CENTRO UNIVERSITÁRIO SAGRADO CORAÇÃO – UNISAGRADO

VINÍCIUS CINTRA DE CARVALHO

INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

BAURU
2023

VINÍCIUS CINTRA DE CARVALHO

INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil - Centro Universitário Sagrado Coração.

Orientadora: Prof.ª Ma. Fabiana Costa Munhoz

BAURU
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

C331i

Carvalho, Vinícius Cintra de

Inovação na construção civil: o uso da construção modular / Vinícius Cintra de Carvalho. -- 2023.

30f. : il.

Orientadora: Prof.ª M.ª Fabiana Costa Munhoz

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Sagrado Coração - UNISAGRADO - Bauru - SP

1. Industrialização. 2. Pré-fabricados. 3. Sustentável. 4. Modular. 5. *Light Steel Frame*. I. Munhoz, Fabiana Costa. II. Título.

Elaborado por Lidyane Silva Lima - CRB-8/9602

VINÍCIUS CINTRA DE CARVALHO

INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil - Centro Universitário Sagrado Coração.

Aprovado em: ___/___/____.

Banca examinadora:

_____

Prof.ª Ma. Fabiana Costa Munhoz (Orientadora)
Centro Universitário Sagrado Coração

_____

Titulação, Nome
Instituição

_____

Titulação, Nome
Instituição

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha mãe, Mirella da Costa Cintra e minha avó, Sueleny da Costa Cintra, que ao longo da minha vida me incentivaram e se esforçaram ao máximo para que, eu não somente me formasse na graduação, mas sim me tornasse a pessoa que sou e fizeram com que eu sempre corresse atrás dos meus sonhos.

Em especial, dedico esse trabalho à minha tia Leonor da Costa (in memoriam), e meu tio Pedro da Costa que foram meu suporte e tiveram um papel fundamental para que eu continuasse trilhando esse caminho.

Agradeço também aos professores da UNISAGRADO que agregaram conhecimento nessa minha jornada, em especial à professora Fabiana Costa Munhoz que foi minha orientadora deste trabalho.

Acima de tudo, agradeço a Deus por essa oportunidade que foi dada em minha vida.

E por fim, agradeço a minha namorada e a toda minha família, que me apoiaram em toda essa longa caminhada de estudos, sem eles nada seria fácil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comparativo dos orçamentos. 5
Figura 2 - Chassi em aço produzido na fábrica. 5
Figura 3 - Detalhes técnicos. 6
Figura 4 - Montagem de um painel de fechamento. 6
Figura 5 - Visão superior da composição 7
Figura 6 - Princípios para o desenvolvimento sustentável. 8
Figura 7 - Como erros podem ser mitigados pela modulação. 9
Figura 8 - Quadro comparativo entre Sistemas Modulares. 10
Figura 9 - Comparativo do Light Steel Frame e Alvenaria Convencional. 11
Figura 10 - Vantagens e desvantagens do método: Estrutura x Custo. 11
Figura 11 - Tipos de ambientes x agressividade do ambiente. 14
Figura 12 - Representação gráfica da metodologia do estudo. 15
Figura 13 - Soldagem da base do módulo. 16
Figura 14 - - Pintura da estrutura. 16
Figura 15 - Parte estrutural completa e pintada. 17
Figura 16 - Assentamento contrapiso. 17
Figura 17 - Colagem do piso. 18
Figura 18 - Montagem dos painéis. 18
Figura 19 - Montagem dos painéis. 19
Figura 20 - Prazos e etapas da construção modular e convencional. 19

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 2

2 REVISÃO DE LITERATURA 3

2.1 A CONSTRUÇÃO MODULAR 3

2.1.1 A estrutura da construção modular 4

2.2 SUSTENTABILIDADE 7

2.2.1 Sustentabilidade aplicada na modular 8

2.3 CONSTRUÇÃO MODULAR X CONSTRUÇÃO DE ALVENARIA 10

2.4 A IMPORTÂNCIA DAS FERRAMENTAS BIM NA CONSTRUÇÃO MODULAR 12

2.5 SISTEMA DE PINTURA PARA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS EM AÇO 13

3 METODOLOGIA 15

4 ESTUDO DE CASO: UMA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO MODULAR 15

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO 19

5.1 PRAZOS DE EXECUÇÃO 20

5.2 DIFICULDADES E VIABILIDADE DE TRANSPORTE 20

5.3 DIFICULDADES DE INSTALAÇÃO 20

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 22

REFERÊNCIAS 23

INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: O USO DA CONSTRUÇÃO MODULAR

Vinícius Cintra de Carvalho

[1]Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Sagrado Coração (UNISAGRADO)
viniciuscintra32@gmail.com

RESUMO

A competitividade atual no ramo da construção civil tem feito empresas irem em busca de técnicas de construções mais rentáveis e sustentáveis, e com isso a necessidade constante de se adequar uma melhoria de qualidade na produção. Nota-se a industrialização e padronização da construção, com uma junção dessas duas técnicas, que por consequência abrem caminhos para a utilização de sistemas tecnológicos para buscarem a rapidez na execução, diminuição de desperdício e geração de resíduos, mantendo a qualidade final da edificação. Esses sistemas pré-fabricados modulares são de fácil montagem e desmontagem. Neste trabalho, apresenta-se por meio de pesquisas sobre a construção modular, quanto ao seu processo e tecnologia utilizadas na construção civil, e traz as particularidades dos processos, seus benefícios e desafios. O trabalho consistiu em mostrar o modelo construtivo modular, a utilização do sistema *Light Steel Frame* que utiliza barras metálicas de aço galvanizada como estrutura. Este trabalho comprovou a rapidez e eficiência do referente sistema construtivo, através de um acompanhamento para cada etapa construtiva realizada na fábrica de uma empresa do ramo. Foi constatado a redução de tempo e resíduos no qual é o ponto positivo da construção modular.
Palavras-chave: Industrialização. Pré-fabricados. Sustentável. Qualidade. Light Steel Frame. Modular.

ABSTRACT

The current competitiveness in the construction sector has made companies look for more profitable and sustainable construction techniques, and with this the constant need to adapt to quality improvements in production. The industrialization and standardization of construction can be noted, with a combination of these two techniques, which consequently open up paths for the use of technological systems to seek speed in execution, reducing waste and waste generation, maintaining the final quality of the building. These modular prefabricated systems are easy to assemble and disassemble. In this work, it presents itself through research on modular construction, regarding its process and technology used in civil construction, and brings the particularities of the processes, their benefits and challenges. The work consisted of showing the modular construction model, the use of the Light Steel Frame system that uses galvanized steel bars as a structure. This work proved the speed and efficiency of the construction system, through monitoring of each construction stage carried out in the factory of a company in the sector. The reduction of time and waste was noted, which is the positive point of modular construction.
Keywords: Industrialization. Pre-made. Sustainable. Quality. Light Steel Frame. Modular.

1 INTRODUÇÃO

A construção *offsite* ou modular, igualmente conhecida como construção pré-fabricada, é uma técnica industrial caracterizada pela sua produção de elementos fabricados fora do canteiro de obra, e são montados e transportados através do sistema rodoviário, por carretas ao local de obra, uma vez que padroniza partes das casas ou lojas por meio de dos módulos (Vieira, 2021). Esses módulos são produzidos em conjunto e em etapas construtivas, como a estrutura, vedações, instalações elétricas e hidráulicas e acabamentos.

Historicamente, no século XX, profissionais da área iniciaram vários estudos a respeito da pré-fabricação, e consequentemente, da construção modular. De acordo com Doniak (2015 apud Bekaert, 2018), após a Segunda Guerra, as nações europeias encaravam grandes adversidades dentro de suas civilizações, como destaque as pessoas que ficaram desabrigadas com a destruição de seus lares, em virtude da guerra. Consequentemente, iniciou-se atitudes contra o tempo, para encontrar as melhores soluções e alcançar com o menor custo e tempo possível para se construir moradias, na tentativa de amenizar os prejuízos da guerra. Por este motivo, as construções modulares surgiram e se tornaram muito utilizadas.

