

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE TECNOLOGIA

ENGENHARIA CIVIL

Rodrigo Granja Alencar

A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DO SIP

Maceió - AL

2022

Rodrigo Granja Alencar

A INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL ATRAVÉS DO SIP

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado para o curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Alagoas
como forma de obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Karoline Alves de
Melo Moraes

Maceió - Al

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

- A368i Alencar, Rodrigo Granja.
A industrialização da construção civil através do SIP / Rodrigo Granja
Alencar. – Maceió, 2022.
72 f. : il., grafs. e tabs. color.
- Orientadora: Karoline Alves de Melo Moraes.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.
- Bibliografia: f. 56-59.
Apêndices: f. 60-64.
Anexos: f. 65-72.
1. Construção civil. 2. Construção industrializada. 3. Produtividade. 4.
Painelização (Construção civil). 5. Paineis estruturais. I. Título.

CDU: 69

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo infinito amor e pelo privilégio de me permitir viver todos esses anos dentro da faculdade.

A Universidade Federal de Alagoas e todos professores e funcionários que contribuíram para minha formação durante a graduação.

A Profa. Dra. Karolina Alves de Melo Moraes pela orientação, confiança e dedicação.

Aos professores participantes da banca examinadora, Profa. Adriana Santos Weber e a Profa. Ivy Quintella, pelas contribuições para o trabalho.

Aos meus pais pelo exemplo de dedicação e discernimento.

A Alana por todo apoio durante as dificuldades e por sempre torcer por mim.

Ao Leo Santana, Mateus Jatobá, Ana Elza, Yanna Patriota, Helena Alencar que foram amigos essenciais nessa jornada tão desafiadora.

A EJEC, Empresa Júnior que me desenvolveu tanto nesses anos de faculdade e me ajudou a ser quem sou hoje.

A todos aqueles não citados aqui, mas que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

É o fim de um ciclo, na certeza de que todas as aflições ocorridas durante toda essa jornada não podem ser comparadas com a glória que será revelada (Rm 8:18).

RESUMO

ALENCAR, R. G. **A industrialização da construção civil através do SIP.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2022.

O presente trabalho foi produzido com a motivação de expandir as possibilidades construtivas em meio às diversas dificuldades que a indústria da Construção Civil demonstra, como a baixa taxa de produtividade, alta geração de resíduos, grande desperdício, pouca confiabilidade e pouca ação sustentável. Dessa forma, propõe-se compreender o panorama da industrialização da Construção Civil com foco no sistema painelizado com a utilização do SIP, entendendo a situação atual em que o setor se encontra, utilizando como metodologia a revisão bibliográfica. Ao entender o cenário atual da construção civil e visualizar sua história, foi possível identificar as grandes resistências do setor e as suas tendências mais relevantes, caracterizando a sua industrialização e as múltiplas possibilidades de construção, tanto em termos de processo construtivo como material construtivo. Em seguida, ao delimitar a construção industrializada para o sistema de painelização utilizando o SIP (*Structural Insulated Panel*), foram discutidas as principais características desse tipo de processo. Além disso, aprofundando-se no material construtivo SIP, foi possível desenvolver um pouco de sua história e suas principais características, assim como seu desempenho frente ao mercado. Dessa forma, foi possível perceber que o SIP demonstra uma execução mais rápida e sustentável, com um grande potencial de crescimento, ainda com algumas dificuldades em torná-lo viável economicamente para certos tipos de projetos.

Palavras-Chave: Construção Civil; Construção Industrializada; Produtividade; Painelização; SIP.

ABSTRACT

ALENCAR, R. G. **The industrialization of civil construction through the SIP.**
Completion of course work (Graduate - Bachelor's Degree in Civil Engineering) -
Federal University of Alagoas, Maceió. 2022

The present work was produced with the motivation to expand the constructive possibilities in the midst of the various difficulties that this industry demonstrates, such as the low productivity rate, high waste generation, great waste, little reliability and little sustainable action. In this way, it proposes to understand the panorama of the industrialization of civil construction with a focus on the panelized system with the use of the SIP, understanding the current situation that the sector is in, using the bibliographic review as a methodology. Once, by understanding the current scenario of civil construction and visualizing its history, it was possible to identify the great resistance of the sector and also its most relevant trends. With this, characterizing its industrialization and the multiple possibilities of construction, both in terms of construction process and construction material. Then, when delimiting the industrialized construction for the paneling system using the SIP (Structural Insulated Panel), the main characteristics of this type of process were discussed. In addition, delving into the SIP construction material, it was possible to develop a little of its history and its main characteristics, as well as its performance in the market, visualizing how this material is in it.

Keywords: Civil Construction; Industrialized Construction; Productivity; Panelization; SIP;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dados sobre produtividade de diversos setores produtivos brasileiros nas últimas décadas	12
Figura 2: Uso de madeira engenheirada no Brock Commons Tallwood House, no Canadá.....	13
Figura 3: Etapas metodológicas do trabalho	16
Figura 4: Ciclo degenerativo de negócios na construção tradicional.....	18
Figura 5: Duplo gap de produtividade a ser enfrentado pela construção brasileira...	19
Figura 6: Criação de empregos na construção civil em 2021 e 2020.....	20
Figura 7: Descentralização dos colaboradores da construção civil a partir do fluxo de informações.....	21
Figura 8: Mão de obra intensiva na construção tradicional	25
Figura 9: Fase de produção em fábrica.....	26
Figura 10: Comparação entre prazo dos sistemas convencional e industrializado ...	27
Figura 11: Exemplo de Nível 1 – Trelças de telhados	31
Figura 15: Ilustração de uma construção modular	36
Figura 16: Ilustração de uma construção painelizada	37
Figura 17: Montagem de um painel de fachada	40
Figura 18: Principais causas da geração de resíduos.....	41
Figura 19: Painel SIP utilizando placas de OSB.....	42
Figura 26: Exemplo da versatilidade e uso estético do SIP	49
Figura 27: Exemplo de cobertura com ausência de trelças de uma escola do Reino Unido.....	50
Figura 28: Comparativo qualitativo entre construção em alvenaria e em SI	51
Figura 29: Comparativo qualitativo entre construção em <i>Wood Frame</i> e em SIP	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplos de níveis de fabricação <i>offsite</i>	32
Quadro 2: Tipologias construtivas do sistema modular.....	33
Quadro 3: Materiais utilizados na construção industrializada.....	36
Quadro 4: Exemplo de cobertura com ausência de treliças de uma escola do Reino Unido.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Geral	11
1.2.2 Específicos	11
1.3 JUSTIFICATIVA	11
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2. METODOLOGIA	15
3. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
3.1 PANORAMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
3.1.1 Histórico e realidade	17
3.2 INDUSTRIALIZAÇÃO	23
3.2.1 Histórico e definição	23
3.2.2 Caracterização e possibilidades	24
3.2.3 Racionalização, Coordenação Modular e <i>Lean Construction</i>	28
3.2.4 Níveis de fabricação <i>off-site</i> e processos industrializados	30
4. SISTEMA PAINELIZADO COM SIP	40
4.1 SISTEMA PAINELIZADO	40
4.1.1 Características	40
4.2 SIP	41
4.2.1 Definição e história	41
4.2.2 Desempenho e possibilidades	43
4.2.3 Panorama do mercado	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE A – LISTA DE EXECUTORES DE <i>STEEL FRAME</i> NO BRASIL	60
APÊNDICE B – LISTA DE EXECUTORES DE <i>WOOD FRAME</i> NO BRASIL.....	61
APÊNDICE C – LISTA DE EXECUTORES DE CLT E MLC NO BRASIL	62
APÊNDICE D – LISTA DE EXECUTORES DE SIP NO BRASIL	63
APÊNDICE E – LISTA DE EXECUTORES DE CONTÊINER NO BRASIL	64
ANEXO A – FOTOS DE CONSTRUÇÕES COM SIP NO BRASIL	65
ANEXO B – DETALHES DE EXECUÇÃO COM SIP	68

1. INTRODUÇÃO

1.1 COMENTÁRIOS INICIAIS

A construção civil tem como função ajudar a desenvolver o bem-estar da sociedade, através da melhoria da infraestrutura, preservando o meio ambiente (QUINDERÉ, 2022). Entretanto, ao analisar o cenário desse setor, é perceptível diversos obstáculos que impedem o seu avanço e sua atuação da forma mais coerente e sustentável. Nesse sentido, a indústria da construção civil em geral, devido a seu caráter artesanal, apresenta custos significativos com desperdício e retrabalhos (GROHMANN, 1998), realidade que se estende até os dias atuais. Assim, evidenciam-se processos arcaicos, em meio a uma cultura tradicionalista que prioriza o sistema construtivo convencional sem colocar como opção outras formas de construir.

Nesse sentido, a indústria da construção civil demonstra uma estagnação, evoluindo de maneira lenta e com pouca confiabilidade, visto que não existe eficiência na padronização do produto final, sendo ainda bastante manual. Com isso, a produtividade torna-se um fator de relevância para o desempenho das obras em geral, que poderiam ser mais ágeis e com menos desperdícios (QUINDERÉ, 2022).

Diante desses fatos, surge a necessidade de potencializar mudanças que solucionem tais problemas. Como uma tendência alternativa encontram-se os processos industrializados, que utilizam um ambiente controlado para executar um determinado produto, muito comum no ramo automobilístico, por exemplo. Tendo isso como uma opção, o leque de possibilidades para a construção civil torna-se muito maior e além da forma de construir convencional com alvenaria comum.

Visto isso, esse trabalho apresenta um panorama de como a industrialização torna-se importante para o processo evolutivo do setor e as diversas possibilidades que esse direcionamento viabiliza, tanto em termos de sistema quanto material construtivo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Compreender a industrialização da construção civil, com foco no sistema painelizado com a utilização do SIP.

1.2.2 Específicos

- Entender a industrialização da construção diante dos aspectos da produtividade, sustentabilidade, qualidade e viabilidade econômica;
- Identificar os benefícios do sistema painelizado SIP.

1.3 JUSTIFICATIVA

Ao compreender o panorama da construção civil brasileira, é evidente a necessidade de mudanças ideológicas que permeiam uma cultura tradicionalista que cria obstáculos para investir em tecnologia. Diante disso, a construção enfrenta uma baixa da produtividade, sendo uma das indústrias que perdeu eficiência nas últimas décadas, na média, conforme se pode ver na Figura 1 desenvolvida pelo *Bureau of Economic Analysis*, dos Estados Unidos.

Figura 1: Dados sobre produtividade de diversos setores produtivos brasileiros nas últimas décadas



Fonte: BEA (2011)

Além disso, um estudo da Fundação Getúlio Vargas para o Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo (Sinduscon-SP) revelou que a produtividade da mão de obra deste setor é em média 30% menor do que em outros países pesquisados. Ao comparar com os Estados Unidos, por exemplo, a pesquisa concluiu que a mão de obra brasileira alcançou apenas 20% da produtividade dos trabalhadores norte-americanos (QUINDERÉ, 2022).

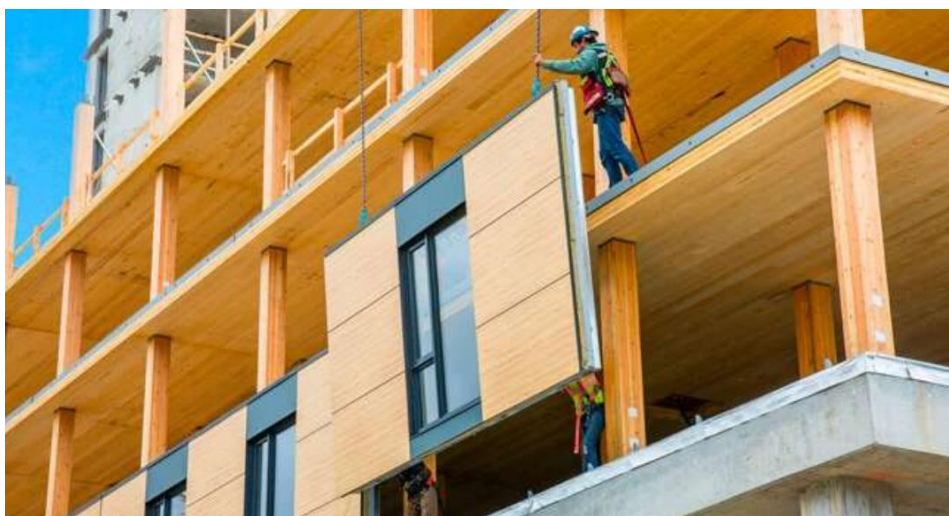
Com isso, a necessidade de inovar de maneira disruptiva torna-se imprescindível, analisando e introduzindo métodos construtivos modernos que diferem da tradicional alvenaria. Desse modo, é possível fazer da construção civil uma indústria moderna, cada vez mais eficiente, tecnológica, com menos desperdício, maior produtividade e qualidade (ITIE, 2021a).

Nesse sentido, existe um grande número de possibilidades, como o uso do aço como estrutura, sendo o *light steel frame* o mais conhecido, atrelado a outros materiais de vedação, como o OSB. Além dele, pode-se utilizar também a madeira como material construtivo, representando o material com mais metros quadrados construídos no mundo, devido à grande utilização do *light wood frame* nos países norte-americanos e europeus (ITIE, 2021b).

Outro grande sistema que utiliza o material mais antigo do mundo - a madeira -, é o CLT (*Cross Laminated Timber*) ou Madeira Lamelada Cruzada, representado na

Figura 2, em que lâminas de madeira são cruzadas com o intuito de potencializar sua resistência nas diferentes direções de esforço e utilizá-las como painéis. Por fim, é possível citar também, os painéis autoportantes e estruturais que contam com um preenchimento isotérmico, como o SIP (*Structural Insulated Panel*), o qual utiliza, comumente, o EPS e placas de OSB (*Oriented Strand Board*) para fechamento, tornando o sistema simples para executar (ITIE, 2021c)

Figura 2: Uso de madeira engenheirada no Brock Commons Tallwood House, no Canadá



Fonte: Acton Ostry Architects (2017)

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por quatro capítulos desenvolvidos de forma a promover um entendimento sobre o complexo panorama em que a construção civil se encontra e os métodos construtivos industrializados como uma tendência resolutive, delimitando a um material construtivo.

O primeiro capítulo aborda o objetivo do trabalho, descreve a metodologia e toda motivação do seu desenvolvimento.

O segundo capítulo, por sua vez, tem o intuito de compreender o panorama da construção civil, visualizando um breve histórico até a realidade atual. Além disso, entender as suas principais resistências e, também, as tendências mais relevantes dessa indústria. Ainda, definir o sistema industrializado, inserindo todo seu contexto histórico. Outrossim, abordar características importantes da construção civil, como produtividade e sustentabilidade. Por fim, destrinchar as diversas possibilidades de

processos construtivos, assim como as diversas alternativas de materiais para construção.

