou alvenaria estrutural, qual o melhor para sua casa?* 2017. Disponível em: <<https://www.mevodobrasil.com/sistema-construtivo/>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2022.

CELESTINO, L. M. Análise comparativa de custo direto de produção entre sistemas construtivos utilizados em habitação de interesse social. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção. *Setor da construção civil é responsável por 9% do PIB brasileiro*. 2019. <<https://cbic.org.br/setor-da-construcao-civil-e-responsavel-por-9-do-pib-brasileiro/>>. Acesso em: 03 mar. 2023.

DEGANI, J. A. Construção modular em light steel frame: comparativo com construção em alvenaria convencional. *Engenharia Civil-Tubarão*, 2017.

EASTMAN, C. et al. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. [S.l.]: John Wiley Sons, 2011.

FEDERAL, G. *Programa Minha Casa, Minha Vida*. 2014. Disponível em: <<https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/385446/Programa\%20Minha\%20Casa\%20Minha\%20Vida.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 19 de Janeiro de 2023.

Ferraz, N. N. *Guia da construção civil: do canteiro ao controle de qualidade*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2019. ISBN 978-85-7975-341-1.

FORMOSO, C. T.; AGOPYAN, V. *Industrialização na construção civil: materiais, processos e sistemas construtivos*. [S.l.]: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

FRANCO, L. *Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada*. 319 p. Monografia (Tese (Doutorado)) — Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FREITAS, F. M. C. *Construção Modular Sustentável: Propostas de um projeto tipo*. Dissertação (Mestrado), 2014.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONÇALVES, L. S. et al. Análise comparativa entre alvenaria convencional e alvenaria estrutural. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 11, p. 2611–2618, 2022.

GUIMARÃES, T. de C.; SANTOS, B. S. M. Metodologias ágeis na construção civil: estudo de caso da construção modular off site aplicada no hospital m'boi mirim em são paulo. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 1, p. 2207–2225, 2022.

IBGE. *Produto Interno Bruto - PIB*. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/ PIB.php>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

IBGE. *Construção Civil*. 2023. Acesso em: 03 mar. 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-pib-trimestral.html?=&t=o-que-e->>.

IBGE, I. *Desempregados - Desoculados*. 2014. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>>. Acesso em: 18 de Janeiro de 2023.

INFOMONEY. *MRV (MRVE3) avança após fundo canadense anunciar aporte em startup da companhia*. 2021. Acesso em: 23 mar. 2023. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/mercados/mrv-mrve3-avanca-apos-fundo-canadense-anunciar-aporte-em-startup-da-companhia/>>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua*. 2023. [Acesso em: 18 mar. 2023]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/habitacao/9173-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?=&t=o-que-e->>.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *A industrialização na construção civil*. IPEA, 2019. Disponível em: <https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_0658.pdf>.

JARDIM, M. C.; PORCIONATO, G. L. A construção social do mercado da construção civil nos anos 2000: o caso da habitação e o papel do estado. *Estudos de Sociologia*, v. 22, n. 43, 2017.

KATO, R. *Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta*. 114 p. Monografia (Dissertação (Mestrado)) — Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.

KIM, H.; KIM, H.; HAN, S. Modular coordination method for reducing costs in construction projects. *Sustainability*, v. 11, n. 12, p. 3336, 2019.

KOSKELA, L. *An exploration towards a production theory and its application to construction*. [S.l.], 2001. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/ce51/bc1qzk3kxhdxnzkdgd9ueg34y08smxgfv0hxvcu3.pdf>>.

LACERDA, J. F. S. B.; GOMES, J. de O. Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no brasil: análise do estado da arte. *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838*, v. 7, n. 2, p. 167–186, 2014.

LAVALL, H. *Prefabrication and industrialized building systems: a state-of-the-art review*. [S.l.], 1998. Disponível em: <<https://nparc.nrc-cnrc.gc.ca/eng/view/fulltext/?id=ea40d987-a331-47a8-9182-7f08c2af7780>>.

LAWSON, M.; OGDEN, R.; GOODIER, C. *Design in Modular Construction*. [S.l.]: CRC Press, 2014. ISSN 978-0-203-87078-5.

LAWSON, R. M. et al. *Modular Construction using Light Steel Framing: An Architect's Guide*. [S.l.]: The Steel Construction Institute, 1999. ISBN 1-85942-096-6.

LOPEZ, R. B.; AL. et. Industry 4.0 in construction: A review of recent advances, future trends, and new challenges. *IEEE Access*, IEEE, v. 7, p. 97946–97957, 2019.