A padronização dos componentes era necessária de qualquer maneira, pois não era mais possível suportar os altos custos e longos períodos de obras. (Greven e Baldauf, 2007). No ano de 1921, o arquiteto Le Corbusier declarou que era preciso que as casas fossem produzidas em série, em fábricas, com linhas de montagem como a Ford montava seus automóveis (Greven e Baldauf, 2007). O arquiteto alemão Walter Gropius, na visão de Rosso (1976), é quem antecipa os tempos e as fases da Coordenação Modular. Gropius projetou e construiu duas casas isoladas: a do bairro operário *Weissenhof* em 1927, e a "Casa Ampliável", em 1932. Elas foram montadas a seco com componentes pré-fabricados: estrutura metálica e vedação com painéis de cortiça revestidos externamente com cimento amianto.

Nos dias de hoje, estudos desenvolvidos por vários setores da indústria buscam definir as necessidades e as soluções para a cadeia da construção civil no Brasil. Esses trabalhos mostram que há problemas em todos os elos. O setor de insumos necessita melhorar a produtividade e a qualidade além de aumentar o valor agregado. A cadeia produtiva busca aumentar a produtividade, reduzir o custo dos insumos e, ao mesmo tempo, estar em conformidade com as normas vigentes. Enquanto isso, o consumidor final anseia por edificações de melhor qualidade e menor preço.

Uma das formas de atingir os objetivos acima é a busca da racionalização e industrialização da construção, de tal maneira que a construção de edificações possa aplicar efetivamente as melhores práticas tanto no projeto como na produção. Edificações projetadas não mais com o paradigma da produção em massa, mas em sintonia com o pensamento atual em sistemas de produção, a customização em massa.

Em resumo, a construção modular é um método de construção altamente padronizado e industrializado que envolve a fabricação de componentes pré-fabricados que são transportados até o local onde serão instalados (Setpar, 2022). Essa abordagem pode levar a construções mais rápidas, eficientes e econômicas, além de ser uma solução para a falta de habitação acessível em muitas partes do mundo.

Portanto, a razão pela qual este tema foi escolhido, se deu por conta que atualmente, na área da construção civil, se fala muito do aumento da produtividade. São diversas iniciativas tomadas pelas entidades do ramo, para que o setor se desenvolva ainda mais. Com esse aumento da produção, chega-se a um menor custo e maior rentabilidade, concluindo que a concorrência atual busca a melhoria da qualidade e produtividade com menor preço.

Desta forma, a construção modular atende perfeitamente a todos esses requisitos, com construções rápidas, sustentáveis e econômicas, através de seu sistema que se resume em construção industrializada, sendo o canteiro de obras na própria fábrica. Por esse motivo, busca-

se com a realização dessa pesquisa mostrar as qualidades e vantagens que a construção modular proporciona e que acarretam nas mudanças da construção civil atual e no futuro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os tópicos a seguir apresentam informações e conceitos relevantes para o desenvolvimento deste estudo.

2.1 A CONSTRUÇÃO MODULAR

No que se diz respeito à construção modular, imagina-se que se trata de uma técnica nova, mas que na verdade já vem sendo estudada há muito tempo. A preocupação com a modularidade e com a industrialização da construção não é recente na engenharia e na arquitetura. A construção de edificações *off-site,* que são montadas e depois são transportadas em tempo bem mais rápido do que o que seria realizado por técnicas tradicionais, existe há mais de 200 anos. Desde então, as mesmas vêm passando por melhorias e evoluções. Os primeiros casos registrados ocorreram em 1624 e foram casas para a instalação de uma vila de pesca em Cape Anne, Massachusetts, EUA. Este processo teve continuidade ao longo dos anos 1700 e 1800s, para atender as demandas das colônias britânicas. Estas construções utilizavam estrutura de madeira e painéis do mesmo material para os pisos, paredes e para a cobertura (Oliveira, 2021). Com o arquiteto americano Frank Lloyd Wrigth, que criou o conceito “casas usorianas”. São casas pequenas, simples e com custo moderado comparado as outras, ou seja, casas construídas com base modular. Em meados dos anos 1950, nos Estados Unidos, a construção modular começou a ganhar mais notoriedade e passou a ser utilizada em projetos comerciais, além dos projetos residenciais. Com o sucesso dessa técnica, posteriormente se expandiu para o resto do mundo.

Com o avanço das tecnologias de fabricação e materiais, a construção modular se tornou cada vez mais sofisticada e capaz de atender a uma ampla gama de necessidades de construção, desde habitações simples até edifícios comerciais de grande porte. Hoje em dia, a construção modular é amplamente utilizada em todo o mundo como uma alternativa eficiente e sustentável à construção convencional no local.

Para se adentrar no questionamento de como funciona esse tipo de construção inovadora, é necessário se aprofundar de fato, nos conceitos da construção modular. Como o próprio nome já diz, trata-se de uma construção que se baseia na utilização de módulos com dimensões padronizadas, e que já estão pré-fabricados, portanto, devem apenas ser montados em fábrica, ou até mesmo in loco, para situações de edificação.

Esses módulos, podem ser feitos de vários tipos de materiais, como por exemplo: madeira, vidro, concreto, aço, dentre outras matérias primas, sendo a mais comum a utilização do aço. Esse tipo de edificação comporta diversas técnicas, se tornando eficiente para a produção industrial por permitir processos simultâneos, dessa forma os custos são menores, assim como o prazo da obra. Apesar de serem padronizados, os módulos são resistentes e permitem ser encaixados de várias formas.

Desta forma, as variáveis inerentes ao processo de fabricação in situ darão lugar a processos sistêmicos em um ambiente fabril, com organização própria, evitando o desperdício de tempo, materiais e energia (Silveira, 2021).

2.1.1 A estrutura da construção modular

A coordenação modular e o uso de malhas construtivas são de grande importância em sistemas industrializados, como o LSF, pois asseguram o não desperdício dos materiais, proposto pela padronização de medidas (Jardim e Campos, 2005 apud Santiago, 2008).

O *Ligth Steel Frame* (LSF) é um sistema construtivo industrializado sendo seu sistema estrutural em perfis de aço galvanizado, sendo equidistantes de 400 ou 600 mm. (Santiago, 2008). Serve como base para substituir as tradicionais construções de concreto, tijolos e blocos. Esses perfis de aço galvanizado são utilizados para compor painéis estruturais ou não-estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado e demais componentes. São projetados para suportar cargas de edificações. Esse sistema vem conquistando o mercado da construção civil atualmente, justamente por atender bem aos requisitos da funcionalidade dos módulos seja simples, ou com edificações, mesmo possuindo um esqueleto estrutural leve. Esse esqueleto recebe o acréscimo dos revestimentos em placas externas e internas, isolamentos termo-acústicos e forros.

O conceito do LSF consiste em dividir cargas da edificação em um maior número possível de elementos estruturais, sendo cada um desses projetado e esquematizado para receber uma parcela pequena da carga resultante (Santiago, 2008).

Se caracteriza como um sistema construtivo que permite a utilização de vários materiais em sua composição, portanto, por ser considerado flexível acaba ocorrendo menos restrições nos projetos, com isso otimiza a utilização dos recursos e gerencia melhor as perdas. O LSF é durável e reciclável, características essenciais que auxiliam na questão da sustentabilidade da construção, além de apresentar resistência à incêndio, isso se deve ao fato de ser revestido com gesso acartonado, material com elevada resistência ao fogo.

Se tratando deste sistema no cenário nacional, percebe-se que o LSF está passando atualmente, por processos de adequação e avaliação para enfim, ter a aceitação final nas construções. Isso se deve ao fato por causa do seu sistema construtivo ter sido desenvolvido em países bem diferentes do Brasil, por exemplo, o clima e economia como destaques. Nos dias de hoje, o Brasil possui uma infraestrutura capaz de fornecer todos os insumos necessários para uma construção com o sistema LSF, porém colide com o habitual problema da falta de conhecimento técnico por parte dos profissionais encarregados.

O sistema LSF é hoje utilizado no Brasil principalmente na construção de habitações unifamiliares de pequeno porte (até dois pavimentos), mas também tem sido empregado em construções bastante variadas, como hospitais, escolas e edifícios de apartamentos de até 4 pavimentos, além de retrofit de edificações existentes (Santiago, 2008).

Para melhor compreensão do assunto tratado, deve-se dar ênfase no material chamado aço galvanizado., pois os elementos estruturais que compõem o sistema LSF são fabricados em aço galvanizado. O aço galvanizado é revestido com zinco ou liga alumínio-zinco pelo processo contínuo de imersão a quente ou por eletroposição (Santiago, 2008, p.13). Segundo a norma brasileira NBR 15253 (ABNT, 2005), sabe-se que massas mínimas de revestimento são de 150 g/m2 (liga alumínio-zinco) a 180 g/m2 (zinco) para perfis estruturais e de 100 g/m² para perfis não estruturais.