Em continuidade, no terceiro capítulo, o objetivo é expor o processo construtivo painelizado, diante de algumas características que o tornam particular. Além disso, tratar do material construtivo SIP, a partir de definições e possibilidades, discorrer sobre seu desempenho e benefícios de utilização, assim como identificar o panorama dos colaboradores que trabalham com esse material.

No último capítulo, são expostas considerações finais, com algumas conclusões e críticas sobre os temas apresentados ao longo da monografia.

2. METODOLOGIA

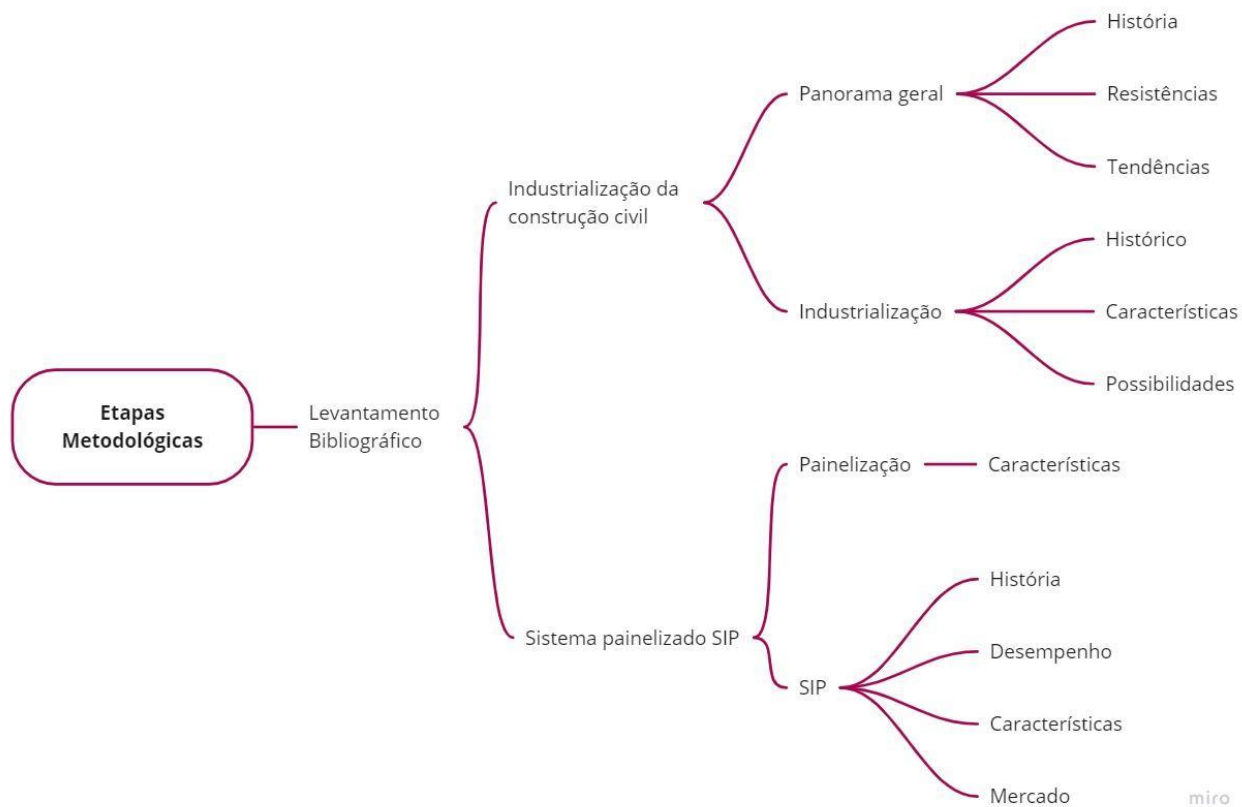
O trabalho foi realizado por meio de revisão através de instituições e empresas do mercado ligadas aos métodos construtivos industrializados, tanto sobre os diferentes processos que existem, como as possibilidades de materiais empregados. Houve também, a busca por artigos, trabalhos e relatórios de pesquisas.

A pesquisa em estudo possui caráter exploratório que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Logo, para uma melhor compreensão, a pesquisa envolveu levantamento bibliográfico das principais resistências encontradas no setor da construção civil, assim como as grandes tendências existentes atualmente. Em continuidade, foram levantadas referências bibliográficas sobre a inserção da industrialização na construção civil e suas possibilidades de sistemas construtivos e conceitos ligados ao mesmo, além da caracterização dos aspectos técnicos, principalmente, do processo painelizado.

Ademais, foi realizada uma pesquisa de forma exploratória, partindo-se da contextualização dos requisitos de desempenho, para delimitar o material construtivo. Com auxílio de trabalhos e pesquisas, foi possível descrever algumas propriedades do material, assim como ressaltar seus benefícios.

Outrossim, foi realizado um levantamento de colaboradores que trabalham com o material construtivo destrinchado no trabalho, além de possíveis oportunidades. Por fim, foram feitas algumas considerações finais referentes a tudo que foi pesquisado e analisado. As etapas metodológicas adotadas serão apresentadas conforme o fluxograma da Figura 3.

Figura 3: Etapas metodológicas do trabalho



Fonte: Autor (2022)

3. INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 PANORAMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

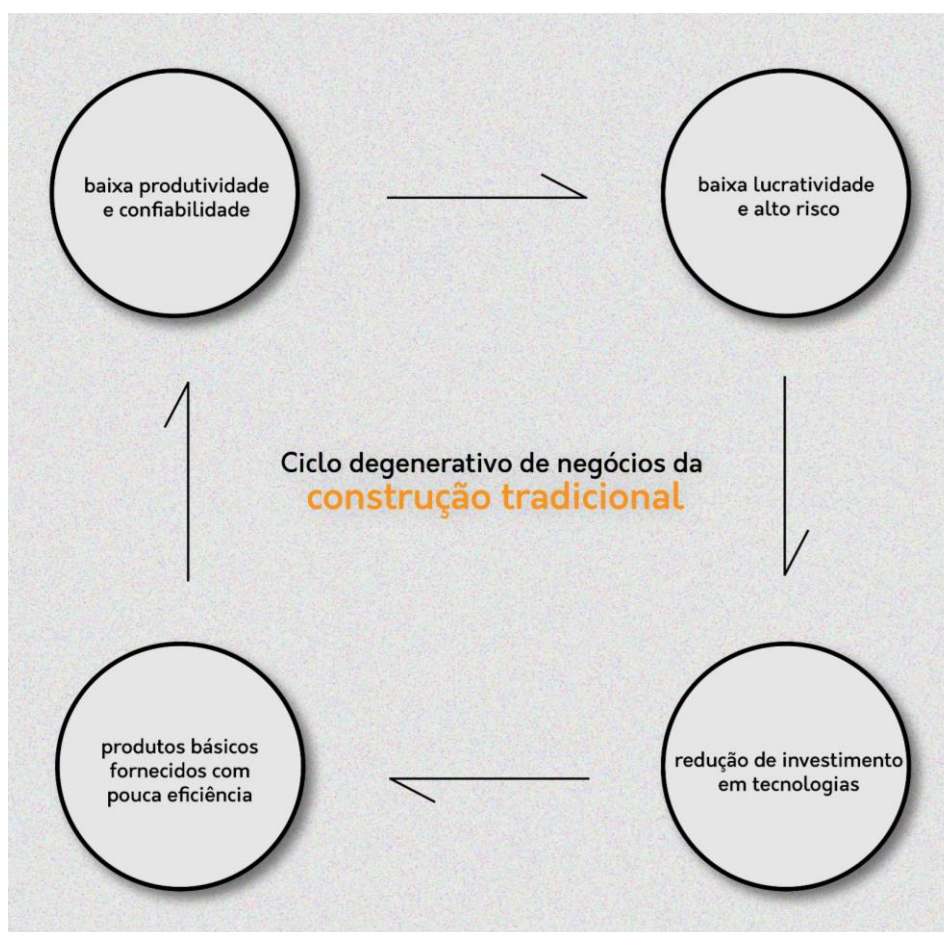
3.1.1 Histórico e realidade

A construção civil é uma atividade que visa proporcionar infraestrutura adequada para a civilização, sendo uma das atividades mais antigas do mundo. Nesse sentido, ao olhar para o início da história, por volta de 1864 com os primeiros registros, e a maneira com que essas atividades aconteciam, vê-se características importantes de trabalho: extremo esforço físico, ferramentas básicas, grandes riscos de acidente, pouca precisão e exposição a intempéries (ITIE, 2021a).

Diante disso, é perceptível a semelhança desses processos milenares com os processos utilizados ainda hoje no setor da construção civil tradicional, provocando problemas que vão do âmbito ideológico ao prático. Como consequência, esse setor apresenta um ciclo degenerativo que se inicia com os produtos básicos que chegam a granel no local da obra fornecidos, comumente, com pouca eficiência.

Em sequência, tem-se a mão-de-obra, responsável por unir esse material a granel, o que proporciona baixa produtividade e confiabilidade devido seu caráter artesanal, pouco padronizado. Com isso, gera-se um cenário de alto risco e possivelmente de baixa lucratividade. Por fim, com todo esse panorama de risco e lucratividade, não há grande motivação para investimento em tecnologia e processos, voltando a necessidade de utilização de produtos básicos, seguindo o ciclo como é possível ver na Figura 4 (ITIE, 2021d).

Figura 4: Ciclo degenerativo de negócios na construção tradicional

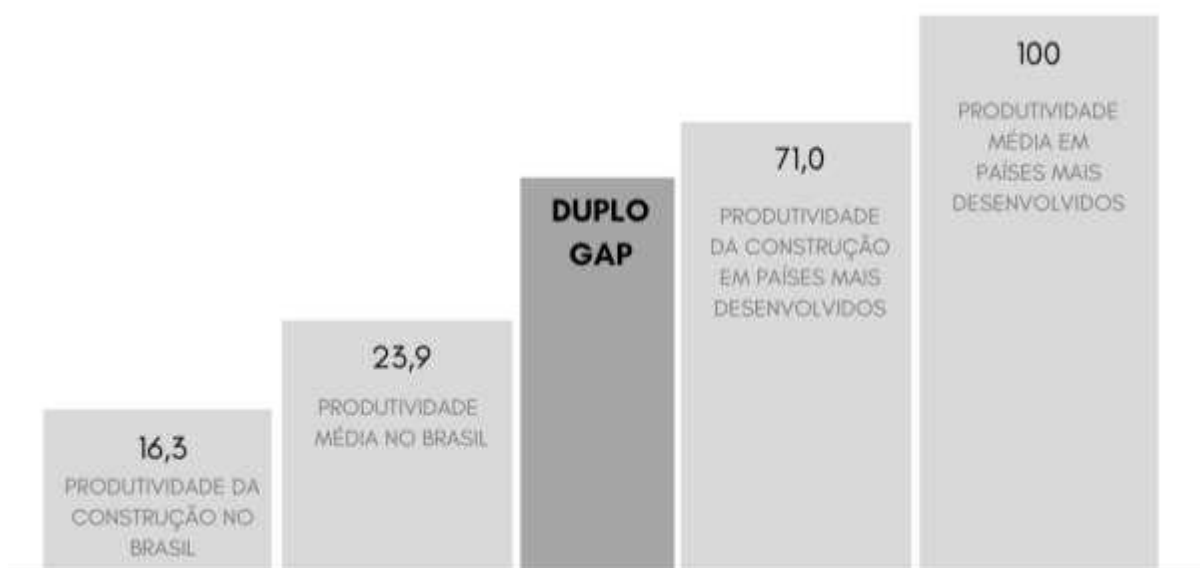


Fonte: ITIE (2020), adaptado pelo autor

Além disso, quando se fala da construção civil convencional, devido a esse caráter artesanal, naturalmente, tem-se uma baixa qualidade do produto acabado, somado ao elevado índice de desperdício. A construção responde por até 75% da matéria-prima extraída no planeta (TERRACOTTA, 2020). Um estudo realizado pelo Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP (Universidade de São Paulo) indica que, em média, o desperdício de materiais em obras de construção civil pode chegar a 8% e custos financeiros que incluem os retrabalhos de até 30% (MOBUSS, 2018).

No Brasil, o problema é potencializado pela baixa produtividade da indústria em geral. Isso resulta no chamado duplo *gap* da produtividade, apontado por estudo do SindusCon-SP e da FGV, representado na Figura 5.

Figura 5: Duplo gap de produtividade a ser enfrentado pela construção brasileira



Fonte: FGV (2016), adaptado pelo autor

Para reverter essa situação o setor precisa melhorar a sua produtividade através de soluções inovadoras, seja em termos de material construtivo, processo produtivo e, também, da gestão. Muitas soluções estão disponíveis no mercado, mas um dos grandes obstáculos envolve desde a questão de financiamento até a questão do desestímulo do processo de tributação. Hoje, esse desincentivo é agravado pela própria conjuntura setorial e macroeconômica, consequentemente, tornando mais difícil a melhoria da produtividade no setor (CASTELO, 2019).

Isso se torna ainda mais relevante pelo fato de o setor representar 7% do PIB brasileiro (ABRAINC, 2021). Junto a isso, a construção civil, com o passar dos anos foi se tornando um setor muito mais social do que tecnológico, como é possível identificar na Figura 6, que representa graficamente a criação de empregos que a construção civil gerou nos anos de 2020 e 2021.

Figura 6: Criação de empregos na construção civil em 2021 e 2020



Fonte: ABRAINC (2021)

Dessa forma, demonstra-se o grande potencial e a resiliência do setor para superar crises. Além disso, fica claro que o PIB da construção civil tem forte relação com o desempenho econômico do Brasil, e indica que o setor é essencial para a recuperação e o crescimento sustentado da economia brasileira.

