

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

Diego Camargo Barbosa  
Enola Albuquerque Gomes  
Hiago dos Santos Fermino  
Isabella Eberhardt Morais  
Jênnifer Ferreira Simões  
Victor Murzin Vieira

CONSTRUÇÃO MODULAR EM ESTRUTURA METÁLICA COM  
ADEQUAÇÃO AO BIM 10D

São Paulo

2021

Diego Camargo Barbosa  
Enola Albuquerque Gomes  
Hiago dos Santos Fermino  
Isabella Eberhardt Morais  
Jênnifer Ferreira Simões  
Victor Murzin Vieira

CONSTRUÇÃO MODULAR EM ESTRUTURA METÁLICA COM  
ADEQUAÇÃO AO BIM 10D

Monografia apresentada à  
Universidade São Judas Tadeu,  
como requisito parcial para a  
obtenção do título de Engenheiro  
Civil.

Orientador: Willyams Bezerra de  
Mello

São Paulo

2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Deus pelas bênçãos, saúde e força para superar as dificuldades enfrentadas.

À nossa família pelo apoio durante o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Willyams Bezerra de Mello por ter aceitado ser nosso orientador e ter contribuído com seu conhecimento.

Ao professor Dimas Alan Strauss Rambo pelo apoio e orientação durante a nossa trajetória.

## RESUMO

A alta demanda que o setor da construção civil enfrenta requer maior velocidade de entrega, dado que a competitividade e a exigência por mais eficiência são crescentes no mercado. Novas tecnologias facilitam o cotidiano e elevam a produtividade dos profissionais da indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC), sendo que, na circunstância em que novidades surgem a todo instante, a utilização desses recursos abre uma série de perspectivas para se modernizar. Em resposta à necessidade de inovação, a adoção da metodologia BIM associada à modulação potencializam a industrialização da construção por meio da eficaz gestão promovida por estes métodos. Neste contexto, centrado na revisão bibliográfica realizada mediante análise da literatura, o estudo deste trabalho pretende demonstrar os conceitos e funcionalidades da construção modular em estruturas metálicas e do modelo BIM, que em conjunto, otimizam os processos e resultam em assertividade em prazos e alto nível de sustentabilidade ocasionados pela rapidez e racionalização dos materiais que a fabricação e montagem industrial oferece, além de reduzir os custos em virtude do maior controle e gestão da informação em todo o ciclo de vida do projeto gerados pela interoperabilidade do modelo BIM. A experiência adquirida no desenvolvimento do presente trabalho permitiu entender o futuro da engenharia e uma enorme transformação na área da construção civil, que agrega positivamente o setor imobiliário e industrial, o qual atualmente necessita de aperfeiçoamento da qualidade e velocidade na entrega do produto final.

**Palavras-chave:** Construção Modular; Estruturas Metálicas; *Building Information Modelling* (BIM);

## **ABSTRACT**

The construction sector is facing a high demand that requires an increase in project speed, as competitiveness and the demand for more efficiency are growing every time in the market. New technologies make daily easier and increase the productivity of professionals in the architecture, engineering and construction industry, and, as new developments surges all the time, the use of these resources opens up a miscellaneous of perspectives for modernization. Due to a need for innovation, the adoption of the BIM methodology associated with Modulation enhances the industrialization of civil construction through the effective management promoted by these methods. In this context, focused on the literature review performed out through literature analysis, this work aims to demonstrate the concepts and functionalities of modular construction in metallic structures with support of BIM tool, which together optimize processes that results in high-level timely assertiveness and sustainability caused by the speed and rationalization of materials that manufacturing and industrial assembly offers, further, the methode can work reducing costs due to greater control and management of information throughout the project life cycle generated by the interoperability of the BIM model. The experience acquired in the development of this work allowed us to understand the future of engineering and a great transformation in the civil construction, which positively aggregates to the civil and industrial sector, which currently needs to improve the quality and project speed in the realization of the final product.

**Keywords:** Modular Construction; Metallic Structures; Building Information Modelling (BIM).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Içamento de um módulo pré-fabricado.....	13
Figura 2 - Encaixe de módulos.....	14
Figura 3 - Palácio de Cristal, em Londres. Foi destruído em 1936 após um grande incêndio.	15
Figura 4 - Fabricação de módulo antes de ser instalado no local da obra. ....	16
Figura 5 - Sistema Referencial utilizado na construção modular.....	16
Figura 6 - Malhas M, 3M e 24M. ....	17
Figura 7 - Medida modular, medida nominal, junta nominal e ajuste modular. ....	18
Figura 8 - Logística de um canteiro de obras antes do encaixe dos módulos.....	19
Figura 9 - Ponte de Coalbrookdale sobre o rio Severn na Inglaterra (1979).....	20
Figura 10 – Tipos de Proteção do Aço Contra o Fogo. ....	23
Figura 11 - Construção de edifício em estrutura metálica.....	23
Figura 12 - BIM presente ao longo do ciclo de vida de um empreendimento. ....	25
Figura 13 – Exemplos de projetos desenvolvidos com a utilização de BIM.....	26
Figura 14 - Benefícios BIM (em porcentagem) mencionados pelas empresas como um dos três mais importantes para a sua organização. ....	27
Figura 15 - Verificação de interferências com a ferramenta Clash Detective através do software Navisworks.....	28
Figura 16 - Curva de MacLeamy.....	28
Figura 17 - Intercâmbio de informações proporcionado com o modelo único. ....	31
Figura 18 - Níveis de desenvolvimento (LOD) do BIM. ....	34
Figura 19 - Dimensões do BIM. ....	36
Figura 20 - Representação do erro construtivo executado em obra (a); Representação da correção do modelo digital (b); Representação da obra corrigida (c). ....	39
Figura 21 - Elementos de fundação, vigas, lajes e paredes do projeto de execução. ....	39
Figura 22 - Elaboração do diagrama de Gantt.....	40
Figura 23 - Simulação 4D através do Navisworks.....	40
Figura 24 - Comparação entre as quantidades de materiais obtidas pelo método tradicional e através do Revit. ....	41

## LISTA DE ABREVIACÕES

2D – Bidimensional

3D – Tridimensional

4D – Inclusão do planejamento do tempo ao modelo tridimensional

5D – Inclusão da orçamentação ao modelo tridimensional

6D – Inclusão da sustentabilidade no modelo tridimensional

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção Civil

AIA - *American Institute of Architects*

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer-Aided Design*

CIB - *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*

IFC – *Industry Foundation Classes*

LOD - *Level of Development*

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1. Justificativa .....	10
1.2. Objetivos .....	11
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>13</b>
3.1. Construção Modular.....	13
3.1.1. História da Construção Modular .....	14
3.1.2. Implantação da Construção Modular.....	15
3.1.3. Construção Modular no Brasil.....	18
3.1.4. Construção Modular na Pandemia.....	19
3.2. Estruturas Metálicas.....	20
3.2.1. História – Construção em Aço.....	20
3.2.2. Características do Aço .....	21
3.2.3. Vantagens do Aço.....	23
3.2.4. Desvantagens do Aço .....	24
3.3. Tecnologia BIM – <i>Building Information Modeling</i> .....	24
3.3.1. Definição.....	24
3.3.2. Benefícios e Vantagens .....	26
3.3.3. Desafios e Desvantagens.....	29
3.3.4. Interoperabilidade.....	30
3.3.5. IFC ( <i>Industry Foundation Classes</i> ) .....	32
3.3.6. Níveis de Desenvolvimento ( <i>Level of Development - LOD</i> ) .....	32
3.3.7. Dimensões BIM .....	34
3.4. Construção Industrializada com Adequação ao BIM .....	36
3.4.1. Estudos Correlatos da Tecnologia BIM 4D e 5D .....	38
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>44</b>
<b>Referências .....</b>	<b>46</b>

# 1. INTRODUÇÃO

A construção modular, embora seja uma novidade no ramo da construção civil, surgiu há algumas décadas entre a Primeira e a Segunda Guerra Mundial como uma solução rápida e de custos reduzidos para auxiliar na reconstrução de países que foram destruídos pela guerra, sobretudo a Alemanha (BADAULF, 2004). Esse tipo de construção baseia-se em um contexto extremamente fora do convencional, realizada a partir do encaixe de módulos sobrepostos pré-fabricados em locais distintos de sua implantação, que são transportados e agrupados no canteiro com o intuito de construir uma edificação por completo.

A modulação executada através de sistemas estruturados em aço contribuem para a industrialização, uma vez que permitem a padronização dos processos construtivos, proporcionando rapidez de execução, redução de desperdício e aumento da produtividade, além de possibilitar a obtenção de um produto racionalizado (CAIADO, 2005). Conforme Silva Filho *et al.* (2019), tal padronização assegura levantamentos assertivos e consequentemente, custos atrativos em comparação às construções tradicionais, visto que os materiais são definidos com maior precisão.

O modelo BIM (“*Building Information Modeling*”), como resultado da construção industrializada – BIM 10D, é definido como um sistema de criação de modelos virtuais que associa o design e a operação a ser arquitetada, reunindo elementos de cada componente de todos os projetos com tecnologia em um processo otimizado a fim de concentrá-los em um único local. Dessa maneira, o acesso às informações torna explícito o panorama completo do início ao final da obra, sendo possível a constatação de conflitos percebidos em como cada projeto se alinha ou interfere com o outro.

Apesar da uniformização gerada pela modulação, a aplicação do BIM permite que as incertezas sejam diminuídas, contribuindo para a qualidade final em virtude da elaboração em formato virtual antes mesmo da realização do físico, intensificando o seu tempo de produção e reduzindo os custos, além de contribuir à sustentabilidade na redução de resíduos que são gerados na construção convencional.

É importante destacar que no Brasil, o déficit habitacional está presente em diversas regiões. No entanto, a modulação não é habitualmente empregada nas construções, apesar da existência de empresas neste ramo. Portanto, este método pode servir como uma solução para este problema e até mesmo para a reconstrução de cidades ou regiões que foram devastadas por

fenômenos naturais ou tragédias, uma vez que o modelo construtivo permite rapidez e encurtamento no processo de construção (SILVA FILHO *et al.*, 2019).

Baseando-se nessa perspectiva, o estudo visa demonstrar os benefícios e inovações que a construção modular juntamente com a adequação do BIM 10D traz ao setor da construção civil na elaboração e execução de projetos, visto a necessidade de modernização dos métodos construtivos em termos de tecnologia, que garantam obras mais rápidas, limpas e seguras.

### **1.1. Justificativa**

Com a alta demanda que a área da construção civil vem enfrentando, a necessidade de desenvolvimento de novos métodos para uma obra mais rápida, econômica e sustentável torna-se indispensável. A modulação é uma técnica que atende a estes requisitos.

A estrutura metálica padroniza as etapas e materiais a serem utilizados a partir do melhor dimensionamento da estrutura para que seja feito o transporte e acoplagem de maneira segura a preceito patologias após o processo de montagem. A geração de resíduos, dessa forma, é diminuída com a construção limpa que o método oferece em seus processos colaborando à sustentabilidade se comparada à construção convencional.

O maior monitoramento e acompanhamento ocasionado pela construção em fábricas com maquinários modernos mitiga os erros nas etapas de execução, o que contribui para o aumento da qualidade final, mediante a sequência padronizada de produção e utilização de mão de obra qualificada e devidamente treinada. Somado a isto, os atrasos no cronograma da obra motivados pelas condições meteorológicas são evitados com o desenvolvimento off-site da edificação.

Além disso, a aplicação do BIM nesse método construtivo auxilia para que não aconteça falta de compatibilização entre projetos, posto que a interoperabilidade atua na centralização dos elementos que constituem um projeto por meio da integração e melhor comunicação entre a equipe envolvida.

Neste contexto, este estudo é válido pois com a união desses fatores, a construção modular torna-se algo competitivo em relação ao mercado. Além de obter obras em prazos reduzidos dentro dos padrões de qualidade e com alto nível de sustentabilidade, pode ser utilizado para construções emergenciais, como por exemplo, em hospitais para tratamento ao Covid-19.