Em relação as espessuras dessas chapas atualmente consumidas no mercado em grande escala, é possível citar desde 0,40 mm até 2,25 mm. Mas destaca-se em média a espessura de 0,80 mm. Essas chapas são frequentemente usadas na etapa de fechamento dos módulos.

Segundo Souza (2021), quando se trata de custos, é possível observar a diferença em relação a construção com alvenaria convencional, levando em consideração apenas a

superestrutura. Essa diferença é notória, sendo 32% mais econômica como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Comparativo dos orçamentos.

Fonte: Souza (2021)

A construção modular pode ser bem diferente da construção convencional, mas na questão que antecede a construção, a modulação não seria diferente, pois todo projeto de construção precisa de técnicas aplicadas corretamente para seu desenvolvimento. Porém, quando se trata da produção e construção dos módulos, é a etapa que de fato se difere de todas as outras pela construção off-site. Essa etapa é 100% feita em fábrica.

A parte estrutural de um módulo é composta por uma estrutura metálica em aço tubular, chapas, perfis, complementos metálicos dobrados e conformados. Essa estrutura de sustentação do módulo é chamada de chassi ou frame. É formada pelas vigas e pilares, onde serão conectados todo os elementos que compõem um módulo. (Savassi, 2020)

Figura 2 - Chassi em aço produzido na fábrica.

Fonte: Soluções [...] (2019)

Portanto, a estruturação dos módulos são 100% fabricadas em aço, isso porque, são leves, permitindo uma industrialização totalmente off-site e 100% a seco. Essa questão da leveza dos perfis metálicos é de extrema relevância na modular, pois o peso do módulo é um fator crítico, para afins de içamento e logística.

A fabricação do chassi, realizada dentro da fábrica são compostas por peças de aço que são dimensionadas pelo engenheiro estrutural de acordo com as demandas do projeto aprovado. O projeto de fabricação é iniciado quando é definida a qualidade do aço, no qual todas as peças, ligações e conexões serão detalhadas. Depois de cortadas, furadas e pintadas, as peças são unidas formando o frame estrutural, ou chassi.

Após a montagem dos perfis metálicos, o módulo já ganha o formato 3D, seguindo para a inspeção da estrutura com relação a prumos, nivelamento, esquadros soldas e/ou parafusos. Vale ressaltar que é executar a proteção da estrutura contra a corrosão quando necessário, assim, finalizando o chassi metálico. (Savassi, 2020?)

Na etapa de fechamentos internos e externos a junção das placas com o sistema LSF, resulta em um sistema de painéis de fechamento pré-fabricados, na qual a estrutura e composição das chapas são entregues totalmente montadas e pintadas. Essa etapa do fechamento é composta por um sistema conhecido por “sanduíche”, que nada mais é a composição da chapa externa, o isolante termo-acústico, e chapa interna.

O isolamento térmico proporcionado pelo núcleo atua como uma parede isolante contra o frio ou calor. Assim, uma obra que tenha suas paredes formadas por esses painéis térmicos utiliza menos ar condicionado, atendendo facilmente os requisitos de economia de energia, sendo constituídos de núcleo isolante em PIR (Poliisocianurato) e revestidos por chapas de aço. A placa de isolamento em PIR pode variar de espessura, conforme especificado na figura 3, sendo usada mais comumente a de 50mm de espessura. (Savassi, 2020?)

Figura 3 - Detalhes técnicos.

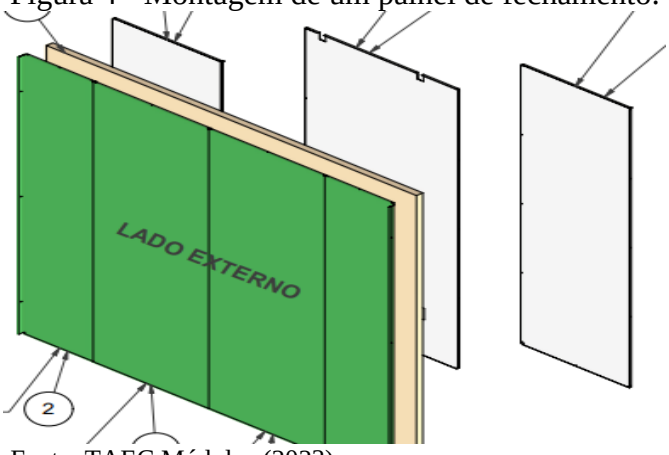
Detalhes Técnicos

Espessura isolante (mm)	Peso próprio (kg/m²)	U Coef. global de transm. calor (w/m².k)	Largura útil (mm)	*Comprimento máximo (m)	Vão máximo entre apoios (mm)
50	10,82	0,44	1040	10,0	3350
70	11,68	0,31	1040	10,0	3900
100	12,96	0,22	1040	10,0	4700

Fonte: Painel [...] (2023)

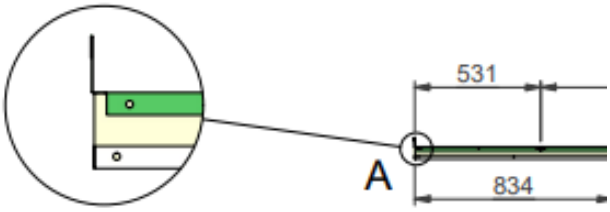
Portanto, a montagem final do fechamento do módulo é estruturada da seguinte forma:

Figura 4 - Montagem de um painel de fechamento.



Fonte: TAEC Módulos (2023)

Figura 5 - Visão superior da composição
do fechamento modular.



Fonte: TAEC Módulos (2023)

As chapas de aço galvalume presentes na imagem acima são fixadas junto a estrutura (*Ligth Steel Frame*) e na placa de PIR. Portanto, para que não exista um ponto de junção entre a chapa externa e interna, ou seja, um mesmo ponto de emenda, criando uma fragilidade na resistência dos painéis, as chapas externas não possuem a mesma dimensão das chapas internas. Para melhor entendimento, o ponto onde termina uma placa externa, estará na metade da placa interna, ou vice-versa.

No detalhamento das vedações, já são embutidos os sistemas elétrico e hidráulico, evitando retrabalhos e garantindo a perfeita compatibilização entre os sistemas. Com a finalização das vedações, são instaladas as esquadrias e os revestimentos internos e externos. Após finalizar os revestimentos, são executadas as atividades de acabamento (instalação de louças, metais, pedras, etc). Ao fim dessa etapa, encerra-se a produção dos módulos em fábrica e eles ficam prontos para o transporte.

Para transportar o módulo, é preciso içar o mesmo para ajustar corretamente na carreta, para enfim, ser enviado ao local de destino. Essa movimentação, normalmente são utilizados guindastes ou caminhões Munck, e este içamento é feito através de olhais fixados na parte superior dos módulos. (Savassi, 2020?)

2.2 SUSTENTABILIDADE

A área da construção civil é o ramo que mais gera impactos ambientais e que mais consome matéria prima. Por isso, é indispensável a implantação de práticas sustentáveis no processo construtivo. Ao decorrer dos anos, muito se fala do avanço na tratativa da sustentabilidade e da motivação de se aplicar a sustentabilidade na construção civil.

Hoje em dia, há muitos debates em torno da consciência ecológica baseada no receio dos problemas ecológicos, escassez de matéria prima. Surge, a partir dos anos 90, o questionamento em relação as práticas adotadas desde o período pós-guerra, surgindo de fato, a sustentabilidade. (Amorim, 2016).

No cenário das preocupações ambientais, a construção civil necessitou de certas mudanças no processo construtivo, para se adequar ao novo modelo de desenvolvimento. A construção civil é retratada como o setor de atividades humanas que mais aniquilam recursos naturais, isso se deve ao fato de utilizar intensivamente energia, gerando impactos ambientais.

Atualmente, a construção civil equivale a 8% das emissões no Brasil, sendo esse valor estimado causado pela produção de cimento e de aço, no transporte, e, por último, na extração madeireira. (Amorim, 2016). Perante essa iniciativa sustentável, o setor da construção civil tem como conjectura a responsabilidade de reduzir os gases de efeito estufa (GEE) para 1% até 2030, tendo em vista que o obstáculo é o cimento, que é o responsável pela maior parte da porcentagem dos gases emitidos. (Amorim, 2016).