3.1.2 Resistências e tendências

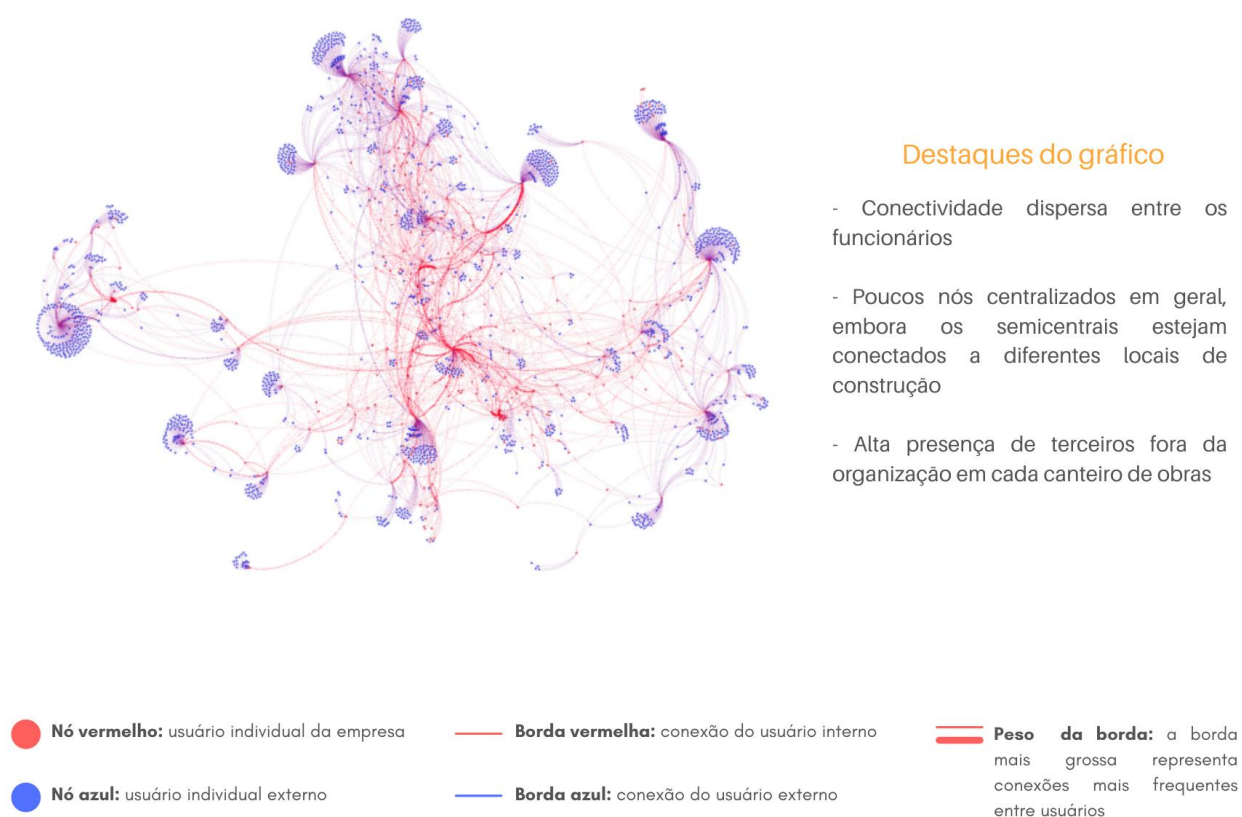
O setor da construção civil, quando se compara a outros ramos industriais, pode ser considerado uma indústria atrasada, e até questionada se pode ser chamada realmente como indústria. A razão disso é baseado no fato dela apresentar, no decorrer dos anos, problemas de baixa produtividade, grande desperdício de material e baixo controle de qualidade (EL DEBS, 2000, p.17).

Entretanto, é fato que a indústria da construção civil apresenta particularidades diante outros setores industriais. Estas particularidades criam obstáculos para que se processe uma introdução mais agressiva de máquinas e equipamentos nos canteiros de obras que vão além do ciclo degenerativo (COLOMBO e BAZZO., 2001, p.137). Pode-se ressaltar o caráter não homogêneo dos produtos, a não simultaneidade de algumas etapas, diante de um setor que apresenta muitos agentes, e seu caráter social.

Diante desses fatos, a grande heterogeneidade do setor provoca a necessidade de muitos colaboradores externos, tornando a comunicação um processo importantíssimo e, consequentemente, um problema. Segundo Lima *et al.* (2012), a comunicação clara cria uma melhoria no fluxo de informações e garante

melhores resultados de produtividade, contando com o apoio dos gestores e dos colaboradores. Uma empresa de consultoria americana realizou um mapeamento da economia da informação com cinco setores, dentre eles o da construção. Assim, foi possível identificar a grande descentralização que existe no setor da construção civil, como mostra a Figura 7, e a necessidade de investimento em tecnologia e comunicação (BOUCK, 2014).

Figura 7: Descentralização dos colaboradores da construção civil a partir do fluxo de informações



Fonte: *The Information Economy* (BOUCK, 2014), adaptado pelo autor

Tratando-se da construção civil, o mercado e seus colaboradores são engrenagens que, tradicionalmente, ainda giram de maneira precária e mal lubrificada. De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), foram 20 trimestres consecutivos de queda do PIB no segmento de construção civil quando comparado ao mesmo período do ano anterior, o que equivale a uma recessão de 5 anos (CBIC, 2020). Após esse período, a construção civil cresceu 2% no segundo trimestre de 2019, evidenciando uma recuperação. O uso crescente das tecnologias

permitiu a digitalização, automação e integração dos processos de construção (PERRIER et al, 2020).

Diante disso, as inovações se apresentaram de maneira mais forte no setor construtivo, posicionando-se basicamente de duas formas: inovação incremental, aquela que adiciona melhorias em processos ou produtos já existentes; e inovação disruptiva, que traz novos processos, materiais construtivos e hábitos de consumo (AEVO, 2020). Nesse sentido, a crescente demanda por construções ambientalmente sensíveis significa que as práticas tradicionais devem mudar. São questões profundas que exigem novas maneiras de pensar e trabalhar. Tradicionalmente, o setor tende a se concentrar em fazer melhorias incrementais, em parte porque muitos acreditam que cada projeto é único, e que optar por novas tecnologias é impraticável (SNEADER, 2021).

Sob essa ótica, considerada a 4ª Revolução Industrial, a Indústria 4.0 é uma evolução dos sistemas produtivos industriais, incorporando tecnologias como inteligência artificial, computação em nuvem, robótica, análise de dados e a internet das coisas. Com isso, fica perceptível que a informação se torna o bem mais valioso. Também na cadeia produtiva da construção civil, esses pontos despontam como caminho natural para produtividade e redução de custos (NAKAMURA, 2019).

É possível listar algumas tendências relevantes para a indústria da construção civil, destaca-se a de projetos e construções preparados para o futuro, que conta com novos materiais, assim como abordagens de construção inovadoras no sentido da industrialização, que podem reduzir custos e acelerar a construção, melhorando qualidade e segurança. Ainda, faz-se necessário esse tipo de inovação devido a outras tendências como a de construção verde, que busca adotar materiais com pegadas de carbono mais baixas (SNEADER, 2021).

Entretanto, existem muitos obstáculos para que o setor da construção civil consiga implantar essas inovações de maneira efetiva. Dentre eles, tem-se o ambiente macroeconômico, a formação dos trabalhadores e o atraso na digitalização. A revolução digital está impactando muito outras indústrias porque elas já são uma indústria. Não é possível afirmar da mesma maneira para a construção civil de hoje, que ainda apresenta uma cultura bastante artesanal.

Com isso, foi possível perceber que são necessárias profundas mudanças organizacionais para introduzir o que se pode chamar de construção 4.0. Além disso,

grandes desafios são claros, por isso, não é praticável posicionar-se de forma alheia a essa tendência global (NAKAMURA, 2019).

3.2 INDUSTRIALIZAÇÃO

3.2.1 Histórico e definição

Com relação à industrialização no Brasil, na década de 80, o setor da construção civil avançou consideravelmente em níveis tecnológicos os processos industrializados. Nesse sentido, pode-se destacar a tecnologia *Drywall* com maior impulso a partir de 1990 para uso de vedações verticais, a qual hoje já possui normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e quantidade relevante de aplicações em edificações (ABDI, 2015). Com o passar dos anos, o surgimento de empreendedores estrangeiros a partir da internacionalização da economia, impulsionaram a industrialização do setor construtivo.

Em paralelo, ainda no século XX no Reino Unido, existiu uma mudança ideológica por parte dos colaboradores da construção civil a partir de um movimento chamado *Re-thinking Construction*. Com isso, houve um incentivo do desenvolvimento de novos métodos modernos de construção, introduzindo o conceito de *Off-site Manufactured* (OSM), ou Construção Fora do Canteiro (EGAN, 1998).

Dessa forma, a industrialização do setor busca transformar as tarefas dos canteiros de obras em demanda para a indústria. Segundo a ABDI (2015, pág.33), a industrialização da construção civil é

[...] o mais elevado estágio de racionalização dos processos construtivos e, independente da origem de seu material, está associada à produção dos componentes em ambiente industrial e, posteriormente, montados nos canteiros de obras, assemelhando-se às montadoras de veículos, possibilitando melhores condições de controle e a adoção de novas tecnologias.

Sob essa ótica, dentre as principais características da industrialização, pode-se destacar a linha de produção, apresentando um maior controle dos processos e da qualidade, assim como garante uma grande redução dos desperdícios. Além disso, a industrialização permite que se tenha um processo evolutivo na elaboração de uma

edificação, desenvolvendo gradativamente o ciclo de execução, o que dificilmente será possível em um sistema convencional, em que cada obra é um protótipo.

3.2.2 Caracterização e possibilidades

Nesse sentido, diante do entendimento de que a industrialização transforma o setor construtivo em uma indústria mais eficiente, é importante aprofundar-se em algumas características, compreendendo de que formas ela pode classificar-se e as grandes possibilidades que são colocadas além da convencional. De acordo com o Manual da Construção ABDI (2015), os sistemas construtivos podem ser divididos em sistema convencional, sistema industrializado e sistema híbrido, o qual utiliza os dois sistemas anteriores de forma simultânea.

Os sistemas convencionais são aqueles mais comuns, que utilizam métodos tradicionais e artesanais, apresentando a necessidade de mão de obra de forma intensiva, exemplificado pela Figura 8. São realizados no canteiro e o prazo de execução deve levar em conta as adversidades provocadas pela imprecisão da mão de obra e pelo tempo de espera de recebimento e armazenamento de materiais. Além disso, a elaboração do projeto, em sua maioria, é realizada de forma independente entre todas as partes colaborativas e com pouca precisão de detalhamento, visto que não é possível padronizar os serviços. Com isso, torna-se um sistema que, em geral, apresenta maior percentual de perdas e um menor controle de execução (ABDI, 2015).

Figura 8: Mão de obra intensiva na construção tradicional



Fonte: Nogueira (2017)

Os sistemas industrializados, todavia, utilizam processos em um ambiente controlado como uma fábrica, fora do canteiro, como se pode ver na Figura 9, fazendo com que ao chegar no local destinado à edificação, exista uma operação praticamente de montagem apenas.

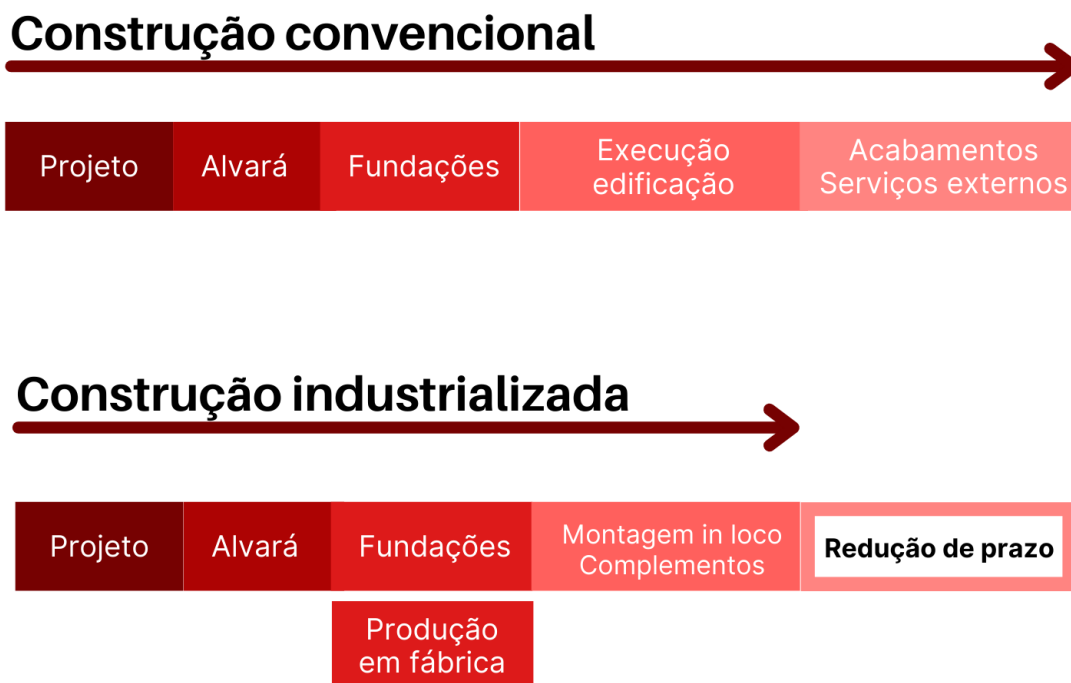
Figura 9: Fase de produção em fábrica



Fonte: Jacks (2018)

Diante disso, tem-se uma menor quantidade de mão de obra *in loco* e um menor prazo de execução, já que existe uma potencialização do paralelismo dos serviços entre fábrica e obra, enquanto estão sendo feitos os serviços preliminares e as fundações no terreno; na fábrica, as partes da edificação estão sendo executadas, como se pode ver na Figura 10.

Figura 10: Comparação entre prazo dos sistemas convencional e industrializado



Fonte: ITIE (2021a, b, c, d, e), adaptado pelo autor

De modo geral, os ganhos com prazos e previsibilidade de conclusão, devido ao maior controle das etapas e suas sobreposições, além da ausência de intempéries como as variações climáticas, são aspectos definitivos. Apesar dos custos iniciais serem um pouco mais significativos comparados à forma convencional, a produção fora do canteiro apresenta maior precisão do custo total da construção e redução significativa de retrabalhos, o que, em sua maioria, torna-se mais viável financeiramente (GIBB; PENDLEBURY, 2006).

Diante disso, o Doutor William Holahan (2016), professor do Departamento de Economia da Universidade de Wisconsin, afirma que

Princípios econômicos nos dizem, que se queremos minimizar o custo de um bem durável, que exigirá manutenção, reparo e substituição ao longo do tempo, temos que minimizar o valor presente destes custos e não minimizar o custo inicial. Se adotar uma estratégia míope, e aceitar menor custo inicial, e maior o valor presente dos custos de manutenção, reparo e substituição ao longo do tempo, os compradores sempre saem perdendo.

Com isso, é compreensível o fato de que, muitas vezes, a viabilidade financeira, ao comparar o sistema convencional e o sistema industrializado, é mascarada pelo custo inicial e, pelo fato do orçamento previsto para executar uma obra no sistema convencional divergir significativamente ao final da obra, sendo a gestão de custos uma grande dificuldade desse tipo de sistema.