## 1.2. Objetivos

O objetivo geral do trabalho é apresentar a industrialização alcançada com a aplicação do BIM 10D à construção modular em estruturas metálicas. Para cumprir o objetivo geral, foram definidos os objetivos específicos descritos a seguir:

- I. Compreender os conceitos da construção modular e do BIM.
- II. Apresentar a construção modular como uma alternativa de método construtivo para o setor da construção civil.
- III. Descrever as características e vantagens da estrutura metálica.
- IV. Identificar os benefícios e os desafios a serem superados para a implementação do BIM e retratar os níveis de detalhamento e os procedimentos das dimensões da plataforma.
- V. Alinhar a comunicação fundamental à gestão do projeto de maneira integrada entre os profissionais que atuam no ciclo de vida de um edifício – interoperabilidade.

## **2. METODOLOGIA**

A metodologia admitida para esta pesquisa consistiu na realização de revisão bibliográfica aprofundando conceitos teóricos sobre a construção modular executada em estruturas metálicas e sobre a plataforma BIM. Fundamentado na revisão da literatura e nos principais tópicos identificados, coletou-se dados a partir de artigos científicos, teses e livros que abrangiam os temas em pauta, seguindo os preceitos de uma pesquisa descritiva.

Com isso, foram desempenhadas leituras de caráter exploratório e seletivo. Contendo diversos artigos científicos e teses na biblioteca acadêmica da revisão, leu-se todo o material apurado e averiguou-se a relevância do conteúdo para a pesquisa. Sucessivamente, aprofundou-se a temática para os tópicos que realmente interessam, registrando as referências retiradas das fontes estudadas.

Por fim, concluída toda a análise crítica dos dados, a última fase deste estudo corresponde à conciliação entre os temas construção modular, estruturas metálicas e BIM, a fim de que esta possibilitasse obter soluções que contribuíssem para a inovação no setor da construção civil.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1. Construção Modular

A construção civil é um dos setores mais importantes da economia de um país em desenvolvimento como o Brasil. O setor no país, todavia, é marcado pela aplicação de processos ultrapassados com custos elevados e taxa alta de desperdício, além do baixo desempenho pontual em vários aspectos (JORGE; RAVANCHE, 2021).

É notório que o método de construção convencional (lajes, pilares e vigas de concreto, alvenaria, etc.) não permite um controle assertivo de qualidade e desempenho, visto que são processos "artesaniais". Ao pensar em uma fábrica, por exemplo, logo imagina-se locais onde se produzem elementos padronizados como carros, calçados, peças em geral, etc. Teoricamente, dessa forma, uma fábrica permite que se desenvolvam produtos com nível alto de qualidade, extremamente controlados e com baixos índices de falha.

A construção civil gera aproximadamente 40% do volume total de resíduos sólidos ao passo que a produção de materiais de construção utiliza cerca de 10% do fornecimento de energia global (GROSSMAN, 2013). Dessa forma, o conceito da construção modular vem justamente para quebrar o paradigma tradicional da construção civil, setor que carece de inovação e técnicas de melhorias para atender a demanda do mercado atual e usufruir dos benefícios de uma construção industrializada, tendo em vista que é executada por meio de módulos, como blocos pré-fabricados, que são içados para encaixar e dar forma à edificação.

**Figura 1** - Içamento de um módulo pré-fabricado.



Fonte: LinkedIn Brasil ao Cubo, 2021.

**Figura 2** - Encaixe de módulos.



Fonte: LinkedIn Brasil ao Cubo, 2021.

Segundo Cruz (2007), a ideia de construção modular, no entanto, não é uma novidade, apenas as melhorias e os avanços da tecnologia que são vistos com o passar dos anos, como a utilização de novos materiais e processos que aceleraram a entrega de projetos. Alguns autores como Filho (2007), acreditam que no Egito, as construções das pirâmides tinham uma relação entre os blocos e as próprias pirâmides. Sendo assim, de acordo com Bregatto (2008), “o módulo utilizado pelos Egípcios estava relacionado muito mais com as dimensões necessárias das pedras para a construção da pirâmide, do que com a capacidade que os trabalhadores tinham para transportá-las”.

### **3.1.1. História da Construção Modular**

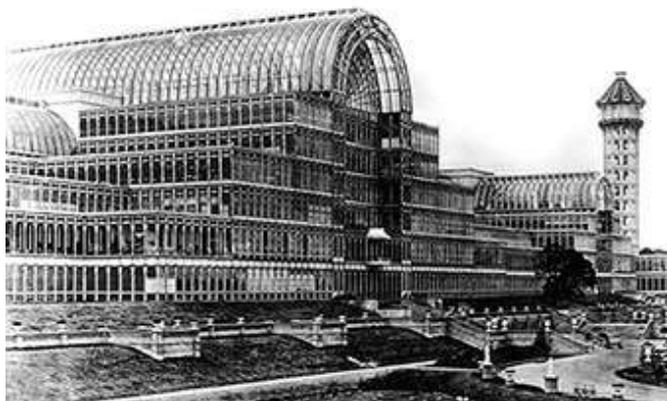
A construção modular tem indícios de início do conceito na cultura Egípcia, onde segundo Filho (2007), a civilização Egípcia construía de acordo com uma relação entre os blocos e as pirâmides, onde se determinava a dimensão das pedras que melhor atendia a construção. Já os romanos, de acordo com Baldauf (2004), utilizavam um conjunto de medidas padronizados por duas dimensões (tijolos) e esquematizado em um quadriculado, contendo em sua base o passus (múltiplo de pés).

Posteriormente, os japoneses iniciaram o conceito tatame, que consiste em um módulo retangular com proporção 1:2 (aproximadamente  $\frac{1}{2} \times 1$  ken), utilizando a base ken (dimensão), normalizada no país (BALDAUF, 2004).

O primeiro registro de construção modular ocorreu entre 1850 e 1851, em Londres. Conhecido como o Palácio de Cristal (Figura 3), projetado por Joseph Paxton, a obra foi realizada para a exposição universal de Londres, que tinha como um dos requisitos do comitê

que o projeto contemplasse a estrutura desmontável. Assim, foi confeccionado em aço e vidro em um prazo de 9 meses, com uma área de 71.500 m<sup>2</sup> (ROSSO, 1976).

**Figura 3** - Palácio de Cristal, em Londres. Foi destruído em 1936 após um grande incêndio.



Fonte: Special Events, 2021.

A disseminação do conceito e da aplicação da construção de casas e edifícios pré-fabricados se deu nos Estados Unidos (RAMOS, 2007). Nesta época, eram habitações confeccionadas em estrutura de madeira e o projeto compunha diversos kits com todos os elementos necessários à montagem e desta forma eram fabricados (GAFFEY, *et al.*, 2006).

Com a evolução da industrialização mundial, alguns arquitetos como Walter Gropius e Le Corbusier iniciaram o estudo de projetos no conceito de construção modular e elementos pré-fabricados (RAMOS, 2007). Le Corbusier chegou a declarar que as habitações necessitavam de uma produção industrializada, em fábricas, semelhante a produção de automóveis (BALDAUF, 2004).

O bairro de Weissenhof e a casa ampliável foram projetos do arquiteto Walter Gropius, em 1927 e 1932, respectivamente. Partindo do princípio modular, estes projetos foram desenvolvidos pensando-se na utilização dos elementos pré-fabricados com estrutura metálica e vedação em painéis. Por sua vez, a casa permitia a ampliação e/ou redução por adição e/ou remoção de elementos modulares (CASTELO, 2008).

### **3.1.2. Implantação da Construção Modular**

O conceito vem da racionalização do processo inteiro, desde o projeto até a execução. De forma mais robótica, a confecção inicial do projeto não permite muitas variações. Após a definição do projeto, o sistema é produzido em fábrica com os módulos e posteriormente montados no canteiro.

**Figura 4** - Fabricação de módulo antes de ser instalado no local da obra.

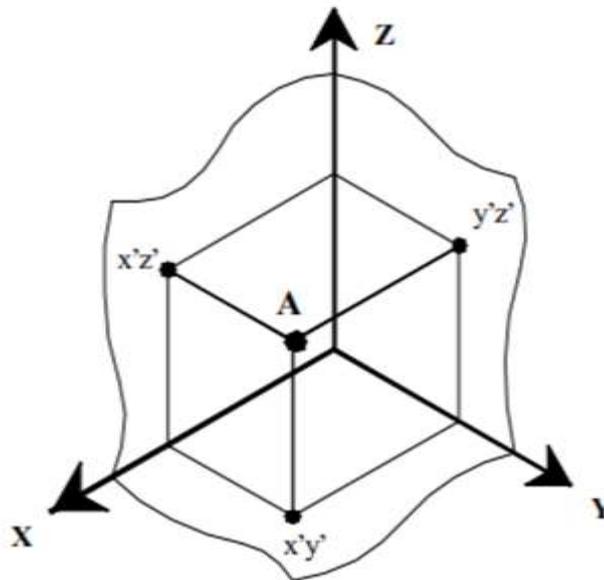


Fonte: LinkedIn Brasil ao Cubo, 2021.

### 3.1.2.1. Sistema Referencial

Os sistemas referenciais são sistemas geométricos para compatibilização construtiva. Sendo formado por pontos, linhas e planos, neste sistema pode-se determinar um plano horizontal de referência, formado por dois eixos cartesianos ortogonais  $x$  e  $y$  e dois planos verticais de referência, definidos pelos eixos cartesianos ortogonais  $x$ ,  $y$  e  $z$  (ROSSO, 1976).

**Figura 5** - Sistema Referencial utilizado na construção modular.

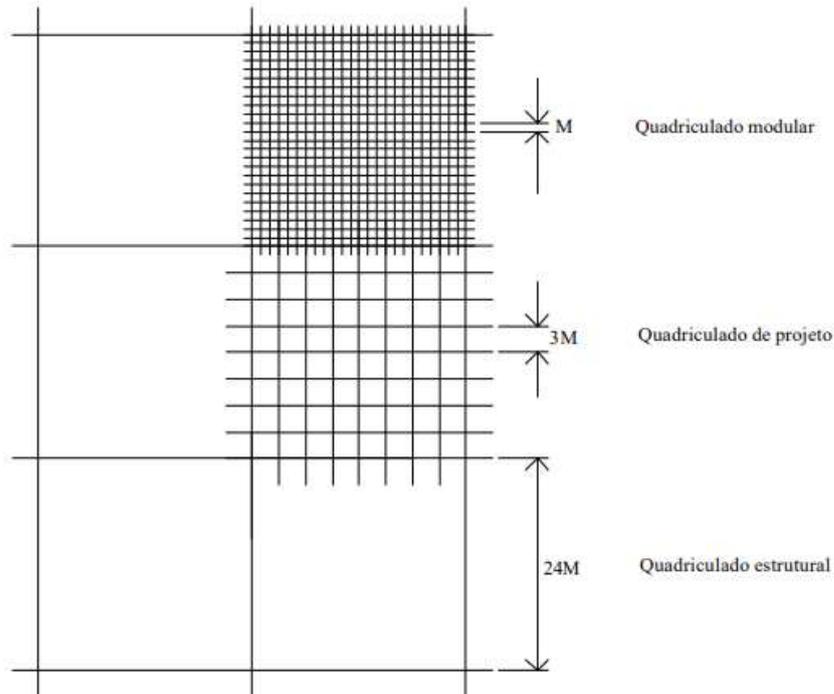


Fonte: Baldauf, 2004.

### 3.1.2.2. Malha Modular

A malha modular é a projeção do espaço de referência sobre um plano ortogonal. (ABNT, 1977). A Figura 6 demonstra três tipos de malhas que podem ser utilizadas em projeto: M, 3M e 24M.

**Figura 6** - Malhas M, 3M e 24M.



Fonte: Baldauf, 2004.