Para que a indústria da construção civil consiga alcançar com êxito as metas do desenvolvimento sustentável, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) divulgam princípios, conforme a figura 6:

Figura 6 - Princípios para o desenvolvimento sustentável.

Princípios para o desenvolvimento sustentável
Aproveitamento de condições naturais locais;
Utilizar mínimo de terreno e integra-se ao ambiente natural;
Implantação e análise do entorno;
Não provocar ou reduzir impactos no entorno - paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar;
Qualidade ambiental interna e externa;
Gestão sustentável da implantação da obra;
Adaptar-se às necessidades atuais e futuras dos usuários;
Uso de matérias-primas que contribuam com a ecoeficiência do processo;
Redução do consumo energético;
Redução do consumo de água;
Reduzir, reutilizar, reciclar e dispor corretamente os resíduos sólidos;
Introduzir inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
Educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo.

Fonte: Amorim (2016)

2.2.1 Sustentabilidade aplicada na modular

Para se tornar sustentável, a construção civil deve se dedicar na redução da geração de resíduos, na utilização de materiais recicláveis, reutilizáveis ou secundários, no desenvolvimento tecnologias limpas e na coleta e deposição de materiais inertes (Amorim, 2016).

Com isso, a construção modular surge como uma importante opção sustentável, sendo uma excelente alternativa no quesito das perdas de materiais, durante uma construção.

A seguir, para melhor análise e entendimento de como a construção modular atenua esses problemas corriqueiros das obras e com isso evitando as perdas materiais:

Figura 7 - Como erros podem ser mitigados pela modulação.

Natureza	Exemplo	Momento de Incidência	Origem	Modulação
Superprodução	Produção de argamassa em quantidade superior à necessária para um dia de trabalho	Produção	Planejamento: Falta de procedimentos de controle	Por ser fabricada previamente de acordo com o projeto, não há desperdícios, ainda mais passando por rigorosos processos de controle de qualidade
Substituição	Utilização de tijolos à vista em paredes a serem rebocadas	Produção	Suprimentos: Falta do material em canteiro por falha na programação de compras	Produtos pré-fabricados possuem maior precisão de cronograma, reduzindo falhas de programação
Transporte	Duplo manuseio	Recebimento, Transporte, produção	Gerência da obra: Falha no planejamento de locais de estocagem	Como geralmente são peças robustas, já vem preparadas devidamente para serem transportadas apenas por equipamentos capazes.
Processamento	Necessidade de refazer uma parede por não atender aos requisitos de controle	Produção	Planejamento: Falhas no sistema de controle	Passam por um rígido contole de qualidade na fase de pré-fabricação, evitando retrabalho por má qualidade
Estoques	Deteriorização do cimento estocado	Armazenamento	Planejamento: Falta de procedimentos referentes às condições adequadas de armazenamento	Não é necessário grandes espaços de estocagem. Os pré-moldados geralmente são pré-fabricados e chegam na obra prontos e na hora da montagem
Elaboração de produtos defeituosos	Desníveis na estrutura	Produção, inspeção	Projeto: Falhas no sistema de fôrmas utilizado	Passam por um rígido contole de qualidade na fase de pré-fabricação, evitando retrabalho por má qualidade

Fonte: Amorim (2016)

A seguir, segundo Amorim (2016, pag. 51), figura 8 que ressalta o sistema LSF com a sustentabilidade, evidenciando como o LSF atende os princípios impostos para ser sustentável.

Figura 8 - Quadro comparativo entre Sistemas Modulares.

Princípios sustentáveis segundo CBCS	Light Steel Framing
Aproveitamento das condições naturais locais	
Utilização mínima do terreno	Atende
Implantação e análise do entorno	Atende
Redução do impactos no entorno	Atende
Qualidade ambiental interna e externa	Atende
Gestão sustentável da implantação da obra	Atende
Adaptação às necessidades atuais e futuras dos usuários	Atende
Uso de matérias-primas que contribuam com ecoeficiência	Atende
Redução do consumo energético	Atende
Redução do consumo de água	Atende
Redução e reutilização dos resíduos sólidos	Atende
Inovações tecnológicas	Atende
Educação ambiental: Conscientização dos envolvidos no processo	Atende
Total de princípios atendidos	12

Fonte: Amorim, 2016

Essa adequação do sistema LSF à sustentabilidade se deve ao fato da grande resistência do aço, sendo de extrema significância a durabilidade e fácil manuseio e montagem. (Amorim, 2016).

2.3 CONSTRUÇÃO MODULAR X CONSTRUÇÃO DE ALVENARIA

Realizadas diversas análises, observa-se que o sistema LSF tem como características marcantes a rapidez, versatilidade e formas de montagem, criando-se oportunidade de fazer com que a construção seja limpa, prática e de qualidade. Em contra partida, o sistema convencional possui seus defeitos e desperdícios que são evitados e controlados no sistema LSF, justamente pelo Ligth Steel Frame ser milimetricamente detalhado em projeto. (SOUZA, 2021)

Figura 9 - Comparativo do Light Steel Frame e Alvenaria Convencional.

Light Steel Frame	Alvenaria Convencional
Peças de aço dimensionadas em milímetros	Recorte de blocos cerâmicos
Facilidade de encontrar patologias	Dificuldade de encontrar patologias
Canteiro de obra organizado e limpo	Canteiro de obra desorganizado
Apresenta elevada resistência contra terremotos e ventos fortes.	Não é resistente a terremotos e ventos fortes podendo ser usado apenas em áreas isentas destes riscos naturais
Arquiteto ou Engenheiro tem a liberdade de criação nos projetos	Sistema limita criatividade em grandes vão e arquiteturas esbeltas

Fonte: Souza (2021)

Figura 10 - Vantagens e desvantagens do método: Estrutura x Custo.

	Light Steel Frame		Alvenaria Convencional	
	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Estrutura	Baixo peso da edificação, material de alta resistência	Número de pavimentos, até 6	Elevada capacidade de carga e resistência, proporcionando grandes vãos, duravéis.	Peso elevado
Custos	Grande disponibilidade de perfis no mercado	Custo elevado, necessita de mão de obra especializada	Materiais, insumos, mão de obra e equipamentos utilizados possuem baixo custo	Alto índice de desperdício, necessidade de retrabalhos

Fonte: Souza (2021)

Atualmente, segundo o relatório da Reportlinker (Lafaete Locações, 2023), estima-se que até 2025 o mercado da construção modular cresça mais de cinquenta bilhões de dólares, considerando todo o mundo. E razões para isso não faltam, pois esse tipo de construção apresenta muitas vantagens em seu método construtivo. Alguns dos benefícios são:

- Rapidez: sabe-se que há uma redução de tempo de 30% a 50% comparado aos métodos convencionais, isso porque mesmo que tenha uma construção em andamento, isso não impede que os módulos sejam instalados. Segundo o site *Modular Building Institute* (MBI), outro fato de extrema relevância em relação a redução de tempo, é que cerca de 60%a 90% do processo da construção modular é realizado dentro da fábrica, o que otimiza o tempo de obra. Com isso não é necessário esperar pelas condições do terreno, e também não possui pausas por consequências do mau tempo e outras adversidades.
- Sustentabilidade: a construção modular é uma grande aliada quando se trata do conceito de *green building*, ou seja, construção verde. A *green building* é um tipo de construção planejada para causar pouco impacto no meio ambiente, com a utilização de fontes energéticas renováveis, possui baixas emissões de gases do efeito estufa na atmosfera e reaproveita materiais. Essas práticas também são usadas na construção modular, em prol do meio ambiente. A criação desses módulos é muito precisa, consequentemente gera uma quantidade bem inferior de sobra de materiais, os entulhos, tornando menor o desperdício de material. Quando a questão é demolição, a construção modular também está na frente no quesito sustentabilidade em função de outros métodos construtivos, isso porque ao invés de ser demolida, ela pode ser transferida para outro lugar. Vale ressaltar que os módulos são muito eficientes no consumo de água e energia, visto que podem receber instalações de painéis solares e estruturas para captação de chuva.
- Economia e precisão orçamentária: por ser fabricada industrialmente, a construção modular gera um trabalho sem desperdício de tempo e mão de obra, consequentemente diminuindo significativamente o tempo do prazo final de entrega e diminuindo o custo, simplificando, a construção off-site reduz os custos ao aumentar a produtividade e reduzindo desperdícios. Devido à precisão dessa construção, o valor acordado da construção modular sofre alterações insignificantes, ou até mesmo, na grande maioria das vezes, não sofre alteração, isso porque o projeto é seguido fielmente ao decorrer da obra.