Não obstante, em relação à economia, é possível constatar que 60% do tempo de obra pode ser reduzido em uma construção *off-site*, o que equivale a 15% de economia de custos para uma casa de aproximadamente 157 m², levando em conta valores de referência de 2014 (ITIE, 2021e).

3.2.3 Racionalização, Coordenação Modular e *Lean Construction*

O produto da edificação e o processo de execução apresentam dependência recíproca, sendo essencial para sua realização o uso da padronização e organização (ABDI, 2010). Dessa forma, para a industrialização, o processo de padronização torna-se um instrumento primordial. Barbosa e Qualharini (2005) apontam que sem os conceitos da coordenação modular, a introdução simples de componentes pré-fabricados pode gerar uma desordem ao invés de facilitar o processo.

Isso pode ocorrer devido à falta da padronização de medidas, não existência de módulo de referência e detalhamentos. Visto isso, é imprescindível aplicar a coordenação modular, definida pela NBR 15873 (ABNT, 2010), com o intuito de melhorar a padronização através de medidas modulares e aumentar o índice de produtividade do setor, proporcionando precisão milimétrica para o projeto e execução. Essa medida modular define as dimensões e proporções dos elementos, estabelecendo uma relação de dependência entre eles, consequentemente, com a edificação.

Diante disso, é necessário implementar os princípios da racionalização construtiva, considerando a coordenação modular e a padronização dos elementos ou sistemas. Tal racionalização da obra representa a melhor utilização dos recursos existentes, dividindo a construção em etapas e organizando a cadeia de produção. Dessa forma, inclui-se o cálculo de materiais, transportes, projetos, a execução de cada tarefa, as ferramentas, a gestão do canteiro e os sistemas de qualidade (RIBEIRO, 2017).

Ainda, tem-se a necessidade de uma integração maior entre os colaboradores, facilitando no desenvolvimento dos projetos e na compatibilização, o que pode ocorrer através da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) ou Modelagem da Informação da Construção. Essa tecnologia consiste em um novo processo, que não utiliza mais modelos bidimensionais, mas modelos tridimensionais, permitindo antecipação de possíveis problemas, previsibilidade financeira mais assertiva, assim como melhor gestão e planejamento (ABDI, 2015).

Não obstante, encontra-se o conceito de *Design for Manufacturing and Assembly* (DFMA), uma técnica utilizada durante o desenvolvimento de produtos, que tem como objetivo proporcionar a facilidade da manufatura e a redução dos custos. Historicamente, os conceitos dessa metodologia começaram a ser desenvolvidos pelo inventor estadunidense Eli Whitney, na indústria de armas em seu trabalho para o governo. Décadas depois, o engenheiro mecânico Henry Ford desenvolveu um sistema de montagem, em que os veículos eram fabricados a partir de uma linha de produção, com peças padronizadas e projetadas. Com isso, foi possível reduzir os custos de fabricação e atingir altos níveis de confiabilidade e qualidade (BARBOSA, 2007).

Após isso, o *Design for Manufacturing* (DFM) se desenvolveu, primeiro a partir de artigos e livros do ponto de vista da engenharia de produto. Tempo depois, o *Design for Assembly* (DFA) foi sendo desenvolvido e ampliando a metodologia DFM, alcançando os processos automáticos e facilitando a montagem manual dos componentes. Atualmente, a união desses conceitos foi expandida para diversas áreas e indústrias, como é o caso da construção civil (BARBOSA, 2007).

Como objetivo, o DFM busca desenvolver um produto que atenda todos os requisitos funcionais de uma maneira simplificada, reduzindo os custos. O DFA, em contrapartida, tem o intuito de racionalizar a etapa de montagem por meio da redução do número de elementos e facilidade de montagem, entendendo as particularidades das peças como a função, forma, material e montagem, entregando um produto simples e funcional (BARBOSA, 2007).

Com isso, o uso do *Design for Manufacturing and Assembly* traz benefícios ao produto final, tais como: padronização, melhoria da qualidade, confiabilidade e redução de custos de produção.

Nesse mesmo contexto de otimização de processos em busca de uma melhor qualidade do produto final desenvolveu-se o conceito de *Lean Construction*.

Historicamente, originado a partir do Sistema Toyota de Produção, por volta de 1940, utiliza metodologias específicas para transformar em uma produção enxuta, com índices mais altos de produtividade (SOUZA, 2018). Tal filosofia foi introduzida no setor da construção civil por Lauri Koskela em 1991, quando publicou um trabalho com objetivo de adaptar os princípios do Sistema Toyota de Produção para a Construção Civil. Koskela é um dos estudiosos mais citados em gestão de obras com mais de 7800 citações segundo o Google Scholar (KOSKELA, 2022).

Diante disso, o *Lean Construction* apresenta onde princípios norteadores dessa metodologia que servem como guia para essa transformação na forma de executar o andamento de projetos de construção. Ao destacar cinco deles, tem-se que o primeiro está relacionado ao processo como conceito gerador de valor. Isto é, esse princípio demonstra a importância de tornar relevante as necessidades dos clientes internos e externos no projeto e na gestão na edificação ou produto (MOBUSS, 2019).

O segundo princípio afirma que a eficiência dos processos pode ser melhorada e otimizada a partir da eliminação de algumas atividades que estão em excesso. Além disso, o terceiro princípio baseia-se em fazer mais em menos tempo, com o propósito claro de criar um ambiente mais produtivo com menos desperdícios.

Em quarto lugar, tem-se a necessidade de reduzir a variabilidade a partir de padronizações, entendendo que na construção civil os imprevistos são recorrentes. Por fim, o último princípio busca tornar os processos mais transparentes e evitar dificuldades na comunicação, visto que o setor da construção civil apresenta uma descentralização bastante considerável (MOBUSS, 2019).

3.2.4 Níveis de fabricação *off-site* e processos industrializados

Ainda, é possível dividir a construção em 5 níveis de tecnologia de fabricação fora do canteiro, envolvendo tanto os materiais quanto o próprio sistema industrializado, sendo possível ter uma boa referência e comparação das alternativas de mercado. Dessa forma, o nível 0 representa uma construção intensiva que utiliza materiais tradicionais com pouca produção *off-site*, assim como o concreto armado produzido em obra e a construção em alvenaria, sendo o nível mais comum no mercado.

Em seguida tem-se o nível 1, no qual constam os componentes fabricados como as lajes pré-moldadas e a produção das treliças para telhado como mostra a figura 11.

Figura 11: Exemplo de Nível 1 – Treliças de telhados



Fonte: Lake Steel Systems (2018)

No nível 2, representado pela figura 12, encontram-se as estruturas de aço leve (*Light Steel Frame*), de madeira (*Light Wood frame*) e os painéis de isolamento estrutural. Nesse nível, o sistema painelizado, consegue reduzir em média 30% do tempo de obra, tendo como base a construção tradicional (ITIE, 2021f).

Figura 12: Exemplo de Nível 2 – Montagem de painéis de fachada



Fonte: ITIE (2021?)

No nível 3 concentram-se as unidades volumétricas que permitem a união de elementos planares como visto na figura 13 e as quais não apresentam funções estruturais (GIBB, 2003). No outro extremo, tem-se o nível 4, que apresenta os sistemas construtivos completos com o uso das edificações totalmente modulares, concluídas em fábrica, sendo necessário apenas conectá-los ao local e realizar as devidas instalações, representado na figura 14.

Figura 13: Exemplo de Nível 3 – Módulos de banheiros



Fonte: ITIE (2021?)

Figura 14: Exemplo de Nível 4 – Módulos de uma edificação sendo conectados



Fonte: ITIE (2021?)

A partir disso, é possível identificar a partir do quadro 1, em termos de valores, a proporção da fabricação *off-site* de cada nível, assim como a redução de tempo de construção em relação ao nível 0, utilizando trabalhos da Universidade Loughborough da Inglaterra (2003).

Para os edifícios totalmente modulares, aproximadamente 70% da construção é investida na fabricação *off-site*, tendo uma redução de tempo que chega a até 60%. Dessa forma, sendo possível executar duas construções nesse modelo enquanto seria executada apenas uma obra no nível 0 (GIBB, 2003).

Quadro 1: Exemplos de níveis de fabricação *offsite*

Parâmetros	Níveis de fabricação <i>offsite</i>			
	1. Componentes fabricados	2. Elementar ou planar	3. Modular e construção mista	4. Construção completa
Exemplos de construção	Treliças de telhados	Light Steel Frame	Módulos pré-fabricados em uma parte da edificação	Edifícios totalmente modulares
	Lajes pré-moldadas	Light Wood Frame	PODs de banheiros	
		Painéis com isolamento estrutural		
Proporção de fabricação <i>offsite</i> (em termos de valores)	10 - 15%	15 - 25%	30 - 50%	60 - 70%
Redução do tempo de construção em relação ao nível 0	10 - 15%	20 - 30%	30 - 40%	50 - 60%

Fonte: ITIE (2021?), adaptado pelo autor

Além dos claros benefícios da construção fora do canteiro a partir dos números, quando se fala em segurança, o ambiente manufatureiro é seis vezes mais seguro do que o ambiente do canteiro, segundo a Universidade Loughborough (2003). Junto a isso, com a redução do tempo das atividades *in loco*, consequentemente acontece uma diminuição dos impactos ambientais do processo construtivo, além de propiciar menos ruídos, poeira, poluição e perturbações aos ambientes vizinhos.

Nesse mesmo sentido, além da divisão por níveis de fabricação *off-site*, também é possível segmentar os processos industrializados diante da variedade de sistemas e materiais construtivos disponíveis no mercado. A priori, ao tratar-se das tipologias construtivas industrializadas, estas podem dividir-se também em 3, expostas no quadro 2.

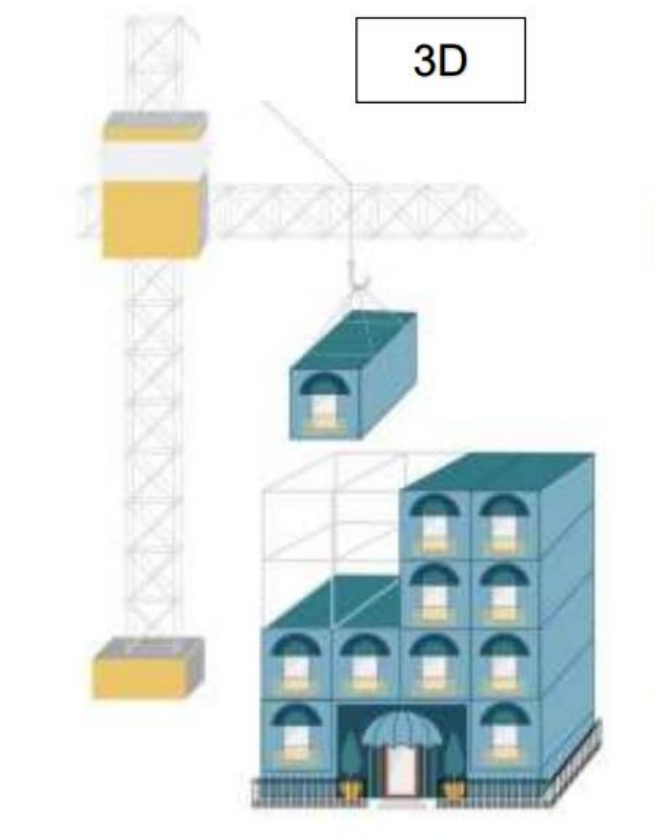
Quadro 2: Tipologias construtivas do sistema modular

Tipologia	Destaques
Volumétrico, modular ou 3D	Grau de finalização maior que os demais
Painelizado ou 2D	Maior flexibilidade de logística e transporte
Híbrido	Alia o melhor de todas as outras tipologias em um único projeto.

Fonte: Savassi (2019), adaptado pelo autor

Nesse sentido, a tipologia mais relacionada à construção *off-site* é a volumétrica, modular ou 3D, com uma perspectiva de crescimento de aproximadamente US\$ 51,9 bilhões até 2025 (REPORTLINKER, 2022). Esse processo construtivo baseia-se em módulos individuais que são pré-fabricados em uma linha de montagem, instalados e conectados no local da obra (LAFAETE, 2022). Sua grande vantagem é o curto prazo de entrega e a linha de montagem padronizada, visto que o módulo fica pronto ainda em fábrica, sendo necessário apenas instalá-lo no local, como está ilustrado na Figura . Dessa forma, esse tipo de construção é ainda mais viável para locais onde existirá uma necessidade ou possibilidade de padronização de módulos, tais como hotéis, escolas e hospitais, bem como locais comerciais em que a relação entre tempo e retorno é presente de forma mais direta (ITIE, 2021e).

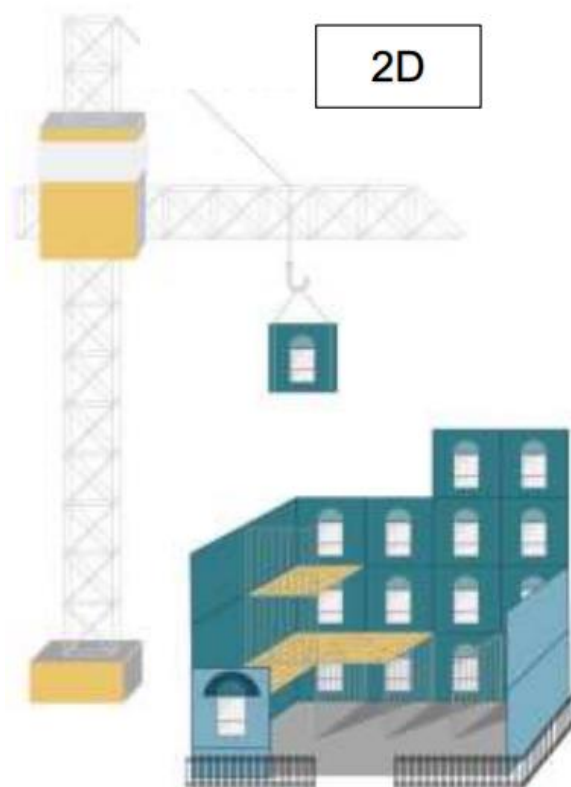
Figura 12: Ilustração de uma construção modular



Fonte: Savassi (2019)

Em sequência, tem-se o sistema painelizado ou 2D, no qual cada elemento da construção é pré-fabricado e estruturado em painéis que serão unidos *in loco*, como visto da Figura . Com isso, a edificação parte desmontada da fábrica, facilitando o transporte e sendo um sistema, hoje em dia, mais utilizado para residências e fachadas de edificações (SAVASSI, 2019).