### 3.1.2.3. Sistema Modular de Medidas

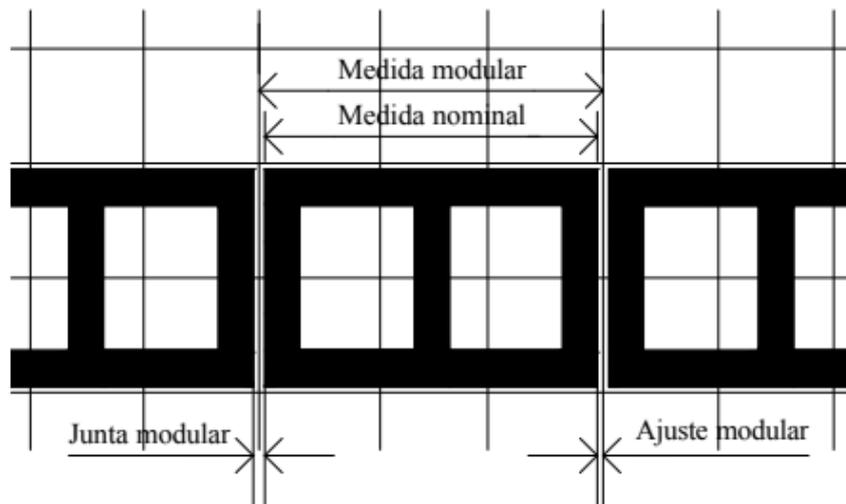
O módulo é o sistema modular de medidas neste sistema. Este constitui o espaço entre os diferentes planos após determinação do sistema referencial. Segundo Mascaró (1976), o sistema modular deve conter:

- a) Medidas funcionais;
- b) Ser aditiva em si;
- c) Intercambialidade múltiplas e submúltiplas.

### 3.1.2.4. Sistema de Ajustes e Tolerância

Apesar de conter material pré-fabricado, as tolerâncias devem ser consideradas pois a confecção é realizada in loco, assim como as variações térmicas e acústicas. O sistema de ajuste modular compreende a folga do perímetro de um módulo, a fim de absorver as tolerâncias de fabricação e a sua instalação (LUCINI, 2001).

**Figura 7** - Medida modular, medida nominal, junta nominal e ajuste modular.



Fonte: Baldauf, 2004.

### 3.1.3. Construção Modular no Brasil

Com o intuito de descobrir novas técnicas construtivas, otimizando a produtividade, racionalização e a redução de desperdícios, a construção modular é uma opção eficiente e alternativa para o setor da construção civil (SILVA FILHO, 2019). Com o conceito de sustentabilidade cada vez mais relevante atualmente, a modulação tem como uma das principais vantagens a redução de resíduos, mantendo o canteiro mais limpo e organizado, além da velocidade em execução.

Apesar de não ser um conceito atual, no Brasil a tecnologia da construção modular não tem muitas empresas no ramo como na Europa e Japão, sendo que no atual cenário é necessário esse avanço de produtividade e qualidade, visto que a construção contém maior controle (SILVA FILHO, 2019). Tal tecnologia, assim, auxiliaria na execução de projetos emergenciais no país, suprimindo a carência habitacional de áreas reclusas.

Empresas voltadas à construção modular estão ganhando espaço não apenas para obras emergências, mas também devido à redução de ciclos cada vez mais exigidas. Sendo assim, a redução de prazo se torna extremamente atraente para possíveis investidores, contendo também em seu escopo a logística de obra e redução de resíduos outras vantagens do sistema modular.

**Figura 8** - Logística de um canteiro de obras antes do encaixe dos módulos.



Fonte: LinkedIn Brasil ao Cubo, 2021.

#### **3.1.4. Construção Modular na Pandemia**

No período da pandemia, teve-se a representatividade de empresas brasileiras para atender a demanda exigida com a construção modular. A empresa Brasil ao Cubo, por exemplo, executou obras hospitalares para auxiliar no combate ao Covid-19, como o Hospital da Independência em Porto Alegre, executado em 28 dias e a expansão do Hospital Municipal M'Boi Mirim, com prazo de 33 dias, sendo ambas as obras no ano de 2020 só realizadas neste prazo reduzido devido o processo construtivo ser muito mais veloz do que o habitual da construção civil (BRASIL AO CUBO, 2021).

Com o avanço e a proliferação do vírus, viu-se a necessidade de aumento de reforços hospitalares, com o número de pacientes se tornando maior que o número de leitos disponível, e então, alguns países utilizaram da tecnologia da construção modular para melhor atender a população. O primeiro exemplo do caso foi na China em Janeiro de 2020, com os Hospitais de Huoshenshan e Leishenshan, com a execução de 1.000 leitos em 10 dias. Posteriormente o México anunciou os Hospitais da CEMEX, que consistiu em hospitais móveis para atender a população no período crítico, localizados em Monterrey, Nuevo León, Ciudad Juárez, Chihuahua, Culiacán, Sinaloa, Fresnillo, Zacatecas, Tlalnepantla, Estado do México e Puebla, com obras realizadas no prazo de 15 dias. A Inglaterra também utilizou o método no Hospital Nightingale do NHS, Birmingham, onde foram entregues 800 leitos em 15 dias e mais 400 leitos 15 dias depois.

## 3.2. Estruturas Metálicas

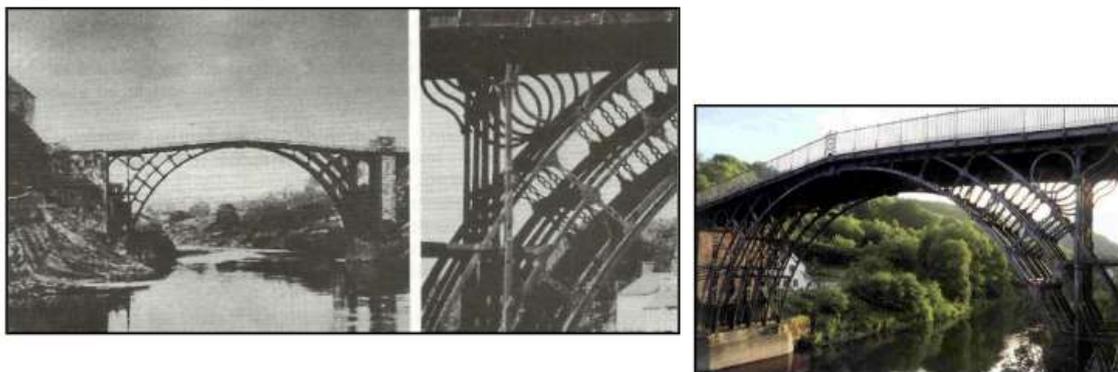
### 3.2.1. História – Construção em Aço

Inicialmente, aproximadamente 6 mil anos a.c., o ferro era um material considerado grandioso devido à sua escassez, onde priorizava-se o seu uso apenas para fins militares, por exemplo. Em meados do século XIX, quando surgiu a industrialização, o ferro começou a ser mais utilizado em processos industriais (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

O aço atualmente utilizado na construção civil com mais frequência demorou para ganhar força pelo fato de que para a sua produção é necessário ter altas temperaturas, impactando significativamente o custo de fabricação. Pode-se encontrar diferentes tipos de aço no mercado, sendo que o que difere é sua forma, tamanho, uniformidade e principalmente sua composição química, a qual pode ser alterada em função da utilidade do aço como produto final (FERRAZ, 2003).

Segundo Bellei, Pinho F. e Pinho M. (2008), a ponte sobre o Rio Severn (Figura 9), na Inglaterra, foi a primeira obra mais importante construída em ferro, sendo uma ponte com um vão simples de 42 m, executada por elementos do ferro fundido e que existe até hoje.

**Figura 9** - Ponte de Coalbrookdale sobre o rio Severn na Inglaterra (1979).



Fonte: Borges, 2016.

No Brasil, o aço começou a aparecer pelas dificuldades na importação do material durante a Primeira Guerra Mundial. Em 1940 surgiu a criação da indústria siderúrgica com a finalidade de produção de chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas. A partir deste momento, começaram a entrar no mercado diversas usinas de produção de aço, e assim, no Brasil, que até a década de 70 somente importava, começou-se a exportar (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

### 3.2.2. Características do Aço

A estrutura metálica é produzida através do aço e seus componentes: carbono, enxofre, silício, cobre, zinco, cromo e níquel. O carbono é o principal componente existente na estrutura e quanto maior seu teor, maior a resistência (KIENERT; DE CHUECA, 1966).

De acordo com Bellei e Bellei (2011), um sistema estrutural de aço pode ser definido por variadas características, dentre elas: tipo de aço, tipo de perfil, tipos de proteção contra a corrosão, tipos de proteção contra incêndio, durabilidade e esquema de transporte e montagem. Os tipos de aço estruturais estão ligados à sua resistência mecânica, resistência à corrosão, ductibilidade, entre outras propriedades. O desempenho de um perfil estrutural depende do comportamento do aço, como sua resistência, processo de fabricação, forma, prazo de entrega, acabamento superficial, dentre diversas características.

Dessa forma, para utilização do aço nos projetos, é importante conhecer as suas propriedades para entender seu comportamento e encontrar o que melhor se adequa à necessidade de projeto (FERRAZ, 2003):

- a) Elasticidade: Após receber uma força externa, o material tem a capacidade de retornar ao seu estado natural.
- b) Plasticidade: Propriedade que traz reações inversas a elasticidade. Após receber a força externa, ele não tem capacidade de retornar ao seu estado original.
- c) Ductilidade: Propriedade de grande importância, sendo que ao receber carga, apresenta-se deformação no material antes de seu rompimento.
- d) Fragilidade: É contrária à ductilidade, ou seja, ao receber carga o material se rompe de forma brusca, sem aviso prévio.
- e) Resiliência: Toda energia mecânica recebida é absorvida em energia elástica.
- f) Tenacidade: É toda a energia plástica e elástica absorvida pelo material até sua ruptura.
- g) Fluência: Após o material receber carga constante e sofrer deformação elástica, é visualizado pontos de tensão ao redor do grão.
- h) Fadiga: São esforços repetidos que provocam a ruptura frágil do material.

- i) Dureza: Resistência da superfície que suporta a fixação de uma outra peça de maior dureza.

O tratamento térmico do aço também possui grande relevância e importância, e tem como objetivo aumentar ou diminuir a dureza, aumentar a resistência mecânica, dar maior resistência ao desgaste e corrosão, alterar suas características elétricas e magnéticas e aperfeiçoar a ductilidade, a trabalhabilidade e propriedades de corte. Há vários tipos de tratamento térmico para o aço, caracterizados em diferentes funcionalidades (TSCHIPTSCHIN, 2010):

- a) Recozimento: O objetivo desse tratamento é diminuir a dureza do aço, aumentando sua ductilidade e usinabilidade, controlar seu tamanho do grão, alterar propriedades mecânicas e remover tensões. Essa etapa é feita com a velocidade de resfriamento lenta, em temperatura 50°C acima do limite inferior da zona crítica.
- b) Normalização: Processo similar ao recozimento, porém a velocidade de resfriamento posterior é menos lenta, feito de forma natural após retirada do forno, o aquecimento do aço é feito até 60° C acima do limite superior da zona crítica. Com o objetivo de refinar o grão, esse refino apresenta maior tenacidade e homogeneidade, visando reduzir empenamentos.
- c) Têmpera: Tratamento que tem como objetivo o endurecimento do aço tornando uma estrutura martensítica, reduzindo a maleabilidade e o aparecimento de tensões internas. De forma brusca, o resfriamento é feito com a utilização de água, óleo ou em têmperas de composição química após o aquecimento de até 50 °C acima da temperatura crítica.

Além disso, existem normas para utilização do aço em relação ao tempo de resistência ao fogo e assim, alguns elementos estruturais dependem de revestimentos protetores para alcançar a resistência necessária do aço. A Figura 10 representa os tipos de proteção de uma estrutura metálica contra fogo.

**Figura 10** – Tipos de Proteção do Aço Contra o Fogo.

Tipo de proteção	Base	Custo	Características
Argamassa Projetada	Gesso e fibras	baixo	Aplicação rápida Baixo custo Cobertura de detalhes complexos Não requer preparo superficial Aparência desagradável
Semi-rígidas ou rígidas	Lã de rocha	Médio/alto	Boa aparência Fixação à seco Espessura garantida Não requer preparo superficial Custo pode ser elevado Lento para fixação

Fonte: Bellei; Bellei, 2011.