Já entre as desvantagens das construções modulares, é importante destacar:

- Dificuldade em encontrar mão de obra: a construção modular exige mão de obra especializada e muito mais treinada que a construção convencional, isso devido as técnicas de construção, equipamentos e máquinas. Portanto, é necessário um investimento no treinamento da equipe.
- Despesa com o transporte dos materiais: vai variar conforme a distância entre a fábrica e o terreno onde será instalado o módulo. A logística no ramo da construção modular é um setor bem delicado, necessitando uma qualidade diferenciada para reduzir ao máximo gastos com transportes e possíveis problemas que precisarão ser contornados.
- Menor funcionalidade em relação ao terreno: a questão do terreno e sua fundação é uma desvantagem, pois o módulo é construído na fábrica em um terreno idealizado. Na hora de ser transportado para os terrenos ideais, é preciso fazer um retrabalho de ajustamento, para adequar o módulo ao solo onde será instalado.

2.4 A IMPORTÂNCIA DAS FERRAMENTAS BIM NA CONSTRUÇÃO MODULAR

Primeiramente, a tecnologia BIM é a sigla em inglês para *Building Information Modeling*, que tem como tradução Modelagem de Informação da Construção. O BIM se diferencia do sistema do CAD, pelo uso da modelagem paramétrica e pela interoperabilidade, ou seja, consegue operar em dois ou mais sistemas com funcionalidade diferente. Segundo Garbini e Brandão (2014, p.10) constatam que,

> [...] São três os aspectos fundamentais da tecnologia BIM: a modelagem paramétrica para desenvolvimento deste modelo único; a interoperabilidade para integração e colaboração e troca de informações dos envolvidos; e, a possibilidade de gestão e avaliação do projeto em todo o seu ciclo de vida.

Segundo a grande empresa modular do país, a CMC Modular, essa tecnologia busca integrar e organizar todas as informações dos projetos, por meio de softwares baseados no BIM é possível criar um modelo 3D detalhado da obra, de forma próxima ao resultado final. (CMC Modular, 2022).

A implementação da tecnologia BIM, traz diversas vantagens, como uma maior eficiência na etapa de planejamento, minimizando as falhas de execução, por conseguinte, ocorre a diminuição dos custos da obra. Devido a redução dos riscos, aumenta a qualidade das edificações. Outro fator positivo do BIM, é que essa tecnologia viabiliza a integração dos processos de uma construção, com isso, a equipe consegue resolver possíveis problemas mais rápido, ocasionando maior assertividade em todos estágios da obra. De acordo com Oliveira (2011, p.46) “o software BIM auxilia na checagem e autorização das variadas modificações que os projetistas podem fazer ao mesmo tempo em um mesmo arquivo”.

Para se entender melhor a funcionalidade do BIM, explica-se citando as instalações elétricas e hidráulicas na construção modular, essas instalações são substituídas por canais. Portanto, os padrões de encaixe são muito mais complexos e precisa possuir uma precisão de qualidade para não comprometer a montagem. É aí que o sistema BIM entra em ação, trabalhando em função de buscar a melhor qualidade na precisão, por meio de ferramentas que são capazes de fornecer os detalhes dos componentes, além da habilidade de planejar com precisão cada peça (Metroform, 2018), a ferramenta fornece todos os dados para os gestores utilizarem da melhor forma possível, no intuito de detalhar as demandas da fabricação. É por isso que o sistema BIM é de extrema importância e cada vez mais utilizada na construção modular.

Para Merlo (2015, p.317) menciona-se que,

> [...] o BIM necessita de que o operador do programa passe a ter a necessidade do conhecimento construtivo e não mais somente meios de representação gráficos, isso porque esse sistema possui a capacidade de controlar todo o ciclo do projeto em tempo real e não mais ficticiamente.

Essas ferramentas internas se encaixam perfeitamente ao sistema modular, pois o BIM possui a capacidade de executar comandos e parâmetros que vem para facilitar o trabalho, como dito anteriormente. Os sistemas modulares mostram que, se empregados corretamente, têm um papel facilitador em todo o processo desde sua concepção até sua execução, por terem medidas padronizadas (Merlo,2015). Com o intuito da criação de módulos com dimensões padronizadas, graças a essa capacidade de pré programação de parâmetros, poderá ser inserido de tal forma que fiquem amarrados entre si e no final do processo seja gerada uma tabela que contenha quantitativos, valores, cronogramas e quaisquer dados necessários para a execução e orçamento.

2.5 SISTEMA DE PINTURA PARA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS EM AÇO

Estruturas metálicas expostas direta ou indiretamente à ação da atmosfera necessitam da aplicação de sistemas de proteção para prevenir a corrosão. Esse cuidado garante a durabilidade e a integridade das estruturas. A pintura é a forma de proteção mais empregada, mas a galvanização deve ser sempre considerada.

Essa temática é muito importante e delicada, quando se trata de módulos que são enviados para áreas costeiras, onde existirá ação corrosiva da salinidade presente no ar.

Portanto, através da figura 11, é realizado o estudo necessário para a pintura correta e a espessura de cada camada de tinta, no intuito de combater a corrosão existente no local.

Ou seja, esse sistema de pintura baseia-se no grau de agressividade da atmosfera aliado ao tipo de exposição a que as estruturas estarão submetidas. (Gerdau, 2023).

Figura 11 - Tipos de ambientes x agressividade do ambiente.

Agressividade do ambiente (ISO 12944:Part 2)	Perda de espessura, mm (após um ano)		Exemplos de ambientes típicos	
	Aço carbono	Zinco	Exterior	Interior
C1 muito baixa	≤ 1,3	≤ 0,1	–	Edificações aquecidas com atmosferas limpas (escritórios, lojas, escolas, hotéis, etc.)
C2 baixa	> 1,3 a 25	> 0,1 a 0,7	Atmosferas com baixo nível de poluição. A maior parte das áreas rurais.	Edificações sem aquecimento, onde a condensação é possível (armazéns, ginásios cobertos, etc.)
C3 média	> 25 a 50	> 0,7 a 2,1	Atmosferas urbanas e industriais com poluição moderada por dióxido de enxofre. Áreas costeiras de baixa salinidade.	Ambientes industriais com alta umidade e alguma poluição atmosférica (lavanderias, cervejarias, laticínios, etc.)
C4 alta	> 50 a 80	> 2,1 a 4,2	Áreas industriais e costeiras com salinidade moderada.	Indústrias químicas, piscinas, etc.
C5-I muito alta-industrial	> 80 a 200	> 4,2 a 8,4	Áreas industriais com alta umidade e atmosfera agressiva.	Edificações ou áreas com condensação quase permanente e com alta poluição.
C5-M muito alta-marinha	> 80 a 200	> 4,2 a 8,4	Áreas costeiras e offshore com alta salinidade.	Edificações ou áreas com condensação quase permanente e com alta poluição.

Consulte um especialista

Agressividade do ambiente	Sistema de pintura aplicada no	Preparo superficial mínimo	Tinta de fundo	Tinta intermediária	Tinta de acabamento	Espessura total seca (µm)	Durabilidade estimada (anos)
C1 muito baixa	Fabricante	Sa 2 ½	Alquídica/50 µm	–	Alquídica/50 µm	100	5 - 15
	Canteiro	St 2					5 - 15
C2 baixa	Fabricante	Sa 2 ½	Epóxi tolerante à superfície/80 µm	–	Alquídica/80 µm	160	5 -15
	Canteiro	St 3					5 -15
C3 média	Fabricante	Sa 2 ½	Epoxi tolerante à superfície/120 µm	–	Poliuretano acrílico alifático/80 µm	200	>15
C4 alta	Fabricante	Sa 2 ½	Epoxídica/100 µm	Epoxídica/100 µm	Poliuretano acrílico alifático/80 µm	280	>15
C5 muito alta-industrial	Fabricante	Sa 2 ½	Epoxídica/120 µm	Epoxídica/120 µm	Poliuretano acrílico alifático/80 µm	320	>15
C6 muito alta-marinha	Fabricante	Sa 2 ½	Epóxi rico em Zinco/75 µm	Epoxídica/165 µm	Poliuretano acrílico alifático/80 µm	320	>15

Fonte: GERDAU (2023)

Escolher um sistema de pintura devem ser observados o ambiente e sua agressividade, segundo a norma ISO 12944. Nas soluções de tintas líquidas para ambientes considerados de baixa agressividade (C1/C2) e baixa poluição, por exemplo, pinturas de tintas alquídicas e mono componentes são excelentes soluções para a proteção anticorrosiva, independentemente se o ambiente for interno ou externo.