Figura 13: Ilustração de uma construção painelizada



Fonte: Savassi (2019)

Além disso, existe a possibilidade de utilizar mais de uma tipologia em uma mesma edificação, o qual se pode chamar de sistema híbrido. Esse sistema alia o melhor de todas as outras tipologias em um único projeto. Diante dessas alternativas, ainda existe a possibilidade de utilizar o processo parametrizado alinhado a um desses 3 sistemas, com o objetivo de potencializar a customização do projeto. Para isso, utilizam-se parâmetros, regras e variáveis que podem ser editadas para manipular ou alterar o resultado de algum produto, possibilitando geometrias mais criativas e inovadoras (SAVASSI, 2019).

Diante disso, fica evidente as possibilidades existentes. Essas alternativas potencializam-se a partir da grande variedade de materiais construtivos utilizados no ecossistema industrializado. Assim, é possível dividir em 4 materiais base, em que a partir deles, existem outras derivações, como visto no quadro 03.

Quadro 3: Materiais utilizados na construção industrializada

Material base	Possibilidades construtivas
Madeira	• CLT (Cross Laminated Timber) • MLC (Madeira Lamelada Colada) • LWF (Light Wood Frame) • SIP (Structural Insulated Panel)
Aço	• Aço pesado • LSF (Light Steel Frame) • PODs (sem função estrutural)
Container	• Dry • Reefer
Concreto armado	• Pré-moldado

Fonte: Savassi (2019), adaptado pelo autor

Visto isso, é possível entender que as possibilidades construtivas são bem mais amplas do que normalmente vê-se na construção tradicional que utiliza blocos cerâmicos. Sendo exequível utilizar o aço como matéria-prima, através, principalmente, do *light steel frame*, garantindo uma obra rápida e limpa. Ainda, pode-se utilizar a madeira, seja com o *light wood frame* ou através da madeira engenheirada, utilizando o CLT (*Cross Laminated Timber*), com o cruzamento de lamelas de madeiras, ou o MLC (Madeira Lamelada Colada).

Não obstante, tem-se os materiais que apresentam um preenchimento isotérmico, como é o caso do SIP (*Structural Insulated Panel*), que comumente utiliza um fechamento de OSB e um preenchimento de EPS, tornando-o bastante resistente termicamente.

Assim, com todo esse panorama da construção civil abordado no capítulo, é possível entender como o setor desenvolveu-se durante os passar do tempo e como ele encontra-se atualmente. Foram apresentadas suas maiores dificuldades

ideológicas e práticas, permeando pela baixa produtividade até o alto desperdício. Além disso, suas principais tendências foram colocadas, destacando a industrialização da construção.

A industrialização trouxe novas características para o setor e novas possibilidades. Nesse sentido, o pensamento racionalizado com o uso de novas tecnologias e metodologias torna-se indispensável.

4. SISTEMA PAINELIZADO COM SIP

4.1 SISTEMA PAINELIZADO

4.1.1 Características

A painelização é um processo em que paredes, pisos e seções do telhado são montados externamente em um ambiente controlado, normalmente com a utilização de máquinas e equipamentos para garantir maior velocidade de produção, maior qualidade dos componentes e menor geração de resíduos e mão-de-obra (ITIE, 2021f). Nesse sentido, diante das diversas particularidades desse sistema construtivo, destaca-se a facilidade logística, principalmente ao comparar-se com o sistema modular, pois a edificação é transportada ainda desmontada.

Com isso, torna-se bastante viável e atrativa sua utilização em edificações residenciais e fachadas de edifícios, utilizando um sistema híbrido com módulos, como ilustra a Figura .

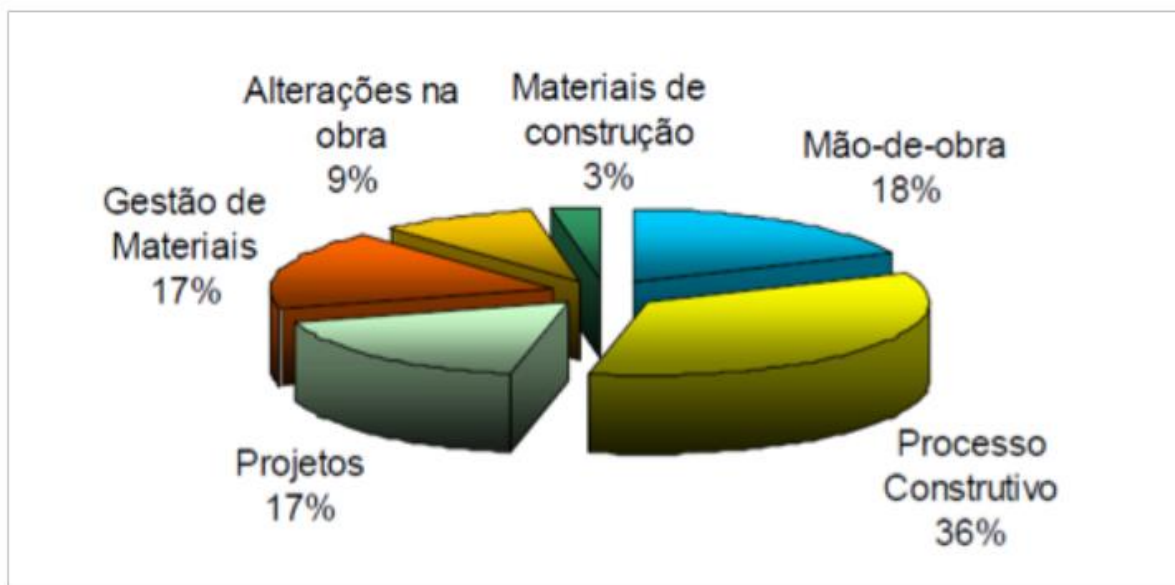
Figura 14: Montagem de um painel de fachada



Fonte: Chidaneh (2020)

Ainda, mostra-se como uma alternativa que tende a gerar benefícios na geração de resíduos, entendendo que o principal fator de desperdício é o próprio processo construtivo atual, como é possível visualizar na Figura , aliado a mão de obra mal qualificada, projetos pouco detalhados e má gestão de material devido à falta de previsibilidade.

Figura 15: Principais causas da geração de resíduos



Fonte: Lima et al, 2007

4.2 SIP

4.2.1 Definição e história

Processo construtivo painelizado que, de acordo com a *Structural Insulated Panel Association* (2021), é um sistema extremamente eficaz de alto desempenho para construção, utilizando painéis que consistem em um núcleo de espuma isolante impressado entre dois revestimentos estruturais, que comumente, são chapas de tábua de madeira orientadas (OSB), vistos na Figura . Embora o núcleo de espuma isolante possa ser composto de vários materiais, o material mais comum é o poliestireno expandido. Outros materiais isolantes incluem XPS e poliuretano.

Figura 16: Pannel SIP utilizando placas de OSB



Fonte: Bulltrade (2019)

Esses painéis são fabricados sob condições controladas de fábrica e se adequam a qualquer projeto. Com isso, tem-se um sistema extremamente resistente, eficiente em termos de energia e de baixo custo, levando em conta seu baixo índice de desperdício. Apesar de utilizar um processo subtrativo de fabricação, ao comparar-se com o sistema convencional, torna-se bastante relevante.

O conceito de painéis estruturais de isolamento (SIPs) começou em 1935 na cidade de Madison, Wisconsin, no Laboratório de Produtos Florestais (FPL). Os engenheiros especularam que o revestimento de compensado poderia levar uma parte da carga estrutural para aplicações de parede externa. Os painéis iniciais foram formados com vários materiais de revestimento, incluindo madeira compensada e alumínio, a partir de um núcleo de papel em forma de favo de mel. Com isso, foram construídas algumas casas para testes que foram monitoradas por mais de 30 anos, continuamente (ITIE, 2021d).

Em seguida, por volta de 1940, o arquiteto Frank Lloyd Wright utilizou esses painéis em algumas de suas casas acessíveis com estilo usoriano. Os SIPs deram um grande avanço tecnológico após um dos alunos de Wright, o arquiteto Alden B. Dow, desenvolver um novo design de painel utilizando um núcleo de isolamento de espuma de poliestireno. Dessa forma, em 1952, as primeiras casas Dow SIP, ao contrário de seus predecessores, foram validadas como fáceis de aquecer no inverno e fácil de refrescar no verão (ITIE, 2021d).

Após a crise de petróleo em 1973, com o aumento dos preços da energia, esse método de construção enraizou-se nos Estados Unidos, Canadá e, em seguida, pela Europa. Logo adiante, no início da década de 1990, o desenvolvimento do padrão Passivhaus, conceito de construção que busca eficiência energética a partir do alcance de alguns requisitos, apoiou ainda mais esse crescimento, com o processo de montagem rápido e simples, tornando os SIPs uma escolha natural (ITIE, 2021).

Hoje, com suas propriedades de economia de energia, os SIPs continuam a fornecer uma solução de alta tecnologia para as edificações. Com isso, principalmente a partir da tecnologia BIM, avanços de design e fabricação desses painéis são facilitados, proporcionando uma economia de mão de obra e material para os construtores (ITIE, 2021d).

4.2.2 Desempenho e possibilidades

Ao analisar o material construtivo SIP tradicionalmente composto por placas de OSB, encontrado facilmente nos Estados Unidos, é possível verificar que já existe uma consolidação técnica normativa referente a esse material. Diante disso, foram produzidos pelos membros da SIPA (*Structural Insulated Panel Association*) em conjunto com o Laboratório de Produtos Florestais do USDA, o Laboratório Nacional de Oak Ridge, os Laboratórios de Pesquisa de Inovação Doméstica e a APA - The Engineered Wood Association, diversos boletins técnicos, encontrados facilmente no próprio site da SIPA (2021), como o boletim técnico de segurança contra incêndio e de durabilidade após exposição à umidade, por exemplo.

No Brasil, em contrapartida, muito pouco ainda é estudado sobre esse material. Consequentemente, não se tem comprovações e validações técnicas claras quanto à utilização do SIP utilizando placas de OSB. Com isso, torna-se necessário apoiar-se tecnicamente na Norma de Desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013), que é o que normalmente acontece. Além disso, tem-se a NBR 16373 (ABNT, 2015) que trata de telhas e painéis termoacústicos, todavia, é muito mais explorado, em sua grande maioria, pelas telhas, representadas pela Figura .

Figura 20: Telha termoacústica com EPS



Fonte: Kingspan (2021)

Dessa forma, esse material construtivo pode também ser chamado de conceito construtivo, devido à sua flexibilidade de composição. Como exemplo tem-se os painéis SIP+MGO, representados na Figura , compostos por placas de óxido de magnésio e cloreto de magnésio. São placas leves, fáceis de manusear e instalar, e possuem alta resistência mecânica e contra umidade, além de ser um material à prova de fogo, naturalmente. Além disso, quando se trata de desempenho, as placas de MGO são sustentáveis, pois são fabricadas a partir de minerais naturais, compostas por fibras de vidros, sem conter substâncias nocivas. Outrossim, se mostram altamente resistentes fisicamente e termicamente, suportando até 2000°C de calor sem produzir fumaça tóxica (DKT FAST, 2019).

Ainda, devido à sua pré-fabricação, cada painel já pode incluir cavidades para passagem de instalações previstas em projeto, tornando esse processo muito mais limpo e rápido (ARCHDAILY, 2021). Além disso, os painéis são fabricados sob condições controladas usando *softwares* de otimização e avançada tecnologia de automatização, eles têm a capacidade de reduzir drasticamente os resíduos gerados durante a construção.

Figura 21: Imagens de uma obra utilizando painéis SIP+MGO



Fonte: DKT Fast (2019)

Os painéis, de maneira geral, não liberam compostos orgânicos voláteis. São 15 vezes mais herméticos do que os painéis de madeira. Portanto, a energia usada para aquecer e resfriar uma casa fica dentro da envoltória, 55% menor em comparação ao *light wood* e *steel framing* que perdem grandes quantidades de ar aquecido e resfriado e, portanto, requerem recursos de energia adicionais.

Em média, até 40% do calor de uma casa pode ser perdido devido ao vazamento de ar. Projetos que integram SIPs em paredes, pisos e telhados introduzem um grau de uniformidade em todas as interfaces do edifício, o que significa menos vazamento de ar e maior consistência em toda a construção.

É nesse sentido que se introduz o conceito de casa passiva, originalmente descoberto na década de 1990 (ITIE, 2021d). Tal conceito, exemplificado por uma residência em Seattle, apresentado na figura 22, é um padrão de construção que é verdadeiramente eficiente em termos energéticos, conforto térmico e sustentabilidade. Diante disso, as grandes economias de energia nas edificações passivas são alcançadas a partir, principalmente, da utilização de componentes construtivos mais eficientes em termos energéticos (PHI, 2021). Além disso, também é imprescindível trabalhar com a ventilação e iluminação natural, incluindo nas estratégias passivas elementos compositivos pontuais como vegetação interna, espelhos d'água, entre outros (GHISLENI, 2021).

Hoje em dia, torna-se ainda mais relevante, arquitetonicamente, entender o contexto que se está inserido, atribuindo grande parcela de responsabilidade do

conforto térmico para os projetos de arquitetura, utilizando estratégias para a climatização natural (GHISLENI, 2021).

Figura 22: Construção passiva em Seattle



Fonte: ITIE (2021?)

Sob essa mesma ótica, as construções com SIP, diferentemente de sistemas como *light steel frame* e *light wood frame*, os quais utilizam de 7 a 12 produtos distintos para compor os conjuntos de parede, telhado e piso, resolvem uma envoltória da edificação em 3 etapas. Com esse menor esforço, torna-se um processo bem mais simplificado e rápido, como representa a figura 23. Além disso, é potencializado por apresentar-se como um sistema de fácil montagem, como detalhado no anexo B.

Figura 23: Montagem *in loco* dos painéis SIP



Fonte: Bulltrade (2019)

Para o material de fechamento, têm-se comumente no mercado as placas cimentícias e as de OSB, mais utilizadas para esse sistema representa a Figura . OSB é um tipo de madeira recomposta, formado por camadas cruzadas de tiras de madeiras retangulares e finas que são coladas com resina sintética, sendo um material composto de 95% de madeira.

Esse material apresenta uma alta capacidade de suporte de carga, por isso é amplamente utilizado na construção civil. Além disso, isso é potencializado pelo fato de que cerca de 90% de uma tora de madeira pode ser utilizada para fazer painéis estruturais de alta qualidade, enquanto o restante pode ser convertido em energia ou aparas de celulose. Dessa forma, é possível fabricar o OSB a partir de madeiras de rápido crescimento e menos caras, representando um uso eficiente da matéria-prima.