### 3.2.3. Vantagens do Aço

A sua definição está relacionada principalmente nas vantagens oferecidas em relação ao concreto armado, sendo elas: alta resistência, material homogêneo, substituição das peças com facilidade, ágil execução, fabricação off-site e redução de gastos com limpeza da obra (BELLEI; PINHO; PINHO, 2008).

Em relação à mão-de-obra, no método tradicional utiliza-se um maior número de funcionários que podem ser submetidos a acidentes durante o processo de execução, no entanto, no método da construção modular há a diminuição desses acidentes nas etapas de montagem por meio da utilização de máquinas ao invés do serviço braçal, oferecendo segurança e diminuindo os riscos aos trabalhadores (DE MACEDO *et al.*, 2016).

**Figura 11** - Construção de edifício em estrutura metálica.



Fonte: Entenda Antes, 2020.

Outra vantagem referente ao uso do aço diz respeito às edificações executadas em estruturas metálicas, é que elas reduzem em até 40% o prazo de execução, visto que essas estruturas chegam ao local de montagem semi-prontas, aumentando ainda mais a flexibilidade na utilização desse material (BONAFÉ, 2017).

#### **3.2.4. Desvantagens do Aço**

Conforme Nakahara (2017), a estrutura metálica exige um tratamento superficial nas peças contra a corrosão por haver contato com o ar atmosférico e contra chamas, e por isso, torna-se desvantajoso em relação a outros materiais estruturais. Necessidade de equipamentos especializados na fabricação e montagem, desembolso em curto prazo, precisão nos cálculos de pré-dimensionamento, limitação de execução das peças em fábricas e mão de obra especializada precária, são outros exemplos de desvantagens relacionadas às estruturas metálicas.

Obras executadas com estruturas metálicas são um tanto leves, reduzindo a execução de fundações e possíveis escavações e, portanto, preservando o solo. A facilidade de modificação e adaptação das peças metálicas oferece mais liberdade ao empreendimento em qualquer que seja a fase de construção (NAKAHARA, 2017). Assim sendo, as vantagens se sobressaem as desvantagens, oferecendo muito mais conforto, rapidez, obra limpa, se comparado aos diversos outros tipos de estruturas desenvolvidas no mercado.

### **3.3. Tecnologia BIM – *Building Information Modeling***

#### **3.3.1. Definição**

*Building Information Modeling* é definido como uma tecnologia de modelagem representada através de objetos paramétricos que apresentam os componentes da construção em um modelo virtual. O conceito de objeto paramétrico é fundamental para o entendimento do BIM, sendo este caracterizado por elementos que abrangem dados consistentes responsáveis por descrever, produzir, comunicar e analisar os modelos de construção mediante um conjunto de regras que permitem satisfazer requisitos utilizados para a definição de um projeto (EASTMAN *et al.*, 2014).

O BIM é um método de trabalho na qual o modelo é gerado contendo geometria, relações espaciais, informações geográficas e quantidades, que permitem o desenvolvimento de um processo integrado entre as disciplinas de um projeto, contendo propriedades construtivas de cada especificidade, aplicável a todo ciclo de vida de um empreendimento, a partir de sua concepção até a construção/instalação e gerenciamento da manutenção. Em um arquivo único, é possível mitigar os erros com a antecipação de decisões ao constatar interferências na fase de projeto, além de conseguir visualizar vistas, cortes e a obra digitalmente, o que torna-se de grande relevância para a indústria da arquitetura, engenharia e construção (MARINHO, 2014).

**Figura 12** - BIM presente ao longo do ciclo de vida de um empreendimento.



Fonte: Dispenza, 2010.

Este conjunto de informações que pode ser acessado pela equipe em um ambiente multidimensional possui uma capacidade substancial de elevar a qualidade dos processos e dos produtos gerados na construção civil, aperfeiçoando o desenvolvimento de projetos e da construção de um edifício (AYRES FILHO, 2009). Ao inovar e modernizar, as empresas tornam-se mais competitivas ao aumentar a produtividade com a utilização da ferramenta, necessária para entregas em um prazo menor visto a grande concorrência no mercado (COELHO, 2016).

Sendo assim, é importante entender a definição do BIM, pois o mesmo não refere-se a um *software*. A modelagem 3D, presente no BIM, se não tiver fundamentada em objetos paramétricos e inteligentes que realizem atualizações automáticas por meio de banco de dados integrados e esteja habilitado para análises e simulações, não pode ser considerada uma solução BIM (CBIC, 2016a).

**Figura 13** – Exemplos de projetos desenvolvidos com a utilização de BIM.



Fonte: Tecnosil, 2018.

Apesar disso, segundo Poças (2015), em muitos países, a quantidade de profissionais que utilizam a ferramenta aproveitando todas as funcionalidades na elaboração de um modelo virtual preciso ainda é pequena, já que muitos usam apenas para desenhar e modelar em três dimensões, perdendo assim, os benefícios que a filosofia de trabalho da plataforma BIM oferece.

### **3.3.2. Benefícios e Vantagens**

Para Eastman *et al.* (2014), embora a implantação do BIM ainda se encontre em iniciação para a indústria da EAC, ganhos expressivos já podem ser observados (comparados às práticas tradicionais em CAD 2D ou baseadas em papel) com a sua utilização. Ao avaliar os benefícios relacionados a essa metodologia, consegue-se dividi-los de acordo com cada fase do projeto:

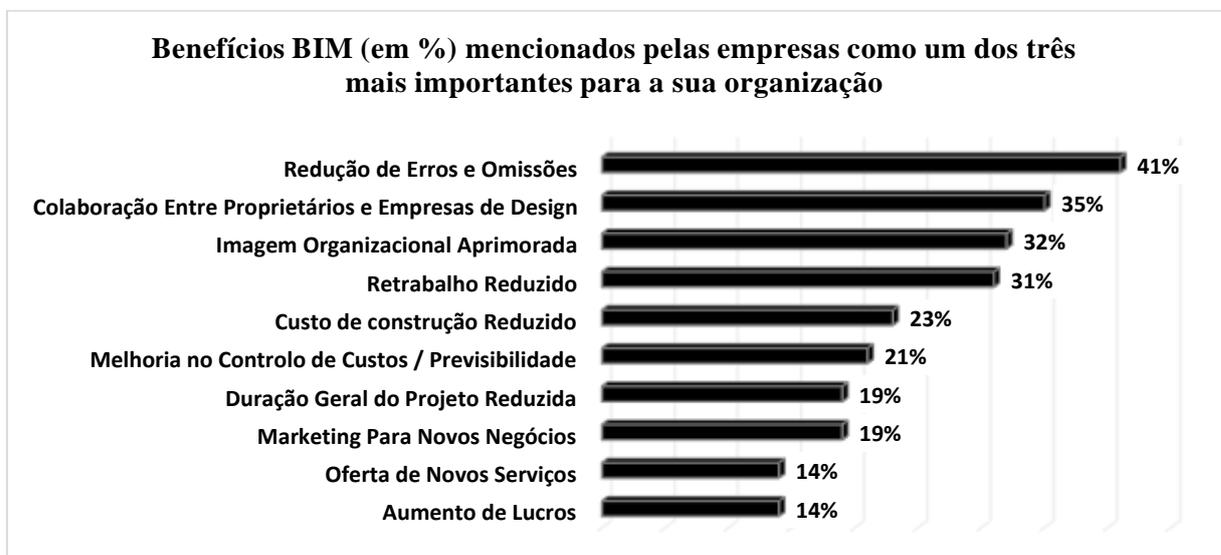
- a. Benefícios na pré-construção: A elaboração de um modelo esquemático, vinculado a uma base de dados consistente previamente a um projeto detalhado, é essencial para que as premissas impostas por proprietários/clientes sejam atendidas a partir de análises, simulações e avaliações de alternativas realizadas. Evita-se assim, desperdício de tempo em caso de retrabalhos, além de contribuir para a qualidade da construção como um todo.
- b. Benefícios no projeto: Com a modelagem 3D, visualiza-se de maneira direta o que está sendo projetado, alinhado ao fato de que correções automáticas podem ser efetuadas em caso de interferências, principalmente por conta do trabalho simultâneo desempenhado entre as disciplinas e do uso de objetos paramétricos. A geração de desenhos 2D é facilitada com essa automatização na emissão de documentos mais consistentes, bem como a extração da lista de quantitativos, permitindo uma estimativa de custos durante a fase de projeto.

- c. Benefícios à construção: A descoberta de erros de projetos contribui à fase de execução, uma vez que as inconsistências são identificadas antes da construção, garantindo uma melhor coordenação entre projetistas e empreiteiros. Ao iniciar essa etapa, é praticável a sincronização entre o planejamento e a aparência da construção em qualquer ponto no tempo através das simulações e, em caso de problemas, modificações podem ser realizadas para que a resolução seja atualizada automaticamente com rapidez. A melhor implementação e técnicas de construção enxuta e a sincronização da aquisição de materiais com o projeto e a construção também são consideradas vantagens referentes à essa fase de projeto.
- d. Benefícios pós-construção: Informações sobre os espaços e sistemas presentes na edificação são geradas, de modo a ser possível entender quais os cuidados que se deve ter durante o seu ciclo de vida para melhor gerenciamento, operação e controle.

Construções de alta complexidade com a intensificação do uso da industrialização juntamente ao complemento de outras tecnologias podem ser executadas por empresas com o auxílio do BIM, tornando-as capazes de cumprir prazos desafiadores, além de prepara-las para um cenário futuro em que sua utilização deverá ser fator obrigatório para se manter na indústria da construção civil (CBIC, 2016a).

Mediante um estudo realizado em 2014 pela *McGraw Hill Construction*, verificou-se quais os principais benefícios considerados pelos empreiteiros relativos à introdução do BIM para sua organização (Figura 14).

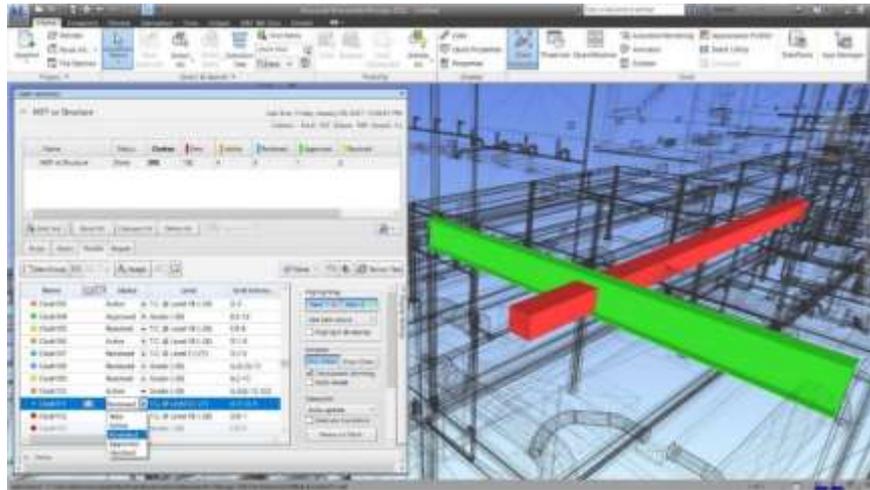
**Figura 14** - Benefícios BIM (em porcentagem) mencionados pelas empresas como um dos três mais importantes para a sua organização.



Fonte: Adaptado de McGraw Hill Construction, 2014.

Analisando o gráfico, é possível observar que o principal benefício mencionado é a redução de erros e omissões, especialmente pelo fato de que com a eliminação de falhas, o custo da construção, o tempo de projeto e o retrabalho serão reduzidos. A colaboração entre proprietários e empresas de design também possui grande destaque, exemplificados pela integração entre todas as partes envolvidas na elaboração e execução de um projeto.