LUIZ, R. *Com 5,8 milhões sem moradia, verba do Casa Verde Amarela é a menor da história*. 2022. Disponível em: <<https://www.sinprodf.org.br/com-58-milhoes-sem-moradia-verba-do-casa-verde-e-amarela-e-a-menor-da-historia/>>. Acesso em: 19 de Janeiro de 2023.

MARTUCCI, R. *Projeto tecnológico para edificação habitacionais: utopia ou desafio?* Monografia (Tese (Doutorado)) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MATTOS, A. D. *Planejamento e controle de obras*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2019.

Mattos, A. D. *Planejamento e Controle de Obras*. 2. ed. São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2019. ISBN 978-85-7975-345-9.

McKinsey & Company. *Imagining construction's digital future*. [S.l.]: McKinsey & Company, 2018.

Ministério do Desenvolvimento Regional. *Política Nacional de Habitação*. 2023. [Acesso em: 18 mar. 2023]. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/habitacao/politica-nacional-de-habitacao>>.

MOLENAAR, K. R. Modular design and construction for the us navy. *Journal of Ship Production and Design*, v. 30, n. 2, p. 94–99, 2014.

MORAIS, K. C. *Parede em concreto moldado in loco*. 2012. Vídeo online. Acesso em: 23 mar. 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AHbo97alQdM&ab_channel=kleuberCamposMorais>.

OLIVEIRA, J.; SANTOS, M. A importância do cronograma físico na seleção de métodos construtivos. *Revista de Engenharia Civil*, v. 10, n. 2, p. 45–58, 2018.

Portal da Indústria. *Entenda a economia do Brasil, seu contexto, atualidades e perspectiva*. 2022. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/economia/#>>.

~:text=A\%20economia\%20do\%20Brasil\%20apresenta,de\%20retomada\%20da\%20economia\%20mundial.> Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

PWC. *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. [S.l.]: PWC, 2019.

QUEIROZ, L. P. d. et al. Análise dos sistemas construtivos de concreto pré-fabricados e moldados in loco. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2018.

Revista: Entenda Antes- O mundo da construção. *Sistemas construtivos: tudo o que você precisa saber*. 2020. Disponível em: <<https://entendaantes.com.br/sistemas-construtivos/>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2022.

ROMAN, H. *Alvenaria Estrutural*. 24 p. Monografia (Dissertação (Mestrado)) — Revista Técnica, São Paulo, 1996.

RÜTHER, R. *Técnicas Construtivas*. São Paulo: Pini, 2015.

SABBATINI, F. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. 321 p. Monografia (Tese (Doutorado)) — Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SANTOS, V. D. Light steel frame: Um sistema alternativo. 2022.

SILVA, D. W. M.; GODOY, M. G. d. *Estudo comparativo entre os sistemas construtivos de alvenaria estrutural e paredes de concreto moldadas no local*. Dissertação (B.S. thesis), 2021.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SOUZA, B. et al. Análise dos indicadores pib nacional e pib da indústria da construção civil. *Desenvolvimento Econômico, Salvador*, v. 17, n. 31, p. 140 – 150, 2015.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

TecnoFrame. *Construção Modular: O que é, Vantagens, Preço*. 2020. [Acesso em: 26 mar. 2023]. Disponível em: <<https://tecnoframe.com.br/construcao-modular-o-que-e-vantagens-preco/>>.

Teixeira, L. P.; Carvalho, F. M. A. de. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. *Revista Paranaense do Desenvolvimento*, Curitiba, v. 20, n. 109, p. 9–26, 2005.

VAGO, F. R. M. et al. A importância do gerenciamento de estoque por meio da ferramenta curva abc. *Revista Sociais e Humanas*, v. 26, n. 3, p. 638–655, 2013.

VALE, H.; ALVES, L. Metodologias ágeis na construção civil e suas diferenças sobre a metodologia cascata tradicional. *Boletim do Gerenciamento*, v. 30, n. 30, p. 12–19, 2022. ISSN 2595-6531.

VIEIRA, B.; NOGUEIRA, L. Construção civil: Crescimento versus custos de produção civil. *Sistema e Gestão*, v. 10, n. 13, p. 366–377, 2018.

VIEIRA, R. de O.; SILVA, U. C. N.; GOLIATH, K. B. Sistema construtivo de paredes de concreto moldadas “in loco”. *Epitaya E-books*, v. 1, n. 6, p. 499–522, 2021.

VISIA, C. M. *As 4 Etapas da Construção Modular*. 2020. Artigo. Acesso em: 02 jun. 2023. Disponível em: <<https://www.visia.eng.br/as-4-etapas-da-construcao-modular/>>.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. *A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza*. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

ZUNIGA, L. Viabilidade do sistema construtivo do tipo parede de concreto para habitações populares. *Revista Mirante*, v. 10, p. 89 – 102, 2017.