Figura 24: Chapas de OSB



Fonte: Leroy Merlin (2021)

Como material isolante tem-se algumas opções como o EPS, PIR e o PUR. A espuma de EPS é um tipo de isolamento de célula fechada, que é produzido com vapor para expandir os grânulos do polímero poliestireno. Hoje, é um dos tipos de isolamento mais versáteis disponíveis no mercado. Como vantagens tem-se sua leveza, já que é composto em sua maioria por ar. Além disso, o EPS apresenta um alto desempenho de isolamento que mantém um nível constante de resistência térmica (ITIE, 2021d).

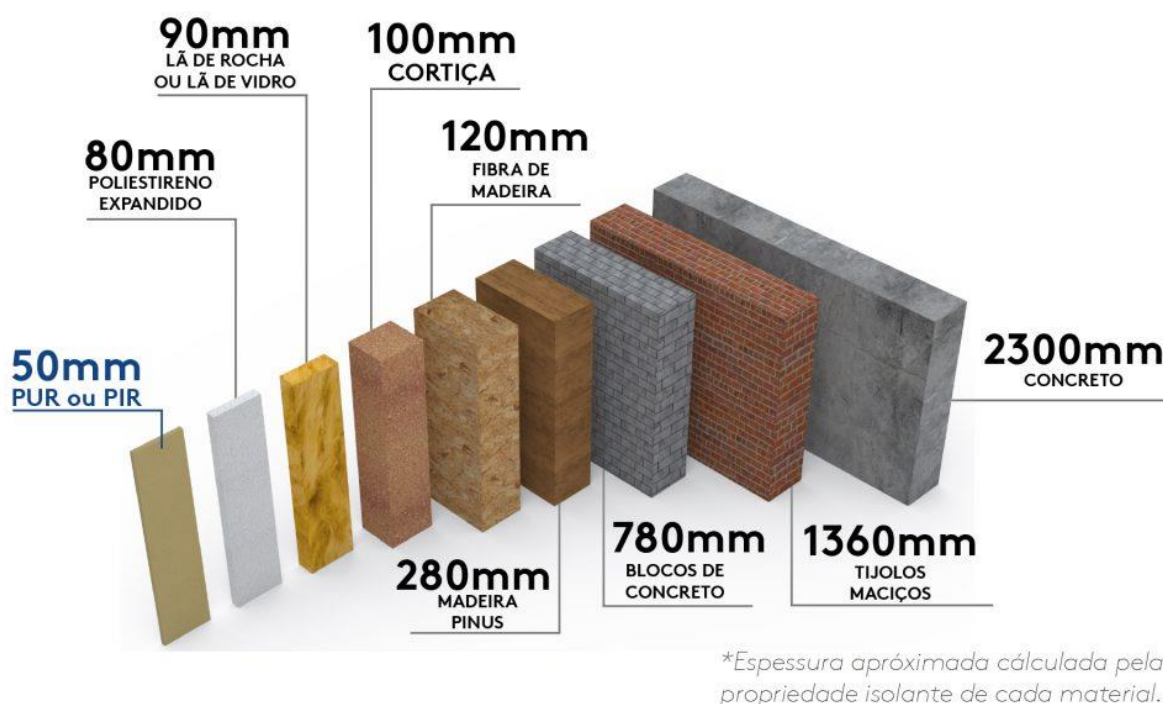
E isso mostra-se de maneira bastante positiva, principalmente para regiões em que apresentam um clima frio, sendo útil para aquecer a região interna, e para as

regiões com clima mais quente, como é o caso do Brasil, sendo útil para resfriar o ambiente interno das residências, já que a troca de calor será resistida.

Ainda, tem-se o PIR (poliisocianurato) e o PUR (poliuretano), dois tipos de plásticos termofixos. Ambos apresentam um rendimento térmico um pouco mais elevado que o EPS e parecidos entre si. A Kingspan Isoeste (2019), empresa que produz diversos tipos de materiais, mas que trabalha diretamente com materiais isolantes térmicos, realizou um estudo comparativo, analisando a espessura equivalente aproximada, calculada a partir da propriedade térmica de cada material.

Diante disso, é possível perceber através da Figura, a grande diferença que existe na propriedade térmica do PIR ou PUR quando comparado com o concreto, demonstrando que esse tipo de material apresenta um potencial imenso no mercado de construção, trazendo benefícios claros.

Figura25: Comparativo da propriedade térmica dos materiais a partir da espessura



Fonte: Kingspan Isoeste (2019)

Ao relacionar esse tipo de material construtivo à versatilidade estética, como os painéis estruturais de isolamento são normalmente componentes de construção ocultos, seu valor estético é frequentemente considerado secundário em relação a seus imensos fatores de desempenho. Entretanto, uma das grandes vantagens dos SIPs é que eles são fabricados de acordo com as especificações. Dessa forma, podem

ser projetados para se adequar a quase todos os projetos de construção, como visto na Figura . Com sua extrema leveza e praticidade, suas possibilidades de personalização tornam-se ilimitadas.

Figura 17: Exemplo da versatilidade e uso estético do SIP



Fonte: ITIE (2021?)

Em relação à estrutura, o SIP é mais resistente do que as estruturas de madeira tradicionais do *light wood frame*, portanto, a maioria das edificações com SIP não requer o uso de um sistema de treliça. Diante disso, esse sistema apresenta diversas vantagens, como a flexibilidade de design, possibilitando desenhos não lineares, como é possível ver na Figura .

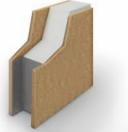
Figura 18: Exemplo de cobertura com ausência de treliças de uma escola do Reino Unido



Fonte: *Three Rivers Academy* (2021)

Diante de tudo isso, é possível resumir em um comparativo qualitativo, como é visto na figura, algumas das principais diferenças entre o sistema convencional, que utiliza blocos cerâmicos como principal material, e o sistema industrializado que utiliza o SIP. Dessa forma, visualizando melhor os benefícios apresentados pelo sistema industrializado utilizando os painéis isolados estruturais.

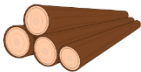
Figura 19: Comparativo qualitativo entre construção em alvenaria e em SIP

ALVENARIA	SIP
	
CUSTO ELEVADO	ECONOMIA
Gastos não previstos, perda de matéria-prima devido aos retrabalhos e falta de padronização.	Quantifica e custeia apenas o material e mão de obra a serem utilizados. Gastos mínimos com imprevistos.
MAIOR TEMPO	MENOR TEMPO
Desperdício de tempo por serem necessárias diversas etapas em dias diferentes, respeitando o tempo de cura de cada material. Além de não ter garantia com a mão de obra.	Estrutura pré-moldadas conforme o projeto em específico, com uma equipe especializada pela montagem, diminuindo o tempo em até 30%.
AGRESSIVO AO MEIO AMBIENTE	BAIXO IMPACTO AMBIENTAL
Acúmulo de resíduos de obras que prejudicam o meio ambiente. Muitas vezes descartados indevidamente. Gastos com caçambas.	Aproveitamento de aproximadamente 100% de material, tornando uma obra limpa, com poucos resíduos e sem gastos com entulhos e lixo.
POUCA CONFIABILIDADE	PADRONIZAÇÃO DA QUALIDADE
Com a mão de obra bastante artesanal, o produto final não apresenta uma padronização de qualidade.	Com a fabricação em ambiente controlado é possível manter um padrão de qualidade para o produto final.

Fonte: Autor (2022)

Ainda, ao comparar-se o sistema painelizado SIP com o *Wood Frame*, percebe-se algumas convergências já que a utilização da madeira é o mais comum no mercado do *Structural Insulated Panel*. Em destaque para o custo e sustentabilidade, em que o sistema *Wood Frame*, em sua maioria, oferece vantagens executivas, como é possível verificar no comparativo qualitativo na figura 29.

Figura 20: Comparativo qualitativo entre construção em *Wood Frame* e em SIP

WOOD FRAME	SIP
	
CUSTO	
Os dois sistemas apresentam orçamentos muito mais assertivos, com menos imprevistos ao comparar-se com a alvenaria. Entre eles, o Wood Frame torna-se economicamente mais barato devido o seu caráter menos industrializado, o que eleva o custo do SIP.	
TEMPO	
Os dois sistemas apresentam um tempo reduzido quando comparados à alvenaria. Entretanto, a execução em Wood Frame apresenta um tempo maior do que em SIP já que grande parte dela é realizada em canteiro.	
AGRESSIVO AO MEIO AMBIENTE	
Com a obra em SIP, o aproveitamento é quase que 100% dos materiais, tornando uma obra limpa, com poucos resíduos e sem gastos com entulhos e lixo. Ao utilizar o Wood Frame, mesmo que contra intuitivo, é um dos sistemas mais sustentáveis, visto que se utiliza de áreas plantadas para este fim, tornando um recurso 100% renovável.	
POUCA CONFIABILIDADE	
Como o sistema Wood Frame apresenta certo caráter artesanal comparado ao SIP, consequentemente o produto final não apresenta uma padronização no mesmo nível de qualidade de uma obra em SIP.	

Fonte: Autor (2022)

4.2.3 Panorama do mercado

Com o mercado cada vez mais exigente e competitivo, para inserir um novo produto não basta que este seja eficiente e com alto custo-benefício. É comum que o público-alvo não sinta segurança, diante dos concorrentes estabelecidos no mercado. Dessa mesma forma, o mercado da construção civil comporta-se com suas inovações e, como fator fundamental, encontra-se o incentivo do governo que ainda é bastante precário. Além disso, a difusão de conhecimento sobre essas inovações e seus benefícios técnicos tornam-se imprescindíveis para transformar a cultura que está enraizada.

Nesse sentido, o mercado ainda está no início do seu desenvolvimento no sentido da industrialização, com um grande potencial de novos empreendedores para o mercado. Apesar disso, já se tem diversas empresas focadas na construção *off-site* pelo Brasil, normalmente concentradas no Sul e Sudeste, como é possível visualizar

nos apêndices A, B, C, D e E, os quais mostram um levantamento das empresas, sua localização e os métodos construtivos que trabalham.

Com isso, é perceptível que o SIP ainda não é tão bem difundido aqui no Brasil, apesar de já existir algumas obras com sua utilização (anexo A), sendo um dos sistemas menos utilizados em comparação a outros como o *steel frame* ou CLT, encontrado em poucos locais do Brasil, como representa o quadro 4.

Quadro 4: Empresas brasileiras que trabalham com SIP

EMPRESA	ESTADO	CIDADE	SISTEMA CONSTRUTIVO
Green Lar	Paraná	Curitiba	SIP
Módulo Sequência	São Paulo	São Paulo	SIP
Bulltrade	Rio Grande do Sul	Novo Hamburgo	SIP
Casa Rápida	Paraná	Curitiba	SIP
DKT Fast	São Paulo	São Paulo	SIP
Construção Americana	São Paulo	São Paulo	SIP

Fonte: Autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do levantamento bibliográfico, compreendeu-se os principais conceitos relacionados ao sistema industrializado de construção, em especial, as características tecnológicas da construção fora do canteiro que norteiam todo o processo fabril. Além disso, foi possível identificar em qual nível de industrialização estão inseridas as construções convencionais executadas no Brasil - nível 0 e 1, com baixos índices de industrialização.

Foi possível verificar a grande resistência que o setor apresenta, seguido da descentralização notória, formando uma rede complexa e difícil de evoluir. Com isso, persiste a falta de confiabilidade, desperdício de materiais e baixa produtividade nas construções, apresentando dados alarmantes como o duplo *gap* da produtividade. Dessa forma, demonstrou-se as vantagens da industrialização da construção nos âmbitos da sustentabilidade, qualidade do produto final, viabilidade econômica e produtividade.

Em contrapartida, foi possível compreender as diversas possibilidades de sistemas construtivos disponíveis no mercado e suas particularidades, tais como: construção modular, construção painelizada, construção parametrizada ou híbrida. Também, as alternativas de materiais, desde a madeira, com o SIP e *Light Wood Frame*, até o aço, com o *Light Steel Frame*.

Não obstante, ao abordar o sistema painelizado de maneira mais profunda, ficou evidente seus benefícios e sua maior viabilidade diante de um cenário conservador que ainda opta pela construção convencional. Isso já que a logística de transporte mais a construção 2D é mais viável do que a construção 3D, que já sair de fábrica com o módulo montado para apenas conectá-lo *in loco*. Sendo assim, é possível atingir melhores níveis de produtividade e previsibilidade.

Com relação ao custo, o valor inicial torna-se mais elevado, principalmente devido às tributações que existem. Além disso, é difícil comparar o sistema industrializado com o sistema convencional em termos de custos, pois a análise de investimento não se dá da mesma maneira, estabelecendo prazos distintos e formas diferentes de projetar e executar.

Portanto, é possível entender os desafios do mercado através dos benefícios no uso de sistemas industrializados e da padronização de componentes, como também, no uso de materiais mais inovadores, leves e resistentes. Além disso, torna-

se imprescindível, o estímulo da fabricação *off-site* através, primeiramente, do conhecimento, com objetivo de mudar a cultura que a atual indústria da construção civil se encontra. Para que assim, os métodos construtivos modernos passem a ser, pelo menos, uma possibilidade.

REFERÊNCIAS

ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial). **Manual da Construção ABDI.**, pág.33-43, 2015.

ABDI. **Relatório de Avaliação dos Esforços para Implantação da Coordenação Modular no Brasil**, 2010. Disponível em: <www.abdi.com.br/Estudo/Rel.%20Implant.%20da%20Coord.%20Modular%20no%20Brasil_21.pdf>. Acesso em 05 de fev. de 2022.

ABRAINCC. **ABRAINCC Explica: A importância da Construção Civil para impulsionar a economia brasileira**, 2021. Disponível em: <<https://www.abraincc.org.br/abraincc-explica/2021/06/28/abraincc-explica-a-importancia-da-construcao-civil-para-impulsionar-a-economia-brasileira/#:~:text=7%25%20do%20PIB%20Nacional%20%C3%A9,nacional%20s%C3%A3o%20movimentadas%20pelo%20setor>>. Acesso em: 20 de dez. de 2021.

AEVO. **Inovação disruptiva e incremental: qual a diferença?**, 2020. Disponível em: <<https://blog.aevo.com.br/inovacao-disruptiva-e-incremental/>>. Acesso em: 15 de jan. de 2022.

ARCHDAILY. **Arquitetura com painéis SIP: casas pré-fabricadas de construção rápida e alto desempenho.**, 2021. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/965688/arquitetura-com-paineis-sip-casas-pre-fabricadas-de-construcao-rapida-e-alto-desempenho>>. Acesso em: 15 de set. de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Desempenho das Edificações**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873: Coordenação Modular para Edificações**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16373: Telhas e painéis termoacústicos – Requisitos de desempenho**. Rio de Janeiro, 2015.