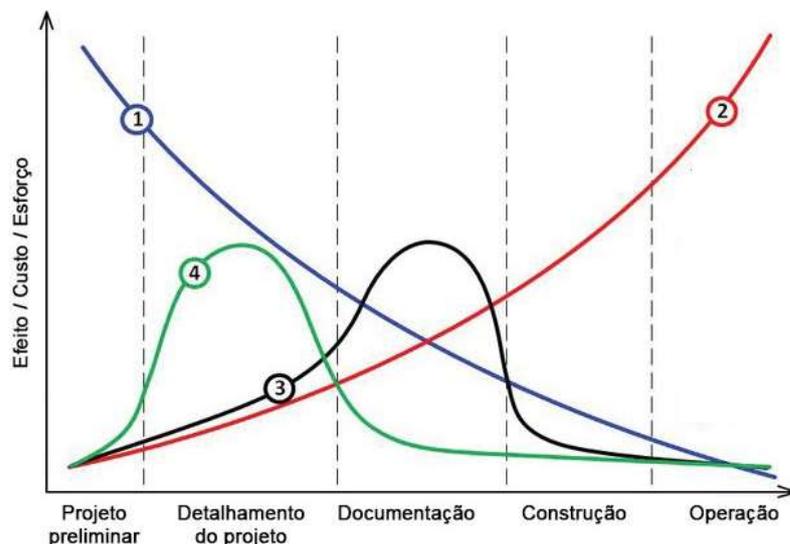
**Figura 15** - Verificação de interferências com a ferramenta Clash Detective através do software Navisworks.



Fonte: Autodesk, 2021.

Sendo assim, todos os benefícios proporcionam mudanças significativas nas práticas de trabalho tradicionais. Com a antecipação das decisões proporcionadas pela aplicação do BIM, as vantagens da mesma podem ser representadas pela Figura 16, uma vez que ilustra a relação entre o esforço ao longo das fases de design e construção, retratada em diferentes curvas (CURT, 2004).

**Figura 16** - Curva de MacLeamy.



Fonte: Adaptado de Curt, 2004.

1. Representa a perda da capacidade de uma equipe de afetar as variáveis de um projeto, como custo, cronograma e as capacidades funcionais do projeto;
2. Mostra como o custo de fazer alterações aumenta radicalmente à medida que o projeto avança;
3. Representa a distribuição de esforços em um projeto de construção tradicional, no momento em que as informações são desenvolvidas em maior parte na fase de documentação de construção;
4. Sugere uma nova distribuição do esforço de design, na qual as informações são coletadas e geradas no início do processo com a participação de todos envolvidos – Fluxo de trabalho BIM.

Com a curva de MacLeamy, é possível evidenciar como as práticas do BIM podem influenciar ao longo de todo o projeto. Ao investir e concentrar os esforços nas fases preliminares, todos os benefícios apresentados tornam-se válidos e contribuem para a qualidade final do que foi proposto acerca de desempenho, custo e prazo.

### **3.3.3. Desafios e Desvantagens**

O sucesso da implementação do BIM depende de alguns fatores tais como os processos otimizados em cada etapa do projeto e a aceitação dos utilizadores. No entanto, alguns desafios e limitações podem ser abordados, na qual torna-se importante o conhecimento destes antecipadamente para identificar os possíveis problemas a ser encontrados (POÇAS, 2015).

Inicialmente, o investimento que se deve fazer para a aquisição de *softwares* com os custos adicionais de aprendizagem inicial e da atualização dos mesmos é consideravelmente elevado. Somado a isso, a complexidade dos *softwares* e de suas aplicações caracterizam uma curva de aprendizagem lenta, em que se exige maior investimento pessoal, para que se tenha um olhar diferente sobre o modelo (LINO; AZENHA; LOURENÇO, 2012).

Outro desafio a ser superado, descrito por Eastman *et al.* (2014), é a mudança na prática e no uso da informação, com a utilização de um modelo de construção compartilhado como base para todo o processo de trabalho, exigindo tempo e educação dos colaboradores.

Essa mudança também é um obstáculo para o envolvimento da equipe. A aplicação da metodologia ainda é pequena entre todos os projetistas, deste modo, todos têm que estar

habituaados para que a interação colaborativa (umas das maiores potencialidade do BIM) seja garantida e não contribua para o retorno do investimento ser reduzido (Lino *et al.*, 2012). A determinação dos métodos empregados para o compartilhamento adequado do modelo de informações entre a equipe é um aspecto importante para superar esse desafio (EASTMAN *et al.*, 2014).

Segundo Lino, Azenha e Lourenço (2012), caso seja necessária a comunicação entre entidades que usam diferentes plataformas tecnológicas, a interoperabilidade é indispensável para a redução dos problemas, embora a importação/exportação de dados entre os sistemas ainda não é livre de erros.

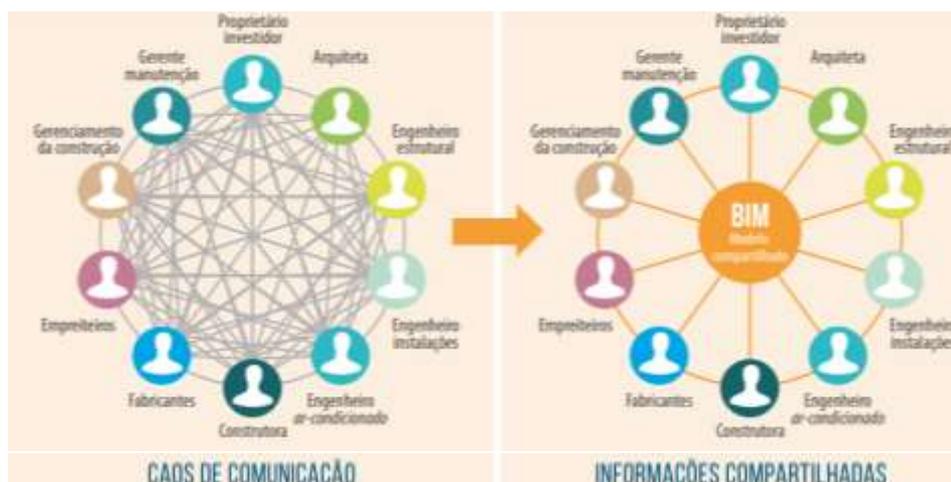
#### **3.3.4. Interoperabilidade**

A elaboração dos vários projetos de uma edificação pode ser feita através de planos sequenciais, onde cada diferente interveniente desenvolve informação de sua especialidade a partir da finalização do projeto anterior, ou por meio da integração interdisciplinar de forma simultânea que contribua à partilha de dados e informações entre todos os projetistas (SILVA, P., 2012). Normalmente, as fases ao longo do ciclo de vida da edificação são interligadas com informações, na qual os dados de uma fase anterior tornam-se pré-requisitos para o andamento da etapa seguinte, operando como elementos de entrada (MARTINS, 2011).

No entanto, os *softwares* que são manuseados por diferentes especialistas ao longo do ciclo não são os mesmos, sendo operados em formatos distintos, já que cada um trabalha com a ferramenta que está adaptado e atenda à sua função particular de modelagem e análise.

Neste contexto, a interoperabilidade é um conceito fundamental para que os diferentes modelos possam se comunicar efetivamente. De acordo com Eastman *et al.* (2014), a interoperabilidade representa o intercâmbio de formatos de arquivos caracterizado pela necessidade de transferir dados entre aplicações, com a intenção de contribuir para o trabalho em conjunto entre múltiplos especialistas de uma equipe, eliminando a replicação de informações que já foram geradas e facilitando o fluxo de trabalho e automação de processos.

**Figura 17** - Intercâmbio de informações proporcionado com o modelo único.



Fonte: CBIC, 2016b.

Em outras palavras, Marinho (2014) define a interoperabilidade como a capacidade de dois sistemas se relacionarem entre si, isto é, dados são gerados por um sistema e exportados para outro com a permissão de que ambos possam fazer modificações e alterações, estando aptos à leituras em diferentes aplicações.

A falta da interoperabilidade é um problema a ser resolvido pela indústria dos *softwares* e pelos usuários, visto que a impossibilidade de comunicação entre os *softwares* podem causar contradições com a realização de análises feitas de maneira individual, além de que a ausência da integração essencial à qualidade de desempenho resulta em repetição, atrasos, erros e omissão de dados, levando à perda de produtividade de 22%. Assim, para que um *software* possa ser interoperável, algumas características são exigidas, como a uniformidade de integração com o usuário, a capacidade de troca de dados livremente entre sistemas e a simplificação nas completas coleções de formatos e padrões existentes (JACOSKI, 2003).

O intercâmbio de dados pode ser realizado em uma das quatro maneiras (EASTMAN *et al.*, 2014):

- a) Ligações diretas entre ferramentas BIM específicas;
- b) Formatos de arquivos de intercâmbio proprietários, considerando a geometria;
- c) Entre formatos no padrão XML;
- d) Formatos com modelos de dados públicos, com uso de um padrão aberto para o modelo de construção, tendo o IFC (*Industry Foundation Classes*) como exemplo.

### **3.3.5. IFC (*Industry Foundation Classes*)**

O IFC é um formato de arquivo direcionado a objetos 3D, público, aberto e padronizado, utilizado para trocar e compartilhar informações aplicadas na indústria da construção civil referentes a cada tópico do projeto, contratação, construção e manutenção. É, portanto, disponibilizado livremente para os desenvolvedores de *softwares* e usuários para possibilitar o trabalho colaborativo e a interoperabilidade da plataforma BIM. Com isso, é possível importar e exportar o formato armazenando dados sobre cada elemento, como materiais e funções (CBIC, 2016b).

O desenvolvimento do IFC iniciou-se em 1994 por meio da colaboração de um grupo de empresas dos Estados Unidos da América denominado *buildingSMART International*, anteriormente conhecido como *International Alliance for Interoperability* (IAI), que tinha como objetivo solucionar problemas referentes a transferência de dados entre os *softwares* BIM, tornando-se reconhecida pela ISO (organização internacional para padronização) (MARTINS, 2011).

Dessa forma, esta estrutura padrão para a transferência de informações permite que os *stakeholders* tenham um acesso instantâneo do que está sendo arquitetado, acessando através de qualquer plataforma BIM, elevando qualitativamente o resultado final do projeto (SAKAMORI, 2015).

### **3.3.6. Níveis de Desenvolvimento (*Level of Development - LOD*)**

Para possibilitar o perfeito entendimento de um projeto e sua liderança é preciso conhecê-lo da maneira mais detalhada possível, ou seja, projetos com níveis altos de detalhamentos permitem um melhor gerenciamento das atividades que auxiliam na transparência e comunicação entre equipes.

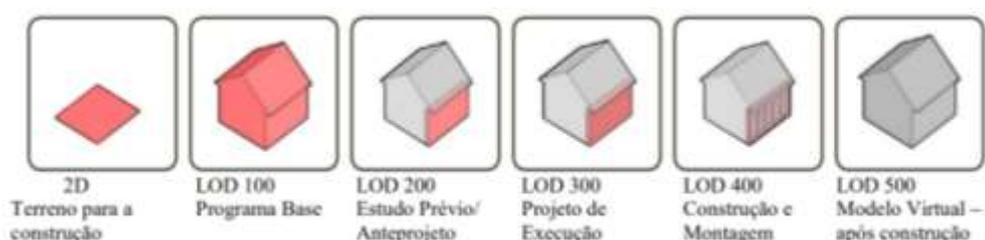
Segundo Mattei (2008), quanto mais detalhes forem implantados em fase de projeto, mais especificações e orientações o mesmo possuirá em sua conclusão. A elaboração pode ser feita de modo bidimensional, tendo como exemplo a representação de duas linhas paralelas formando uma parede, porém também é possível que sejam agregadas informações sobre peso, custos, suprimentos adotados em sua composição, acabamentos e outras especificações que, portanto, permitem quantitativos precisos e conseqüentemente orçamentos reais.