Para a escolha do melhor sistema de pintura devem ser observados o ambiente e sua agressividade, segundo a norma ISO 12944. Então os projetos que se encontram em ambientes de atmosferas industriais e urbanas (C3/C4) necessitam de uma proteção maior. Portanto, são desenvolvidos esquemas de pintura através de tintas epóxis e poliuretanas.

Ambientes muito agressivos (C5-I/C5-M), tais como áreas industriais de alta umidade, áreas marinhas *offshore*, costeiras e de alta salinidade, requerem tintas resistentes à alta umidade e à névoa salina, as tintas em pó ricas em zinco são as mais recomendáveis para fazer um acabamento com proteção necessária contra a corrosão e as intempéries.

Araújo (2018) define o zinco da seguinte forma:

> (...) o zinco é usado com sucesso para a proteção do aço por possuir uma excelente resistência à corrosão intrínseca nos mais variados meios de exposição. Esta característica, o material é anódico em relação ao ferro, o que lhe confere a capacidade de proteger o aço também catodicamente.

O Envolvimento mecânico na proteção catódica pelas tintas ricas em zinco são idênticos àqueles envolvidos em processos de revestimento de zinco do aço-carbono por imersão a quente e aspersão térmica. A proteção do revestimento ao aço requer que ambos os metais estejam expostos a um mesmo eletrólito. Na ausência deste, a proteção do revestimento ao aço restringe-se apenas ao efeito barreira.

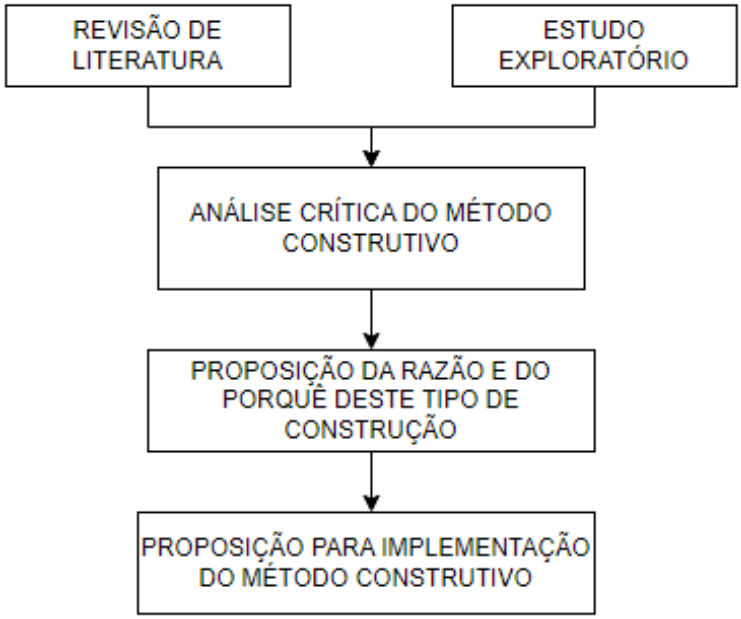
A escolha do sistema de pintura entre tintas líquidas e em pó vai depender, ainda, dos custos de produção e da capacidade da linha de pintura, já que nos produtos em pó, por exemplo, faz-se necessário o uso de estufa. (Araújo, 2018).

3 METODOLOGIA

Este capítulo objetiva a apresentação do tipo e natureza da pesquisa, bem como os procedimentos para sua realização. Primeiramente, a pesquisa elaborada tem propósito exploratório e caráter qualitativo, sendo desenvolvida por meio de estudos teóricos, envolvendo revisão de literatura nacional e internacional, assim como observações em campo. Estas envolveram visitas à fábrica de uma construtora do ramo.

O trabalho envolveu a síntese e análise do assunto, resultando no estudo dos aspectos sobre a construção modular e suas correlações, assim como no conjunto da análise crítica do método construtivo citadas nessa pesquisa. A figura 12 ilustra as etapas da pesquisa, na qual o detalhamento é apresentado a seguir.

Figura 12 - Representação gráfica da metodologia do estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4 ESTUDO DE CASO: UMA INDÚSTRIA DE CONSTRUÇÃO MODULAR

Exposição e estudo de casos enriquecem as opções de conhecimento para fundamentar o assunto tratado. O presente texto constrói e aborda a construção modular off-site diretamente de sua construção em fábrica, destacando todas as etapas para a construção de um módulo na empresa TAEC Módulos.

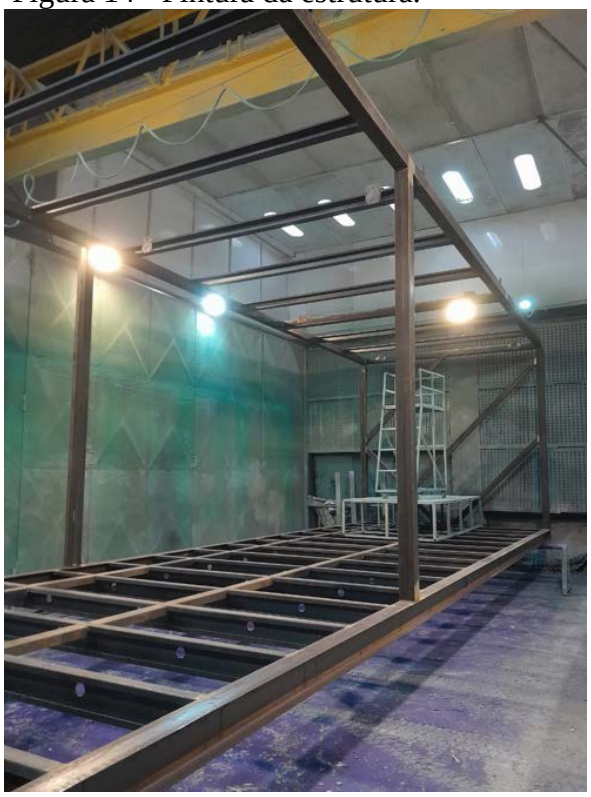
O início de toda construção modular se dá ao fato da soldagem do chassi do módulo, ou seja, soldagem da estrutura modular, conforme visualizado na Figura 13. O chassi é composto por chapas, tubos e barras que serão cortadas e dobradas de acordo com o projeto. Após essa etapa elas são soldadas para montar a estrutura do módulo.

Figura 13 - Soldagem da base do módulo.

Fonte: TAEC Módulos (2023)

Com a estrutura do módulo soldada e pronta, a próxima etapa é a pintura líquida ou em pó da estrutura (Figura 14).

Figura 14 - Pintura da estrutura.



Fonte: TAEC Módulos (2023)

Figura 15 - Parte estrutural completa e pintada.

Fonte: TAEC Módulos (2023)

Após isso, a construção do módulo avança para o assentamento do contrapiso, no qual é geralmente usado placa cimentícea com 25mm de espessura, conforme a Figura 14. O contrapiso é assentado junto a uma base preparadora que atua na redução da absorção de água do substrato criando uma película protetora. Agora está pronto para receber o piso, podendo ser ele cerâmico ou vinílico, conforme figura 17. Junto com a instalação do piso também é usado espaçador para nivelar a altura do piso e deixar simétrico o espaço do rejunte, conforme figura 16.

Figura 16 - Assentamento contrapiso.

Fonte: TAEC Módulos (2023)

Figura 17 - Colagem do piso.

Fonte: TAEC Módulos (2023)

Próxima etapa é a montagem dos painéis, onde será realizada toda a colagem e encaixe dos painéis de fechamento na estrutura, que vão compor as paredes do módulo, conforme figura 18 e figura 19. Para esses painéis é usado um sistema conhecido como “sanduiche”, pois são compostos por chapas externas, internas e no meio uma placa de poliisocianurato (PIR).