BARBOSA, G. **Aplicação da metodologia DFMA - Design for manufacturing and Assembly no projeto e fabricação de aeronaves**. São Carlos, 2007.

BARBOSA, L; QUALHARINI, E. **A Influência da coordenação modular na produção de construções dotadas de processos de automação**. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 5., 2005, Florianópolis.

BOUCK, W. **Mapping the Information Economy: A Tale of Five Industries**, 2014. Disponível em: <<https://blog.box.com/mapping-the-information-economy-a-tale-of-five-industries>>. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

CASTELO, A. “Uma retomada do crescimento sustentável passa pelo aumento da produtividade”, aponta Ana Maria Castelo. [Entrevista concedida a] Mapa da Obra.

Mapa da Obra, [S.l.], 22 jul. 2019. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/desafio-productividade/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção). **Oito pontos sobre o crescimento da construção civil e seu impacto no PIB.**, 2020. Disponível em: https://cbic.org.br/en_US/oito-pontos-sobre-o-crescimento-da-construcao-civil-e-seu-impacto-no-pib/. Acesso em: 15 de jan. de 2022.

COLOMBO, C.; BAZZO, W. **Desperdício na construção civil e a questão habitacional**: um enfoque CTS. Roteiro (Joaçaba), Joaçaba - SC, v. XXVI, n.46, p.135-154, 2001.

DKT FAST, 2019. Disponível em: <https://dktfast.com.br/>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

EGAN, J. **Re-Thinking Construction: Report of the Construction Industry Task Force**. London: DETR, 1998.

EL DEBS, M. **Concreto pré-moldado**: fundamentos e aplicações. São Carlos: EESC-USP, p. 17, 2000.

GHISLENI, M. **Estratégias passivas de conforto térmico aplicadas em projetos residenciais**. Archdaily, 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/957595/estrategias-passivas-de-conforto-termico-aplicadas-em-projetos-residenciais>. Acesso em: 03 de jan. de 2022.

GIBB, A. G. F.; ISACK, F. **Re-engineering through pre-assembly: cliente expectations and drivers**. *Building Research and Information*. Loughborough: Taylor and Francis, v.31, n.2, p.146-160, 2003.

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

GROHMANN, M. **Redução do desperdício na construção civil**: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de Santa Maria. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1998, Rio de Janeiro. Anais Rio de Janeiro: Abepro, 1998.

HOLAHAN, W. **Fundamentals of Life Cycle Cost Analysis: A Tool for Better Pavement Investment and Engineering decisions**. Wisconsin, 2016.

ITIE. **Métodos Modernos de Construção: Light Steel Framing**. São Paulo. 09 de nov. de 2021. 95 slides, color. Material apresentado no curso online de Métodos Modernos de Construção. Acesso em: 09 de nov. de 2021a.

ITIE. **Métodos Modernos de Construção: Light Wood Framing**. São Paulo. 09 de nov. de 2021. 162 slides, color. Material apresentado no curso online de Métodos Modernos de Construção. Acesso em: 11 de nov. de 2021b.

ITIE. **Métodos Modernos de Construção: Cross Laminated Timber e MLC.** São Paulo. 09 de nov. de 2021. 80 slides, color. Material apresentado no curso online de Métodos Modernos de Construção. Acesso em: 18 de nov. de 2021c.

ITIE. **Métodos Modernos de Construção: Structural Insulated Panel.** São Paulo. 09 de nov. de 2021. 54 slides, color. Material apresentado no curso online de Métodos Modernos de Construção. Acesso em: 16 de nov. de 2021d.

ITIE. **Métodos Modernos de Construção: Construção modular.** São Paulo. 09 de nov. de 2021. 38 slides, color. Material apresentado no curso online de Métodos Modernos de Construção. Acesso em: 02 de dez. de 2021e.

ITIE. **Métodos Modernos de Construção: Paineirização.** São Paulo. 09 de nov. de 2021. 42 slides, color. Material apresentado no curso online de Métodos Modernos de Construção. Acesso em: 30 de nov. de 2021f.

KINGSPAN ISOESTE. **Conheça e compare: Parede Kingspan Isoeste x Alvenaria e Parede de Concreto**, 2021. Disponível em: <<https://kingspan-isoeste.com.br/vantagens-parede-kingspan/>>. Acesso em: 03 de mar. de 2022.

KOSKELA, L. **Home**, 2022. Disponível em: <<https://laurikoskela.com/>>. Acesso em: 03 de mar. de 2022.

LAFATE LOCAÇÃO. Construção modular., [s.d]. Disponível em: <www.lafatelocacao.com.br/artigos/construcao-modular/>. Acesso em: 06 de jan. de 2022.

LIMA, S. R. A. *et al.* **A influência da comunicação interna na produtividade.** Revista Inova Ação, Teresina, v. 1, n. 2, p. 18-29, jul./dez. 2012.

MCMILLAN, M.; RODRIK, D. **Globalizations, Structural Change, and Productivity Growth**, 2011. NBER Working Paper 17143, National Bureau of Economic Research.

MOBUSS. **Desperdícios na Construção Civil e seus Impactos.**, 2018. Disponível em: <<https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/desperdicios-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

MOBUSS. **5 princípios para implementar o Lean Construction e otimizar processos da obra**, 2019. Disponível em: <<https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/lean-construction-principios/>>. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

NAKAMURA, J. Construção 4.0: como esse conceito vai revolucionar o setor. **Blog Sienge Plataforma**. [S.l], 11 jan. 2019. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/construcao-4-0/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

PASSIVE HOUSE INSTITUTE, 2020. Disponível em: https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house>. Acesso em: 03 de jan. de 2022.

PERRIER *et al.* **Industry 4.0 in construction site logistics: a comparative analyses of research na practice**. The journal of Modern Project managment, v. 7, n. 4, 2020.

QUINDERÉ, A. 6 problemas que afetam a produtividade da construção civil. **Blog Sienge Plataforma**. [S.l], 18 jan. 2022. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/6-problemas-que-afetam-a-produtividade-da-construcao/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

RIBEIRO, L. **Racionalização do Canteiro de Obras**. Tecplaner, 2017. Disponível em: <<https://tecplaner.com.br/racionalizacao-do-canteiro-de-obras/>>. Acesso em: 20 de dez. de 2021.

SAVASSI, F. **A fórmula da arquitetura modular**. Curso online. 2021.

SIPA. **O que são SIPs**. 2021. Disponível em: <<https://www.sips.org/what-are-sips>>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

SNEADER, K. **O novo normal chegou: tendências que definirão 2021 – e o futuro**. Mckinsey 2021. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/featured-insights/leadership/the-next-normal-arrives-trends-that-will-define-2021-and-beyond/pt-br>>. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

SOUZA, P. **Descubra as vantagens e desafios da implantação o lean construction**. Voitto 2020. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/desafios-e-vantagens-do-lean-construction>>. Acesso em: 10 de jan. de 2022.

TERRACOTTA VENTURES. **Report Construção Modular Offsite**, 2020. Disponível em: <<https://www.terracotta.ventures/report-construcao-modular>>. Acesso em: 14 de set. de 2021.

APÊNDICE A – Lista de executores de *steel frame* no Brasil

EMPRESA	ESTADO	CIDADE	SITE
TAEC MÓDULOS	SÃO PAULO	PIRAJUI	www.taecmodulos.com.br
MODULARIS	SÃO PAULO	ITUPEVA	http://modularis.com.br/
LAFEAETE	MINAS GERAIS	BELO HORIZONTE	https://www.lafaetelocacao.com.br/
BRASIL AO CUBO	SANTA CATARINA	TUBARÃO	https://www.brasilaoocubo.com/
ZEN HOUSE	RIO GRANDE DO SUL	SANTA ROSA	http://zenhousebr.com/
MODULARE	PARANÁ	CURITIBA	https://modulare.eng.br/
RENTCON	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://www.rentconlocacoes.com.br/
PIRAJU CONTAINERS	PERNAMBUCO	RECIFE	http://piraju-pe.com.br/
MODULAR			http://modular.com.br/
EUROBRAS	SÃO PAULO	SANTO ANDRÉ	https://www.eurobras.com.br/
TECNOFAST	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://tecnofastbrasil.com.br/
NHJ	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://www.nhjdobrasil.com.br/
COLMEIA	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://www.grupocolmeia.com.br/
CME	MINAS GERAIS	BELO HORIZONTE	https://www.cme.com.br/
MODULAR BRASIL	MINAS GERAIS	BELO HORIZONTE	https://www.modularbrasil.com.br/
MONDIAL MODULARES	RIO GRANDE DO NORTE	SÃO JOSÉ DE MIPIBU	http://mondialmodulares.com.br/
METAINER	RIO GRANDE DO SUL	PAROBÉ	https://www.metainer.com/
DELTA	PARANÁ	CURITIBA	https://deltacontainers.com.br/
BUNKER METAL	PARANÁ	SARANDI	http://bunkermetal.com.br/
PELICAN	CEARÁ	FORTALEZA	https://www.pelicancontainer.com.br/
MINHA CASA BOX	SÃO PAULO	BARUERI	https://www.minhacasabox.com/
OPUS MODULARES	MINAS GERAIS	NOVA LIMA	https://opuscm.com.br/
VISIA	RIO GRANDE DO SUL	IVOTI	http://www.visia.eng.br/
SISCOBRAS	BAHIA	POJUCA	
CONTER HOUSE	PARANÁ	CURITIBA	http://conterhouse.com.br/
INP	SÃO PAULO	JACAREÍ	http://inperfis.com.br/
DANGUI CONSTRUÇÕES	SANTA CATARINA	SÃO JOSÉ	
INTERSUL TERMINAIS	RIO GRANDE DO SUL	RIO GRANDE	www.intersulterminais.com.br
GREEN LAR	PARANÁ	CURITIBA	https://www.greenlar.com.br
ESPAÇO SMART	PARANÁ	PONTA GROSSA	https://espacosmart.com.br
MODULO SEQUENCIA	SÃO PAULO	SÃO PAULO	https://modulosequencia.com
MELBOURNE MODULAR	RIO GRANDE DO SUL		https://www.instagram.com/melbournemodular/?hl=pt-br
ALLMAS	RIO DE JANEIRO	VOLTA REDONDA	http://www.allmas.com.br
CMC MÓDULOS	SÃO PAULO	MIRASSOL	https://cmcmódulos.com.br
URBAN	RIO GRANDE DO SUL	FLORES DE CUNHA	
TECNOFRAME	SÃO PAULO E ESPÍRITO SANTO	ARUJÁ, VITÓRIA	https://tecnoframe.com.br
FASTCON	MINAS GERAIS	BETIM	http://fastcon.com.br
NTC CONSTRUÇÕES	SÃO PAULO	SUMARÉ	http://www.ntconstrucoes.com.br/index.html
FRAME BRASIL	SÃO PAULO	MOGI GUAÇU	http://framebrasil.com.br
SYS HAUS	SÃO PAULO	HIGIENÓPOLIS	https://www.sys.haus
MUNDO STEEL	SANTA CATARINA	TUBARÃO, BLUMENAU, FLORIANÓPOLIS, IÇARA	https://www.mundosteel.com.br/conheca-a-mundo-steel/
BARBIERI	PARANÁ	ALMIRANTE TAMANDARÉ	https://barbieridobrasil.com.br/index.php
CENTER STEEL	RIO GRANDE DO SUL	PORTO ALEGRE	https://centersteel.com.br
SMART SISTEMAS CONSTRUTIVOS	PARANÁ	PONTA GROSSA	https://www.smartsistemasconstrutivos.com.br
DIPROTEC	PARANÁ E SANTA CATARINA	CURITIBA, LONDRINA, FLORIANÓPOLIS E BALNEÁRIO CAMBORIÚ	https://www.diprotec.com.br
MALTH	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	https://www.malth.com.br
GYP STEEL	RIO DE JANEIRO	SAQUAREMA	http://www.gypsteel.com.br
FLASAN	MINAS GERAIS	OLIVEIRA	http://www.flasan.com.br/site/
ONE BRASIL	RIO GRANDE DO SUL	CANOAS	https://onebrasil.biz/setor
IMECON	RIO GRANDE DO SUL	NOVA HAMBURGO	http://www.imecon.com.br/html/index.html
METALLINE	SÃO PAULO	SÃO CARLOS	https://www.metalline.com.br
NHJ DO BRASIL	RIO DE JANEIRO, SÃO PAULO, CEARÁ, BRASÍLIA	RIO DE JANEIRO, MAUÁ, FORTALEZA, VALPARAÍSO	https://www.nhjdobrasil.com.br
CALFIN STEEL	RIO GRANDE DO SUL		https://www.instagram.com/calfinsteel/
POLIBOX	SANTA CATARINA	GUARAMIRIM	https://www.polibox.ind.br/

APÊNDICE B – Lista de executores de *wood frame* no Brasil

EMPRESA	ESTADO	CIDADE	SITE
TECVERDE	PARANÁ	CURITIBA	https://www.tecverde.com.br/
MODUULAR			http://moduular.com.br/
PISOSSUL	PARANÁ	IGUAÇU	https://www.pisossul.com.br
STAMADE	SÃO PAULO	SÃO CARLOS	https://stamade.com.br
ECOS HAUS	PARANÁ	CURITIBA	http://ecoshaus.com.br/woodframe/
BOLSONI CONSTRUTORA	SANTA CATARINA	FLORIANÓPOLIS	https://bolsoniconstrutora.com.br
GREEN LAR	PARANÁ	CURITIBA	https://www.greenlar.com.br
COMETA	RIO GRANDE DO SUL	CAXIAS DO SUL	http://www.usemadeira.com.br/Home
CASAS KURTEN	PARANÁ	CURITIBA	https://www.casaskurten.com.br
FRAME TECH	PARANÁ, SANTA CATARINA, RIO GRANDE DO SUL, SÃO PAULO, RIO DE JANEIRO, ESPÍRITO SANTO		https://frametech.com.br
MUNDO STEEL	SANTA CATARINA	TUBARÃO, BLUMENAU, FLORIANÓPOLIS, IÇARA	https://www.mundosteel.com.br/conheca-a-mundo-steel/
SCALI	SÃO PAULO	ITATIBA	https://www.scali.com.br/casas-demadeira-arquitetura-sustentavel/
GLOBAL WOOD	PARANÁ	SÃO JOSÉ DOS PINHAIS	