De acordo com Silva J. (2013), *Level of Development* (LOD), ou em português nível de desenvolvimento, é um método que define a maturidade e usabilidade de um BIM, sendo em outras palavras, um meio de conhecer o nível de confiabilidade de projetos recebidos por autores distintos em diferentes fases de um projeto. Geralmente é apresentado por uma série de números crescentes relacionados a estas diferentes etapas, sendo os três primeiros níveis voltados ao projeto, o quarto à construção e o quinto à operação e manutenção do edifício.

A *American Institute of Architects* (AIA) adotou no documento AIA E202 a padronização do nível de desenvolvimento BIM, em que para sua contratação, toda modelagem é baseada pelo *Level of Development* (LOD). Os cinco níveis definidos podem ser descrito como:

- a) LOD 100: Caracterizado por um estudo de massa, estimando volumetria, custos estimados através de bancos de dados, além de um macroplanejamento que prevê datas de início e fim.
- b) LOD 200: São elaborados de maneira genérica, possibilitando extrair quantitativos aproximados, tamanhos, orientação e localização da edificação. Com as informações extraídas, é possível desenvolver o orçamento e estimar o planejamento da obra com ordem de construção aliadas ao tempo.
- c) LOD 300: Essa etapa desenvolve projeto, quantitativos, orçamentos e planejamento de maneira mais precisa. O modelo gerado serve de documentação para etapas de contratações e construção do empreendimento.
- d) LOD 400: Caracteriza a montagem em termos de fabricação, contendo quantitativos, etapas construtivas pré-definidas por planejamento de uma construção já projetada, com dimensões, orientações e todas suas informações mais completas e detalhadas.
- e) LOD 500: É correspondido pelo “*as built*”, ou seja, o nível final de desenvolvimento, que serve para corrigir e registrar todas as alterações e incompatibilizações que haviam no projeto inicial e foram readequadas dentro da obra. Esse registro permite o uso como base para gestão e manutenção do produto final.

**Figura 18** - Níveis de desenvolvimento (LOD) do BIM.



Fonte: Marinho, 2014.

Logo, o objetivo de conhecer o nível de desenvolvimento empregado em cada etapa de projeto é simplificar as contratações de empresas terceiras, uma vez que informa quais entregáveis serão necessários em cada etapa do projeto, além de notificar o usuário BIM sobre qual a confiabilidade daquele arquivo (CBIC, 2016a). Nota-se a importância desta ferramenta, quando se considera que, em um mesmo projeto, profissionais distintos podem trabalhar simultaneamente de modo a gerar impactos no mesmo.

### 3.3.7. Dimensões BIM

De acordo com a literatura, o BIM é uma tecnologia que opera com diversas dimensões, que variam a depender do objetivo do empreendimento. A evolução da construção civil e a necessidade de maior nível de detalhamentos e extração de dados, demandou que os modelos sejam cada vez mais criteriosos e complexos, conduzindo a novos modelos e dimensões “nD”, elaborando desta forma o modelo multidimensional (COSTA, 2016 & FERREIRA, 2015).

Considerando as dimensões iniciais do desenvolvimento da tecnologia BIM, destacam-se as documentações e normas vigentes (1D), desenhos bidimensionais (2D) e modelos tridimensionais (3D). Sequencialmente podem ser acrescentadas outras dimensões para elaboração de um projeto mais completo (COSTA, 2016 & POÇAS, 2015).

Em reflexo ao avanço da tecnologia, notou-se a necessidade da implantação de novas dimensões, que são decorrentes dos modelos tridimensionais. Considerando a demanda de cada projeto, em âmbito mundial, podem se aplicar as seguintes dimensões: cronograma (4D), orçamento (5D), sustentabilidade (6D), gestão de instalações (7D), segurança do trabalho (8D), “*Lean Construction*” ou construção enxuta (9D) e a industrialização da construção (10D) (CALVETTI, et. al., 2020; COSTA, 2016; HENNING, 2017 & POÇAS, 2016).

- a) BIM 3D: Para Campestrini et. al. (2015), o modelo para se caracterizar deve conter informações de espaço e qualidades dos materiais implantados, e também conceder a extração de dados, como quantitativos, especificações técnicas dos materiais, harmonia dos arquivos, entre outros.
- b) BIM 4D: A produtividade é melhorada através da adequação do tempo. Segundo Kamardeen (2010), é possível planejar o fluxo de tarefas, onde os envolvidos podem comunicar incompatibilidades das sequencias projetadas, encontrando soluções mais viáveis. Já para Ferreira (2015), com as alterações que são feitas em obra, é possível prever e computar a duração que cada atividade leva, os caminhos críticos que surgem e qual o possível prejuízo ao final da obra.
- c) BIM 5D: Ferreira (2015) menciona a importância dessa dimensão para o levantamento de custos preciso do projeto. Esta dimensão permite a verificação dos custos para cenários opostos, e então a escolha da melhor opção, além da visualização do fluxo de caixas, onde é analisado o custo em determinada fase de tempo.
- d) BIM 6D: Análise dos impactos causados ao meio ambiente com a construção do empreendimento, com emissão de carbono e outros poluentes (KAMARDEEN, 2010).
- e) BIM 7D: De acordo com Campestrini et. al. (2015), essa dimensão consiste no acompanhamento aos consumos gerados pelo projeto, em relação a água e energia, e também o acompanhamento de qualidade, com verificação das validades dos materiais empregados. O modelo obtém dessa forma, as informações dos valores operacionais e manutenção do produto construído.
- f) BIM 8D: Para Kamardeen (2010), o 8D é a identificação dos riscos oferecidos pelo ambiente de trabalho por ações individuais dos operários e na elaboração de um local seguro que siga protocolos contra acidentes.
- g) BIM 9D: É conhecido pelo método da construção enxuta, que segundo Machado e Heineck (2001), é elaborado através da participação de diversas equipes, que contribuem em setores diferentes. O processo visa o fluxo de produção, possibilitando o primor dos erros.
- h) BIM 10D: É a industrialização da construção, que permite a execução de produtos padronizados, com alta qualidade, na qual cria-se um ritmo de produção que propicia

ordem ao ambiente de trabalho. O trabalho manual é substituído por uso de máquinas, assegurando um maior índice na produção (GOMES *et al.*, 2013).

Embora as novas dimensões já sejam utilizadas em alguns contextos, na literatura atual nota-se uma falta de consenso principalmente na nomenclatura e no significado dessas novas dimensões do BIM, sobretudo a partir do modelo 6D.

Henning (2017) e Arnal (2018) descrevem a décima dimensão do BIM como a união de todos os processos anteriores visando uma maior produtividade do processo construtivo, com objetivo de industrializar as etapas, vencendo obstáculos enfrentados nos dias atuais.

Apesar de muitas literaturas discriminarem o BIM 10D como a industrialização da construção, é perceptível que há uma defasagem quanto aos conteúdos voltados ao tema, e que desenvolvam seus processos de forma mais detalhada. Isso demonstra que é um novo modelo de trabalho e que está em fase de desenvolvimento e conhecimento pelos profissionais.

**Figura 19** - Dimensões do BIM.



Fonte: Darós, 2019.

Para além das dimensões existentes mencionadas anteriormente, vale salientar que para Ferraz e Moraes (2012), certamente surgirão outros modelos nD, que englobem os mais diversos tipos de informação e complementarão uma maior complexidade do arquivo.

### **3.4. Construção Industrializada com Adequação ao BIM**

A definição do termo construção industrializada é bastante ampla. Em concordância com o relatório desenvolvido para o *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* – CIB, pré-fabricação, racionalização, modulação e a padronização acompanhada pelo aperfeiçoamento do processo contínuo de produção com uso de equipamentos mecânicos e sistemas computadorizados, são características que podem definir a construção industrializada (GIRMSCHEID; SCHEUBLIN, 2010).

Há ainda três tópicos que são abordados neste relatório para definir a inserção da construção industrializada: finalidade, condições e consequência. A procura pelos benefícios como redução de custos, prazo e mão de obra, além da segurança e qualidade estão relacionados com a finalidade da industrialização do processo. No entanto, estes necessitam de condições tecnológicas para que sejam atingidos, através da mecanização e automação, que leva às consequências do processo de industrialização, exemplificados pela pré-fabricação, racionalização e modulação.

De acordo com Rosso (1980), existem dois tipos de construção industrializada: a industrialização fechada e a industrialização aberta, que trazem resultados diferentes através de processos produtivos e construtivos distintos. A industrialização fechada é conhecida pela produção do módulo inteiro onde os modelos dos produtos são de exclusividade da indústria, enquanto a industrialização aberta é conhecida pela produção de diversos componentes pré-fabricados que podem se encaixar, combinar e compor uma construção, dando maior liberdade ao arquiteto para criar e abusar das opções.

A pré-fabricação, logo, pode ser vista como um meio para industrializar a construção civil. Tatum, Vanegas e Williams (1987) afirmam que esta influencia e gera modificações nos processos de gestão e produção ao aproximar as etapas de projeto e execução, acarretando assim, em um melhor planejamento, organização e monitoramento das atividades de projeto e na coordenação das disciplinas, onde as definições precisam ser estabelecidas de maneira antecipada vista a necessidade de interdependência e colaboração entre as atividades.

A industrialização da construção não está relacionada apenas à pré-fabricação, embora faça parte de sua definição. É de grande importância que a racionalização e a produtividade estejam alinhados com o processo através de mudanças organizacionais no que diz respeito ao sistema construtivo. Todo o sistema de produção que envolve desde o projeto até a execução necessita estar totalmente industrializado, pois se o método construtivo for “tradicional”, o processo torna-se ineficiente por conta da falta de organização em consequência do trabalho intensivo no canteiro com uso de grande número de mão de obra (OLIVEIRA, 2019).

Dessa forma, o uso de um sistema construtivo industrializado permite maior monitoramento sobre as atividades pela repetição dos processos ser mais fácil, na qual os trabalhadores recebem treinamentos especializados e reduzem dessa forma, as interrupções da fabricação e os deslocamentos dos componentes ao longo da execução (GIBB, 1999).

A inserção do conceito da produção enxuta, de acordo com Martinez *et al.* (2008), é outra forma para se atingir a industrialização da construção civil, onde elimina-se o desperdício e eleva-se a produtividade com planejamento e controle do processo do início ao fim, principalmente mediante a aproximação entre as etapas de projeto e execução. Além disso, segundo Kifokeris e Xenidis (2017), a construtibilidade também é imprescindível por alinhar a comunicação de variados aspectos ao longo de todo o processo, onde os principais agentes utilizam avanços tecnológicos para tomadas de decisões a fim de garantir a qualidade e eficiência final do empreendimento ao solucionar problemas não identificados durante o desenvolvimento do projeto.

Todos estes fatos demonstram que a tecnologia deve estar em concordância com o sistema organizacional para que a industrialização seja garantida. Os benefícios se confirmarão com as características que alterem os padrões em relação ao processo de produção, como racionalização, participação precoce de todos os envolvidos, uso de ferramentas em substituição ao trabalho manual, avaliação contínua com aproximação entre as etapas de projeto e execução e até mesmo a mudança do sistema construtivo que gere maior produtividade para aperfeiçoar o processo e garantir a viabilidade econômica do objeto e ser construído (OLIVEIRA, 2019).