O PIR é um plástico termoendurecível tipicamente produzido como uma espuma e usado como isolamento térmico rígido. O rebite pop 20mm é usado como elemento de fixação dos painéis, sendo usado com espaçamento de 40mm. Após fixar os painéis vem a aplicação de selante pu estrutural para vedação nas bordas entre a estrutura e os painéis (juntas de dilatação).

Figura 18 - Montagem dos painéis.

Fonte: TAEC Módulos (2023)

Figura 19 - Montagem dos painéis.

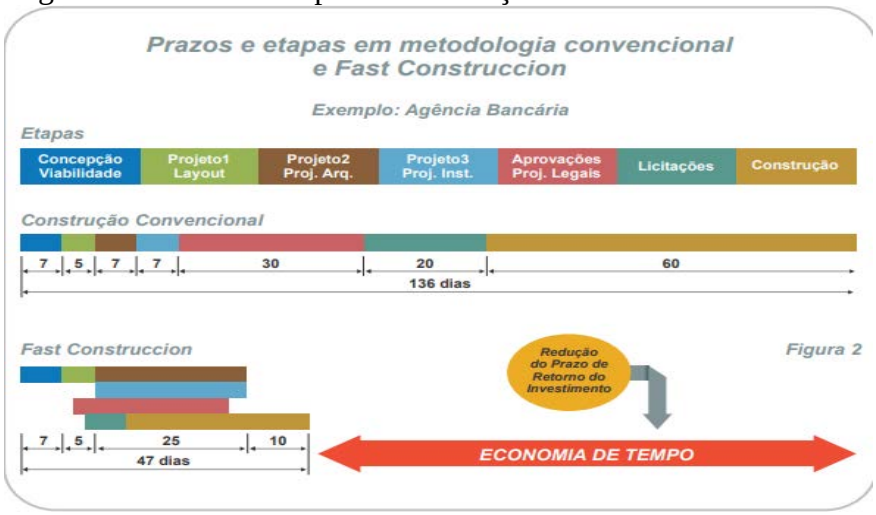
Fonte: TAEC Módulos (2023)

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

É necessário salientar que a mais notória diferença entre a construção modular e a convencional é o prazo final. O prazo da construção modular é bem menor do que uma construção no modelo convencional, como é possível analisar na Figura 20. Por esse motivo, isso também gera menores custos com mão de obra, por se tratar de menos tempo de trabalho. Estima-se que um proprietário pode ter uma redução de 10% a 20% comparado ao sistema convencional.

Além de ser 30% mais barata em relação às construções de alvenaria, muito por conta de todo material que será usado na construção é previsto no início do projeto. É consumido apenas o que foi solicitado no projeto, ou seja, o que estava planejado para a fabricação, reduzindo drasticamente perdas de materiais em pelo menos cinco vezes (WEG, 2021).

Figura 20 - Prazos e etapas da construção modular e convencional.



Fonte: Felipe Savassi (2020)

5.1 PRAZOS DE EXECUÇÃO

O período pra fechar o projeto, alinhar com o cliente, e projetar via software pelo projetista é a etapa que mais requer tempo, pois pode haver diversas ocasiões que acabam estendendo o prazo final, seja uma mudança de última hora do cliente, ou ate mesmo pela engenharia. Após isso, o fator dominante e característico da construção modular que faz a diferença entra em ação.

No momento em que as peças começam a ser produzidas para soldagem da estrutura até a finalização por completa do módulo pronto para ser enviado, leva em torno de 7 a 12 dias. Levando em consideração um módulo de 12x3 metros (36m²), para cada etapa no processo de construção, o tempo que leva aproximadamente é de:

- Soldagem da estrutura (chassi): 2 dias
- Pintura da estrutura: 2 dias
- Montagem do contrapiso e colagem do piso: 2 dias
- Montagem e fixação dos painéis: de 2 a 3 dias
- Montagem do forro: 1 dia
- Instalações hidráulicas e elétricas: 1 dia
- Selagem estrutural e selagem das esquadrias: ½ do dia
- Adesivagem e instalação da Comunicação Visual: vai variar muito dependendo da quantidade, mas leva cerca de 2 dias.

Após todas essas etapas, o módulo está pronto pra ser içado, isso é, quando ele é alocado na carreta que será o transporte onde o módulo será enviado para o seu local de destino.

Esse foi um exemplo bem prático de como esse sistema construtivo é eficiente e pode ser montado em um prazo muito menor do que a construção convencional. Claro que para projetos maiores requer mais tempo de montagem, portanto se tira a média em relação a quantidade de módulos existentes no projeto.

5.2 DIFICULDADES E VIABILIDADE DE TRANSPORTE

Em relação as dificuldades, é possível citar a adaptação das dimensões do módulo em no tocante as carretas e as leis que impõem limites de dimensões para transporte.

Portanto no começo, isso foi um problema pois dependendo do projeto e do tamanho dos módulos, acontecia de ter mais gastos com o transporte, necessitando a contratação de um maior número de carretas, sendo que podia ser evitado. Porém, nos atuais dias isso não está sendo mais um problema, pois já nas primeiras fases do projeto, junto ao cliente, essas dimensões já são discutidas e padronizadas para que após isso já estar ciente de quanto gastar com o transporte.

Outro problema já presenciado é a questão de lugares quase que inviáveis, de difícil acesso para a chegada de carretas, carregando toneladas junto a ele. Mas esse problema geralmente é alinhado e reconhecido pelo cliente, facilitando a chegar em uma solução para contornar esse problema.

Até o presente momento a referente empresa citada realiza o transporte para todo Brasil, sem qualquer exceção, seja por motivos de distância, ou de pontos de difícil acesso.

5.3 DIFICULDADES DE INSTALAÇÃO

Como já citado neste alusivo trabalho, a instalação e a adaptação do módulo ao solo que ele será instalado é uma etapa delicada, pois o módulo é montado em um solo ideal e padrão na fábrica, mas que para cada projeto, o solo de instalação final é variado e cada caso é um caso,

portanto, é detalhada e especificada como responsabilidade do cliente a preparação e fornecimento de uma fundação adequada para a empresa apenas ficar responsável pela montagem e entrega do módulo ao cliente.

A respeito da instalação da cobertura somente in loco, é raro ocorrer alguma divergência, gerando alguma dificuldade, isso devido aos vários detalhamentos que existem nas fases dos projetos, além de que a montagem é feita pelos próprios montadores da empresa, ou seja, não são montadas por terceiros. Portanto, os montadores não possuem dificuldades na hora da montagem in loco, pois já conhecem o procedimento.

A cobertura é instalada in loco por duas razões:

- Quando há mais de 1 módulo junto, portanto existe uma junção entre as coberturas, possuindo uma estruturação diferente que vai variar de acordo com o projeto
- Quando a altura do módulo, junto com a cobertura ultrapassam os 3 metros que é exigida pela lei para transporte de carretas, sendo assim, a cobertura tem que ser instalada in loco.

A cobertura é instalada na fábrica, antes do envio quando:

- Somente quando o projeto incluir apenas um módulo. Vale ressaltar que na empresa estudada pelo atual trabalho, atualmente os projetos são predominantemente mais complexos, envolvendo vários módulos, sendo assim, a instalação da cobertura in loco é mais corriqueira que instalado na fábrica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de sempre estar aprimorando sua capacidade competitiva, fazendo com que continue ativo e bem estabelecido no mercado, a construção modular off-site sempre está inovando e modernizando a construção de forma sustentável e rápida. Esse diferencial é crucial e está cada vez mais chamando a atenção das empresas que estão em busca de otimizarem seus processos, reduzirem desperdícios e a melhora da previsibilidade dos custos, e a modularidade atende perfeitamente esses quesitos. O presente estudo atingiu o esperado do que foi dissertado ao longo do trabalho, consolidando as vantagens citadas da construção modular, como sua redução no tempo para entrega.

Para que o sistema construtivo industrializado alcance seus objetivos, primeiramente alguns fatores devem ser valorizados, como definir a forma que os módulos serão produzidos, sempre buscando reduzir o tempo de produção e os custos, mas mantendo a eficiência. Para isso é necessário um sistema construtivo com uma mão de obra qualificada e o principal de todos, a padronização dos processos internos.

Por meio do estudo de caso realizado, foi possível afirmar que esse sistema construtivo é de fato inovador e sustentável, após elaborar um estudo exploratório e um estudo direto de uma fábrica, acompanhando etapa por etapa da montagem de um prjeto modular. Outro ponto que deve ser apontado pelo estudo de caso, foi a efetividade do tempo de produção, confirmando sua rapidez em relação à construção convencional.