APÊNDICE C – Lista de executores de CLT e MLC no Brasil

EMPRESA	ESTADO	CIDADE	SITE
AMATA	SÃO PAULO	SÃO PAULO	https://amatabrasil.com.br
CROSSLAM	SÃO PAULO	SUZANO	https://www.crosslam.com.br/site/
REWOOD	SÃO PAULO	TABOÃO DA SERRA	https://rewood.com.br
CALIL MADEIRAS	SÃO PAULO	CAMPINAS	http://www.madeiralamnadacolada.com/index.php
ITA CONSTRUTORA	SÃO PAULO	VARGEM GRANDE PAULISTA	https://www.itaconstrutora.com.br
PISOSSUL	PARANÁ	IGUAÇU	https://www.pisossul.com.br
ARTPINE	SÃO PAULO	SÃO CARLOS	http://www.artpine.com.br
STAMADE	SÃO PAULO	SÃO CARLOS	https://stamade.com.br

APÊNDICE D – Lista de executores de SIP no Brasil

EMPRESA	ESTADO	CIDADE	SITE
GREEN LAR	PARANÁ	CURITIBA	https://www.greenlar.com.br
MODULO SEQUENCIA	SÃO PAULO	SÃO PAULO	https://modulosequencia.com
BULLTRADE	RIO GRANDE DO SUL	NOVA HAMBURGO	https://www.bulltrade.com.br
DKT FAST	São Paulo	São Paulo	https://dktfast.com.br/
CASA RÁPIDA	Paraná	Curitiba	https://construtoracasarapida.com.br/
CONSTRUÇÃO AMERICANA	São Paulo	São Paulo	https://www.construcaoamericana.com.br/

APÊNDICE E – Lista de executores de Contêiner no Brasil

EMPRESA	ESTADO	CIDADE	SITE
RENTCON	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://www.rentconlocacoes.com.br/
PIRAJU CONTAINERS	PERNAMBUCO	RECIFE	http://piraju-pe.com.br/
MODUULAR			http://moduular.com.br/
EUROBRAS	SÃO PAULO	SANTO ANDRÉ	https://www.eurobras.com.br/
TECNOFAST	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://tecnofastbrasil.com.br/
NHJ	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://www.nhjdobrasil.com.br/
COLMEIA	RIO DE JANEIRO	RIO DE JANEIRO	http://www.grupocolmeia.com.br/
CME	MINAS GERAIS	BELO HORIZONTE	https://www.cme.com.br/
MODULAR BRASIL	MINAS GERAIS	BELO HORIZONTE	https://www.modularbrasil.com.br/
BUNKER METAL	PARANÁ	SARANDI	http://bunkermetal.com.br/
PELICAN	CEARÁ	FORTALEZA	https://www.pelicancontainer.com.br/
MINHA CASA BOX	SÃO PAULO	BARUERI	https://www.minhacasabox.com/
OPUS MODULARES	MINAS GERAIS	NOVA LIMA	https://opuscm.com.br/
CONTER HOUSE	PARANÁ	CURITIBA	http://conterhouse.com.br/
DANGUI CONSTRUÇÕES	SANTA CATARINA	SÃO JOSÉ	
INTERSUL TERMINAIS	RIO GRANDE DO SUL	RIO GRANDE	www.intersulterminais.com.br

ANEXO A – Fotos de construções com SIP no Brasil

Construção em Joinville com SIP



Fonte: Bulltrade (2019)

Construção em Joinville com SIP



Fonte: Bulltrade (2019)

Construção em Joinville com SIP



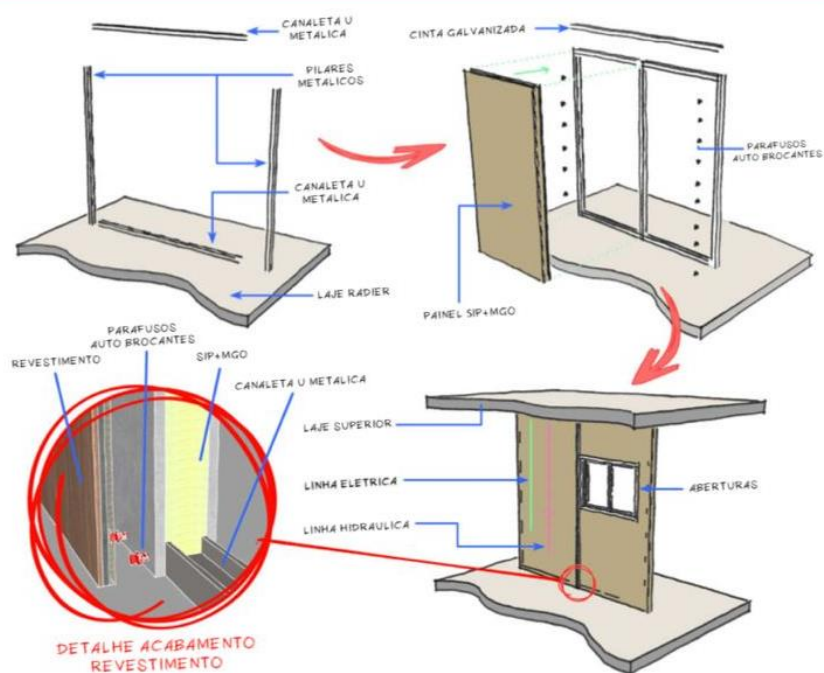
Fonte: Bulltrade (2019)

Projetos que serão construídos com SIP pela DKT Fast



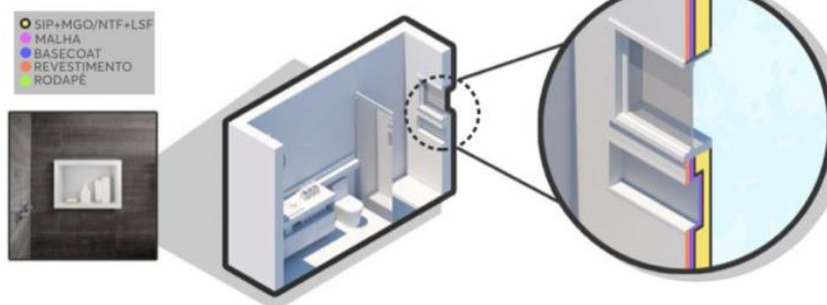


Fonte: DKT Fast (2021)

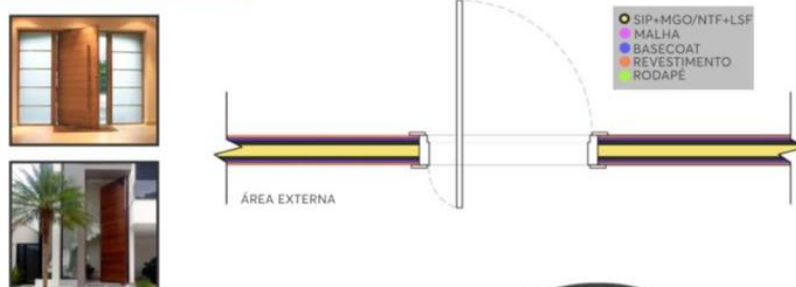
ANEXO B – Detalhes de execução com SIP**ESTRUTURA**

DETALHES

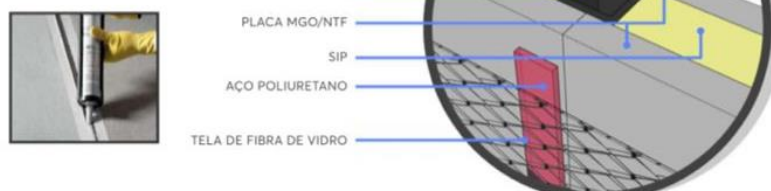
NICHO PARA BANHEIROS



PORTA PIVOTANTE



JUNTAS DE DILATAÇÃO



DETALHES

ATERRAMENTO



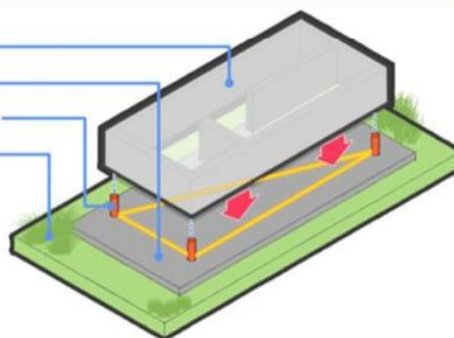
NA ETAPA DE CONSTRUÇÃO O RADIER SÃO PREVIS-
TOS HASTES DE ATERRAMENTO. ESTAS HASTES LO-
CADAS NAS EXTREIMIDADES DO RADIER E INTERLI-
GADOS ATRAVÉS DE CABEAMENTO, PROPICIANDO
A TODA EDIFICAÇÃO SEGURANÇA CONTRA RAIOS

EDIFICAÇÃO

RADIER

ATERRAMENTO

TERRENO

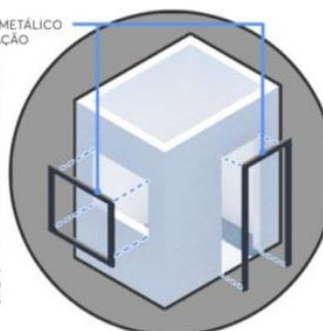


APLICAÇÃO DAS ESQUADRIAS



APÓS A APLICAÇÃO DAS PLACAS SIP+MGO/NTF+LSF RECORTADAS NO FOR-
MATO DAS ESQUADRIAS, SÃO INSTALADAS VIGAS U GALVANIZADAS A FOGO
ENTRE AS CAMADAS PROPORCIONANDO A SUSTENTAÇÃO DAS ESQUADRIAS
QUE SERÃO APLICADAS.

PERFIL METÁLICO
DE FIXAÇÃO



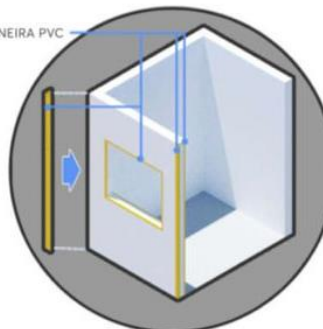
CANTONEIRA PVC

A APLICAÇÃO É FEITA ENTRE O PROCESSO DE APLICAÇÃO DO
BASECOAT PROMOVEDO SUA FIXAÇÃO.



AS CANTONEIRAS EM PVC SÃO APLICADAS EM TODA EXTENSÃO DAS
ABERTURAS E TAMBÉM NOS QUADRANTES, PROPORCIONANDO UMA
MELHOR RESISTÊNCIA ENTRE AS PLACAS SIP+MGO/NTF+LSF.

CANTONEIRA PVC

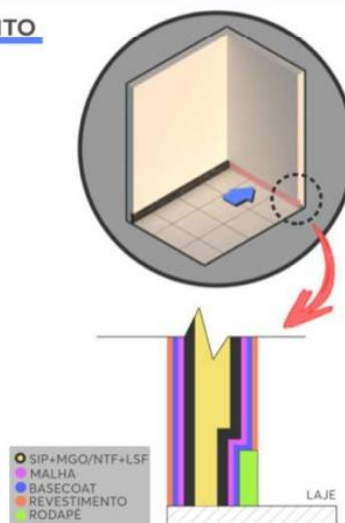


DETALHES

RODAPÉ EMBUTIDO - RODAPÉ INFINITO



OS RODAPÉS SÃO EMBUTIDOS EM UM RECORTE FEITO DIRETAMENTE NA CAMADA DE SIP+MGO/NTF+LSF, TRAZENDO UM ACABAMENTO PERSONALIZADO A CADA CLIENTE. AS VARIAÇÕES DE RODAPÉ PODEM SER DE 10CM, 15CM E 20CM EM REVESTIMENTOS DIVERSOS, SENDO ELES, PORCELANATOS, CERÂMICAS, MADEIRA E ETC.



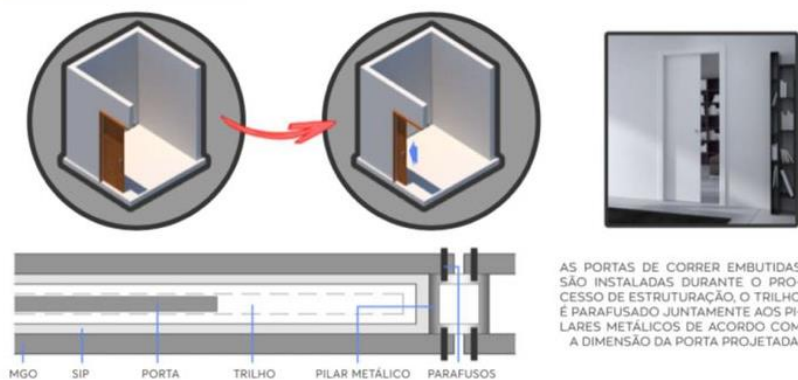
PORTAS DE CORRER



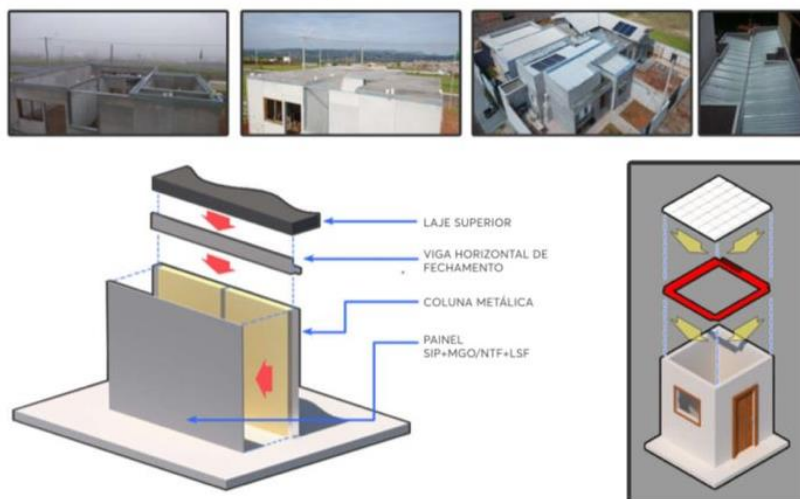
AS PORTAS DE CORRER PODEM SER INSTALADAS DE MANEIRA SIMPLES NAS PLACAS DKT. OS TRILHOS SÃO FIXADOS DIRETAMENTE NA CAMADA DE SIP+MGO/NTF+LSF PROPORCIONANDO SEGURANÇA NA FIXAÇÃO NO TRILHO DE ROLAGEM DAS PORTAS.

DETALHES

PORTA DE EMBUTIR



FECHAMENTO COBERTURA



AO FINAL DA ESTRUTURAÇÃO DAS PAREDES SÃO PARAFUSADAS ESTRUTURA METÁLICA DO PAINEL AS FERRAGENS DE FIXAÇÃO SUPERIORES. ESTE ELEMENTO SERVE PARA O RECEBIMENTO DA LAJE SUPERIOR.