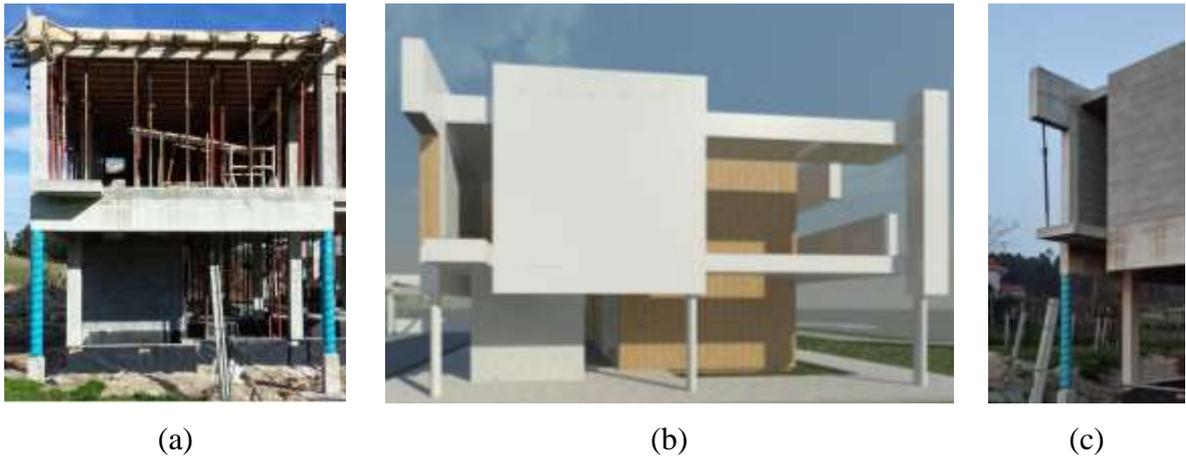
Adequar a construção industrializada ao BIM é um dos meios para alcançar mudanças de paradigmas sobre o processo organizacional de produção, dada a eficiência que esta vertente produz com o trabalho colaborativo, que assim permite analisar e verificar todo o desenvolvimento do sistema a fim de se industrializar o processo de construção de qualquer empreendimento.

#### **3.4.1. Estudos Correlatos da Tecnologia BIM 4D e 5D**

Através de um estudo de caso, Marinho (2014) demonstra a aplicação do BIM na gestão do projeto de uma casa unifamiliar de dois andares. Com o uso da metodologia, desenvolveu-se um projeto a partir do modelo arquitetônico, desenhado e entregue anteriormente em formato CAD 2D. De acordo com o autor, os principais benefícios observados com a aplicação do BIM foram a visualização 3D das especialidades, a obtenção dos quantitativos que facilita o entendimento do projetos e possibilita uma análise econômica nas fases preliminares, a elevação da produtividade e melhor colaboração entre empreiteiros, o planejamento e simulação da obra oferecidos pelos *softwares* BIM e a verificação de interferências.

A Figura 20 exemplifica a importância do BIM como ferramenta de acompanhamento da obra, visto que é possível realizar revisões no projeto de maneira rápida e automática, capaz de corrigir possíveis erros que possam ser cometidos durante a obra, como a continuidade de um pórtico entre os pilares circulares que não estava previsto em projeto, mas em razão da rápida interpretação e estudo do modelo BIM, a solução foi encontrada de maneira eficaz.

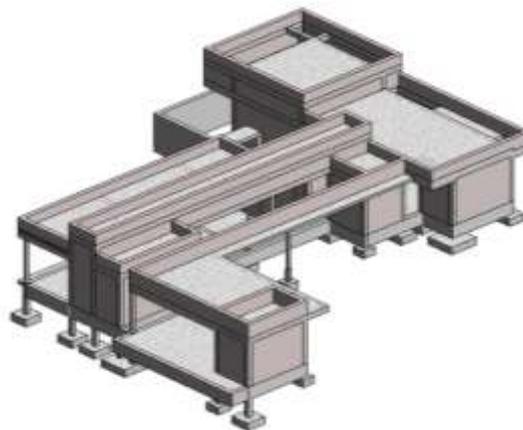
**Figura 20** - Representação do erro construtivo executado em obra (a); Representação da correção do modelo digital (b); Representação da obra corrigida (c).



Fonte: Adaptado de Marinho, 2014.

Em outro estudo que utiliza as dimensões 4D e 5D do BIM para a elaboração de um projeto, foi possível verificar as etapas dos processos que tornam a construção industrializada. Poças (2015) executou primeiramente o modelo 3D no *software* Revit incluindo apenas a parte estrutural e levando em consideração as fases de execução a fim de antecipar o futuro planejamento do projeto.

**Figura 21** - Elementos de fundação, vigas, lajes e paredes do projeto de execução.

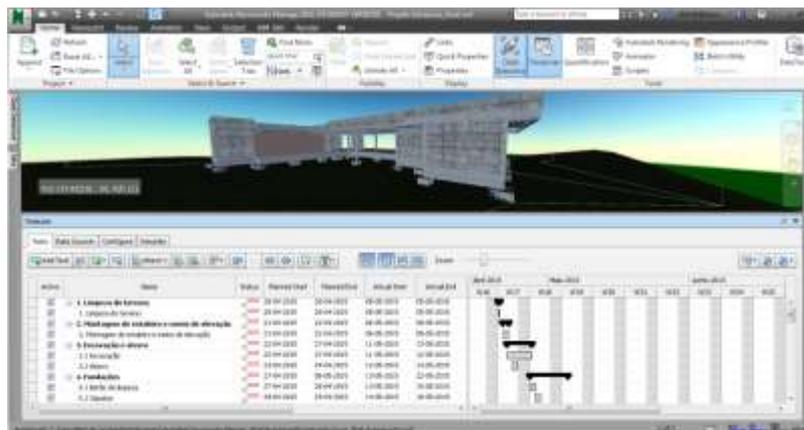


Fonte: Poças, 2015.

Resumidamente, assim como no estudo de Marinho (2014), as interferências foram verificadas e posteriormente foi dado início ao processo BIM 4D com a exportação do modelo Revit para o Navisworks, na qual é importante destacar a interoperabilidade presente principalmente por conta dos *softwares* serem da mesma *software house* (Autodesk).

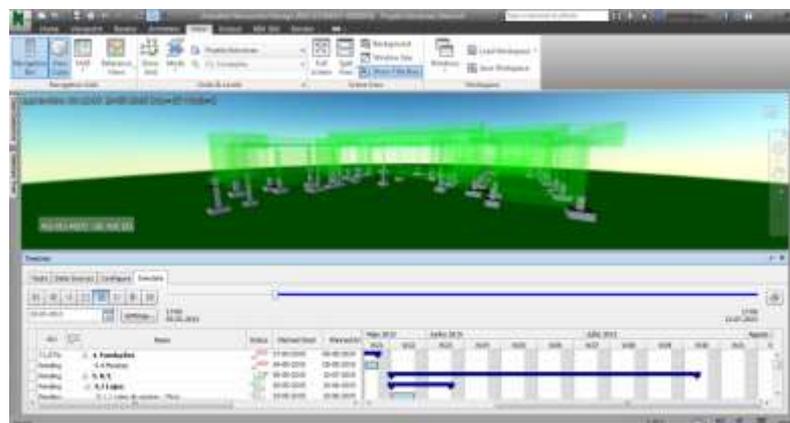
Em seguida, iniciou-se o faseamento construtivo com a elaboração do diagrama de Gantt com as atividades e suas respectivas durações, sendo possível criar uma simulação do cronograma da construção de forma automática através da associação dos elementos do modelo 3D a cada tarefa do programa de trabalho. De acordo com Poças (2015), a possibilidade de estudar diversas opções de cenários futuros para se verificar a viabilidade do planeamento, a identificação e a visão global de todos os elementos envolvidos no trabalho, além da capacidade de analisar a obra em qualquer momento e tomar decisões precisas são algumas vantagens da utilização da dimensão 4D.

**Figura 22** - Elaboração do diagrama de Gantt.



Fonte: Poças, 2015.

**Figura 23** - Simulação 4D através do Navisworks.



Fonte: Poças, 2015.

Para terminar, realizou-se a estimativa de custos onde foi comparado o quantitativo através do método tradicional e pela lista extraída no modelo BIM. Algo a ser destacado é que ao confrontar os dois procedimentos, fica exposto que a maioria dos materiais apresentados por meio do método tradicional apresentaram quantidades superiores aos obtidos com a abordagem BIM (Figura 24).

**Figura 24** - Comparação entre as quantidades de materiais obtidas pelo método tradicional e através do Revit.

Quantidades por material				
Material	Unidade	Método Tradicional	Abordagem BIM	Diferença (%)
Betão C20/25	(m <sup>3</sup> )	90,11	91,05	-1,03
Rachão	(m <sup>3</sup> )	8,10	6,98	13,83
Brita	(m <sup>3</sup> )	5,40	4,65	13,89
Bloco de cimento 25cm	(m <sup>2</sup> )	295,92	286,09	3,32
Bloco cerâmico 11cm	(m <sup>2</sup> )	86,62	77,44	10,60
Xisto	(m <sup>2</sup> )	20,00	16,29	18,55

Fonte: Poças, 2015.

À vista disso, ao analisar as funcionalidades da tecnologia BIM aplicadas em casos práticos, conclui-se que esta é fator fundamental para a industrialização da construção a ser atingida com a dimensão 10D. A otimização e automatização dos processos vistos no BIM 4D e 5D com a integração do planejamento do tempo e o controle de custos no modelo tridimensional fazem parte desse processo de grande relevância para a indústria da AEC.

A significância do tema faz com que empresas tenham a preocupação em estar se adequando e se moldando a essa técnica para que não se tornem ultrapassadas, já que na atualidade, é necessário produzir mais e com melhor qualidade em simultâneo ao menor número de recursos e tempo possível.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na elaboração do estudo, ocorreram dificuldades em encontrar alguns conteúdos na literatura sobre o BIM e tornou-se visível que ainda há certo atraso quanto à introdução da construção modular em alguns países como o Brasil.

O BIM está em grande evolução no país, sendo extremamente considerável que a metodologia disponibiliza tecnologia e inovação para o setor da construção civil ao otimizar os processos desde a concepção até a execução. No entanto, apesar de entender-se que a dimensão 10D está relacionada com a industrialização da construção, ainda não há material didático que discrimine o que é esse processo, tendo em sua totalidade, apenas artigos de outros países como China e Estados Unidos.

Além disso, percebe-se que há uma divergência entre os autores ao mencionarem as dimensões do BIM, além de transparecer que o entendimento das evoluções desta tecnologia está aberto à interpretação do leitor, sendo que não foi identificado uma padronização dessas dimensões a partir do 6D, o que demonstra necessidade de consolidação das evoluções da metodologia.

Visando a comparação da estrutura metálica ao sistema convencional de concreto armado, as vantagens encontradas como a alta resistência do aço, material mais homogêneo e execução mais rápida torna a modulação mais atraente e além do mais, a fabricação é feita fora do local de montagem final e dentro de um ambiente fechado, com o auxílio de maquinários na maior parte do tempo, o que reduz o risco de acidentes, sendo viável acompanhar a equipe com maior precisão e atenção.

Além disto, é possível reduzir em até 40% o prazo de execução nas edificações com estrutura metálica, já que esse material chega ao canteiro praticamente finalizado, restando somente a montagem final. No modelo de construção convencional, esse prazo torna-se prejudicado, visto que a parte logística do canteiro e o clima dificultam o processo de execução.

Observou-se também, que a construção modular é defasada no Brasil, tendo em vista países mais desenvolvidos, como China, EUA e Alemanha. Tal evolução nessas regiões foram intensificadas para solucionar dificuldades vivenciadas, como guerras, intempéries, entre outros.

Recentemente com a pandemia da Covid-19, notou-se um pequeno progresso da modulação no Brasil, vista como a solução para construções rápidas e ágeis de hospitais e centros de atendimento para a doença, como aconteceu em outros países, dado que a proliferação do vírus vinha se expandindo. Dessa forma, com a aplicação deste método construtivo no país, pode-se perceber o potencial do método construtivo para a adequação de empreendimentos que necessitam de maior urgência em sua concretização, tal como cidades que possuem déficit habitacional ou que sofreram catástrofes e precisam ser reconstruídas.

Pode-se adequar o tema do BIM 10D à construção modular com a aplicação do aço, por se tratar de uma tecnologia que otimizará o processo, analisando planejamento, orçamentação, sustentabilidade e outros. Entende-se que tanto o BIM quanto a construção modular são assuntos que estão em constante evolução, o que torna seus conhecimentos algo de grande relevância para sempre estar atualizado com as novidades e tecnologias do mercado, sobretudo da construção civil, que vem crescendo e modernizando ao longo dos anos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas foram as vantagens discutidas no decorrer desta pesquisa com referência à implantação da construção modular e do BIM. Com o tempo, os sistemas construtivos sofreram diversas variações em função das necessidades, exigências, tecnologia, recursos e conhecimentos disponíveis.