Após toda análise feita sobre cada etapa realizada na construção, foi observado uma maior dificuldade não na parte da construção, mas sim na parte da logística. Várias empresas do ramo possuem alguns problemas em relação ao transporte do módulo, pois atualmente é realizada pelo envio de carretas, o que pode acarretar em algumas adversidades corriqueiras do sistema rodoviário.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se citar uma análise qualitativa, através de um estudo de caso direto de uma fábrica, presenciando a montagem dos módulos, pois só assim será possível compreender a rapidez e a assertividade desse tipo de construção. Outra sugestão é realizar um comparativo financeiro entre a construção modular e a construção convencional. Recomenda-se um estudo mais aprofundado em relação a pintura dos módulos em localizações costeiras, onde a salinidade deve ser levada em consideração. Por último, é de extrema importância se dedicar na logística, pois atualmente é um setor crítico na maioria das empresas desse ramo.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Como pintar estruturas metálicas e protegê-las da corrosão precoce?**.15 abr. 2018. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/revista/materias/como-pintar-estruturas-metalicas-e-protege-las-da-corrosao-precoce/17253. Acesso em: 11 set. 2023.

AMORIM, F.R. **Estudo de processos construtivos modulares do ponto de vista da sustentabilidade.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2016. Disponível em: https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2020/12/2016-Dissertacao-Processos-Modulares-pontode-vista-Sustentabilidade.pdf. Acesso em: 21 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2014. 24 p

BEKAERT, B. **Industrialização da construção civil: quais os desafios e oportunidades para o setor?** [S.l.] 13 ago. 2018. Disponível em: https://blog.belgobekaert.com.br/construcaocivil/industrializacao-da-construcao-civil-quais-os-desafios-e-oportunidades-para-o-setor/. Acesso em: 12 abr. 2023.

BRASIL AO CUBO. **Soluções construtivas ágeis**. 2023. Disponível em: https://brasilaocubo.com/. Acesso em: 22 out. 2023.

CAMPOS, A.S. O que é o Light Steel Framing. Disponível em: http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=29&Cod=85. Acesso em: 04 mai. 2023.

CMC MODULAR. **Tecnologia BIM na construção civil: conheça vantagens.** 2020. Disponível em: https://cmcmodulos.com.br/tecnologia-bim-na-construcao-civil/. Acesso em: 22 mai. 2023.

FRAME BRASIL. **Ligth Steel Frame.** 2023. Disponível em: https://framebrasil.com.br/light-steel-frame/. Acesso em: 04 maio 2023.

GARBINI, M.A.L; BRANDÃO, D.Q. Proposta de modelo para implantação de processo de projeto utilizando o conceito bim em escritórios de arquitetura. **Gestão e Tecnologia de Projetos.** São Paulo, v. 9, n. 1, p. 7-24, jan./jun. 2014. Disponível em: https://doi.org/10.11606/gtp.v9i1.89990. Acesso em: 22 mai. 2023.
GERDAU. **Catálogos e manuais**. 2022. Disponível em: https://mais.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais/. Acesso em: 03 ago. 2023.

GREVEN, H. A; BALDAUF, A.S.F. **Introdução à coordenação modular da construção civil no Brasil.** Porto Alegre: HABITARE, 2007. Disponível em: livro_construção_modular[1].pdf. Acesso em: 17 mar. 2023.

KINGSPAN ISOESTE. **Painel Isofachada**. 2023. Disponível em: https://kingspan-isoeste.com.br/paineis-isotermicos-isofachada-pir-nova/#. Acesso em: 03 ago. 2023.

LAFAETE LOCAÇÕES. **Construção modular: o que é, quais são as vantagens e exemplos práticos**. 2023. Disponível em: https://www.lafaetelocacao.com.br/artigos/construcao-modular/. Acesso em: 02 maio 2023.

LOCADORA EQUILOC. **Construção modular: o que é, benefícios, tipos, como é feita.** 2023. Disponível em: https://locadoraequiloc.com.br/blog/construcao-modular/. Acesso em: 28 abr. 2023.

MERLO, T.B.S. Gestão de projetos modulares com o auxílio da tecnologia bim. **Tecnológica.** Chapecó. v.2, n.1. 2015. Disponível em: https://uceff.edu.br/revista/index.php/revista/article/view/38/36. Acesso em: 22 mai. 2023.

METROFORM. **Construção modular: como funciona esse conceito.** 2022. Disponível em: https://metroform.com.br/blog/construcao-modular-conceito/. Acesso em: 22 mai. 2023.

OLIVEIRA, P.A. **A era da modularidade**. 11 mar. 2021. Disponível em: https://blogdaliga.com.br/a-era-da-modularidade/. Acesso em: 15 abr. 2023.

PLANTA DE CASAS. **Vantagens e desvantagens de uma casa pré-fabricada.** 2019. Disponível em: https://plantasdecasas.com/vantagens-e-desvantagens-da-casa-pre-fabricada/. Acesso em: 03 ago.2023.

RODRIGUES, H; FERREIRA JUNIOR, E. **Construção Offsite: Um estudo sobre o Método Modular de Construção.** *Offsite construction: A study on the Modular Construction Method.*. Disponível em: https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3314/1/Constru%C3%A7%C3%A3o%20Offsite%20%20Um%20estudo%20sobre%20o%20M%C3%A9todo%20Modular%20de%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20-%20RAG.pdf. Acesso em: 21 mar. 2023.

SANTIAGO, A.K. **O uso do sistema ligth steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2008. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2248/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_UsoSistemaLightSteel.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.

SAVASSI, F. Construção modular – a estrutura do módulo. In: **Gerdau**. Disponível em: https://mais.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais/artigos/. Acesso em: 22 set. 2023.

SAVASSI, F. Construção modular – conceitos. In: **Gerdau.** Disponível em: https://mais.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais/artigos/. Acesso em: 23 set. 2023.

SETPAR. **Construção modular: o que é, como funciona e benefícios.** 2022. Disponível em: https://www.setpar.com.br/blog/construcao-modular/. Acesso em: 30 abr. 2023.

SILVEIRA, A.A. **Construção offsite no Brasil: Desafios e revisão de custos.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/projpoli10035354.pdf. Acesso em: 05 mai. 2023.

SOUZA, M.S.S.R. **Estudo comparativo de viabilidade econômica para construção de residência unifamiliar: estudo de caso para alvenaria convencional x light steel frame.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro universitário Maria Milza. Governador Mangabeira. 2021. Disponível em: http://famamportal.com.br:8082/jspui/bitstream/123456789/2477/1/ENGENHARIA%20CIVIL%20-%20MARIA%20S%c3%8dLVIA%20SANTOS%20RESSURREI%c3%87%c3%83O%20SOUZA.pdf. Acesso em: 29 mai. 2023.

TAEC MÓDULOS. **Soluções inteligentes para construção modular personalizada**. 2023. Disponível em: https://taecmodulos.com.br/. Acesso em: 07 out. 2023.

TECNO FRAME – **Tecnologia em Steel Frame. 7 vantagens da construção modular.** 2020. Disponível em: https://tecnoframe.com.br/7-vantagens-da-construcao-modular/. Acesso em: 03 mai. 2023.

VIEIRA, S. Construção modular offsite, novidade na construção civil. **Amplus Construtora**, 2021. Disponível em: https://www.amplusconstrutora.com.br/sem-categoria/construcao-modular-offsite-novidade-na-construcao-civil/. Acesso em: 27 mar. 2023.

VUOLO, A.S; DUTRA, J. **Industrialização na construção civil: estudo de caso para construções modulares voltadas para edificações emergenciais.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Sul de Santa Catarina. Santa Catarina. 2021. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/13578/9/INDUSTRIALIZA%C3%87%C3%83O%20NA%20CONSTRU%C3%87%C3%83O%20CIVIL%20ESTUDO%20DE%20CASO%20PARA.pdf. Acesso em: 11 abr. 2023.

WEG. **Entenda como funciona a construção modular.** 2021. Disponível em: https://www.weg.net/tomadas/blog/arquitetura/entenda-como-funciona-a-construcao-modular/#:~:text=A%20opera%C3%A7%C3%A3o%20para%20construir%20uma,estava%20planejado%20para%20sua%20fabrica%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 30 ago. 2023.