O sistema de construção modular, conhecido como off-site, permite a fabricação externas dos módulos e confecção dos encaixes no canteiro, sendo que tal processo oferece maior controle tecnológico e de qualidade dos materiais envolvidos, além de simplificar o sistema quando comparado com o modelo convencional de construção. O método modular também está incluso no âmbito da construção limpa, que contém a redução de resíduos e controle de destinatários como princípios, assim como desempenho ambiental superior.

A obra que utiliza este sistema industrializado se beneficia do planejamento, logística e execução otimizados e pode servir como um exemplo de solução para o déficit habitacional que alguns lugares do mundo enfrentam atualmente, uma vez que permite rapidez e redução das etapas de construção, principalmente vista com a utilização de estruturas metálicas.

Ao longo da pesquisa bibliográfica, é compreensível que a aplicabilidade do BIM possui um grande potencial para remodelar a tecnologia no ramo da construção civil ao proporcionar um trabalho integrado entre projetistas de diversas áreas. A dificuldade na compatibilização dos projetos é minimizada com a interoperabilidade caracterizada na transmissão de informações por meio de um formato de arquivo único compreendido no IFC, a ser revisado por toda equipe.

O acesso simultâneo de todos os envolvidos na concepção e elaboração mitiga os erros que podem atrasar a obra. Falhas que antes só eram observadas no canteiro, são evitadas com a modelagem e simulação do que será construído, na qual verificam-se as interferências para que não tenha retrabalho das atividades e assim, garanta uma melhor coordenação geral. A lista de quantitativos, por exemplo, é extraída de maneira automática, de modo genérico ou detalhado, a depender do LOD (*Level of Development*) aplicado no arquivo.

Somado a estes fatores, observa-se que há uma constante evolução em relação às dimensões do BIM, a fim de corresponder às necessidades do mercado. Visualizando as últimas dimensões do mesmo, é notório que estas são pouco conhecidas e interpretadas de forma distinta à sua proposta, e em virtude disso, nota-se a importância de um maior investimento na capacitação dos profissionais da área.

Por fim, com a associação do BIM 10D à construção modular utilizando estruturas metálicas, a velocidade de execução é reduzida em virtude da rapidez que o sistema construtivo oferece juntamente com as análises realizadas durante a fase de projeto, além de obtermos uma racionalização dos materiais e mão de obra aplicada, gerando assim uma economia financeira e alto nível de sustentabilidade, contribuindo para o processo de industrialização da construção civil.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5706**: Coordenação Modular da construção - Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1977.

AIA Document E202 . **Building Information Modeling Protocol Exhibit**. 2008.

ARNAL, I. P. **Why don't we start at the beginning?**. BIM Community, Blog, 2018. Disponível em: <<https://www.bimcommunity.com/news/load/490/why-don-t-we-start-at-the-beginning>> Acesso em: 11 out.2021.

Autodesk. **Recursos Navisworks**. Disponível em <<https://www.autodesk.com.br/products/navisworks/features>>. Acesso em 11 out.2021.

AYRES FILHO, C. **Acesso ao modelo integrado do edifício**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

BALDAUF, A. S. F. **Contribuição à Implementação da Coordenação Modular na Construção do Brasil**. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. São Paulo: Pini, 2008.

BELLEI, I. H.; BELLEI, H. N. **Edifícios de Pequeno Porte Estruturados em Aço**. 4ª edição. Rio de Janeiro: IABr/CBCA, 2011.

BONAFÉ, G. **Estruturas Metálicas Reduzem o Tempo de Construção em até 40%**. AECweb, Revista Digital. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/estruturas-metalicas-reduzem-o-tempo-de-construcao-em-ate-40-\\_10301\\_0\\_1](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/estruturas-metalicas-reduzem-o-tempo-de-construcao-em-ate-40-_10301_0_1)>. Acesso em: 25 set.2021.

BORGES, A. P. **Construções Metálicas I – Aula 1 (Introdução)**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/16940139-Construcoes-metalicas-i-aula-1-introducao.html>>. Acesso em 10 out.2021.

Brasil ao Cubo. Portfolio, 2021. Disponível em <<https://brasilaocubo.com/portfolio>>. Acesso em 25 set.2021.

BREGATTO, P. R. (2008). **Coordenação modular - Parte I, II e III**. Disponível em: <<http://bregatto.blogspot.com/2008/09/>>. Acesso em 14 out.2021

CAIADO, K.F.C. (2005). **Estudo e Concepção de Edifícios em Módulos Préfabricados Estruturados em Aço**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CALVETTI, D. et al. **BIM WD: A Dimensão dos Trabalhadores Integrada nos Modelos de Informação**. 2020.

CAMPESTRINI, T. F. et al. **Entendendo BIM**. 1ª. ed. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2015.

CASTELO, J. L. de C. **Desenvolvimento de Modelo Conceptual de Sistema Construtivo Industrializado Leve Destinado à Realização de Edifícios Metálicos**. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2008.

CBIC. **Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras. Volume 1 – Fundamentos BIM**. Brasília, 2016a.

CBIC. **Coletânea de Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras – Volume 3: Colaboração e Integração BIM**. Brasília. 2016b.

COELHO, D. F. M. **Utilização do BIM 4D e 5D enquanto metodologia avançada para o planejamento, preparação e monitorização de obras**. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. 2016.

CONSTRUCTION, McGraw Hill. **The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with building information modeling**. Smart MarketReport, p. 1-60, 2014.

COSTA, L. R. **O uso do BIM como ferramenta na gestão da construção civil**. 2016.

CURT. 2004. **Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation (WP-1202)**: The Construction Users Roundtable.

CRUZ, H. **Estruturas de madeira lamelada colada em Portugal. Instrumentos para a garantia da qualidade**. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, Série II, v. 1, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.

DARÓS, J. **Guia completo: BIM 10D construção industrializada**. Utilizando BIM, Blog, 2019. Disponível em: < <https://utilizandobim.com/blog/bim-10d-construcao-industrializada/>> Acesso em: 11 out.2021

DE MACEDO, L. F. S. et al. **Construção Modular em Campo de Estruturas Metálicas**. 2016.

DISPENZA, K. **The Daily Life of Building Information Modeling (BIM)**. Disponível em <<http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>>. Acesso em 25 set.2021.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

Entenda Antes. **Você sabe o que é uma estrutura metálica?** Disponível em <<https://entendaantes.com.br/estruturas-metalicas/amp/>>. Acesso em 14 out.2021.

FERRAZ, H. **O aço na construção civil**. Revista Eletrônica de Ciências. São Paulo, n. 22, 2003.

FERRAZ, M.; MORAIS, R. **O Conceito BIM e a Especificação IFC na Indústria da Construção e em Particular na Indústria de Pré-Fabricação em Betão**. Encontro Nacional Betão Estrutural. Porto2012, p. 9, 2012.

FERREIRA, B. M. L. **Desenvolvimento de metodologias BIM de apoio aos trabalhos construtivos de medição e orçamentação**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015.

FILHO, I. C. S. **A Coordenação Modular Como Uma Ferramenta no Processo Projetual**. Canoas: Universidade Luterana do Brasil, 2007. Dissertação de mestrado.

GAFFEY, D. et al.. **Reconstruction Symposium: Modular Building Systems Association**. 2006.

GIBB, A. G. F. **Off-site Fabrication**. Prefabrication, Preassembly and Modularization. Scotland. Whittles Publishing. 1999.

GIRMSCHEID, G.; SCHEUBLIN, F. **New Perspective in Industrialization in Construction – A State-of-the-Art Report**. Council for Research and Innovation in Building and Construction – CIB. Zurich. 2010.

GOMES, C. E. M.; VIVAN, L. A.; SICHIERI, E. P.; PALIARI, C. J.. **Light Steel Frame: Construção Industrializada a Seco para Habitação Popular - Práticas Sustentáveis**. Encontro Latino Americano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, Curitiba, Paraná, 2013.

GROSSMAN, D. **GEO-5 para o Setor de Negócios: Impactos de um Meio Ambiente em Mudança sobre o Setor corporativo.** PNUMA Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2013.

HENNING, O. de C. **Realidad aumentada aplicada a la construcción.** 2017. Disponível em: <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/105654>>. Acesso em: 25 set. 2021.

JACOSKI, C. A. **Integração e interoperabilidade em projetos de edificações - uma implementação com IFC/XML.** 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2003.

JORGE, L. P.; RAVACHE, R. L. **Construção Modular Pré-Fabricada, O Futuro da Arquitetura da Arquitetura no Brasil.** Connection Line - Revista Eletrônica do UNIVAG, n. 24, 2021. Disponível em: <<https://www.periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/1633>>. Acesso em: 25 set. 2021.

KAMARDEEN, I. **8D BIM modelling tool for accident prevention through design.** In: 26th annual ARCOM conference. Leeds: Association of Researchers in Construction Management, 2010. p. 281-289.

KIENERT, G.; DE CHUECA, A.L. **Construcciones metálicas remachadas y soldadas.** Urmo, 1966.

KIFOKERIS, D.; XENIDIS, Y. Constructability: Outline of Past, Present and Future Research. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 8. 2017.

LinkedIn Brasil ao Cubo. Disponível em < <https://www.linkedin.com/company/brasilaoacubo/>>. Acesso em 27 out.2021.

LINO, J. C.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P. **Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas.** BE2012. Encontro Nacional Betão Estrutural, 2012.

LUCINI, H. C. **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias.** São Paulo: Pini, 2001.

MACHADO, R. L.; HEINECK, L. F. M. **Estratégias de produção para a construção enxuta.** Goiânia. 2003.

MARINHO, A. J. C. **Aplicação do Building Information Modeling na gestão de projetos de construção.** Tese de Doutorado. Universidade do Minho. 2014.

MARTINEZ, S. et al. Building Industrialization: Robotized Assembly of Modular Products. **Assembly Automation**, v. 28, n.2. 2008.

MARTINS, P. C. F. **A interoperabilidade entre sistemas BIM e simulação ambiental computacional: estudo de caso**. 2011.

MASCARÓ, L. E. R. de. **Coordinación modular? Qué es?** Summa, Buenos Aires, n. 103. 1976.

MATTEI, P. L. DE R. **BIM e a Informação no Subsetor de Edificações da Indústria da Construção Civil**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Departamento de Engenharia Civil. 2008.

NAKAHARA, F. S. **Análise da Viabilidade Estrutural e Econômica entre Estruturas de Concreto Armado e Estruturas Metálicas**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/156658>>.

OLIVEIRA, A. B. de F. **Processo de Produção Integrado: Aplicabilidade na Construção Industrializada**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2019.

POÇAS, A. R. F. **Planeamento e controlo de projetos de construção com recurso ao BIM**. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. 2015.

RAMOS, A. T. **Prefab Perfection**. Essential Lisboa, 2007.

ROSSO, T. **Teoria e prática da coordenação modular**. São Paulo, FAU-USP, 1976.

ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo: USP/FAU, 1980.

SAKAMORI, M. M. **Modelagem 5D (BIM): processo de orçamentação com Estudo sobre controle de custos e valor agregado para empreendimentos de construção civil**. 2015.

SILVA, P. D. M. **Aplicação de técnicas BIM à construção modular com Painéis Sandwich**. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. 2012.

SILVA, J. M. S. **Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Portugal, 2013.

SILVA FILHO, A. L. et al. **Construção de Imóveis Residenciais com o sistema Construtivo Modular**. 2019.

Special Events. **Crystal Palace – História.** Disponível em <<https://www.specialevents.com.br/historia/>>. Acesso em 10 out.2021.

TATUM, C. B.; VANEGAS, J. A.; WILLIAMS, J. M. **Constructability Improvement Using Prefabrication, Preassembly and Modularization.** Stanford: Stanford University. 1987.

Tecnosil. **Plataforma BIM: Quais as Principais Características e Por Que Ela Contribui Para Construções Sustentáveis?** Disponível em <<http://www.tecnosilbr.com.br/conteudo/?p=324>>. Acesso em 11 out.2021.

TSCHIPTSCHIN, A. P. **Tratamento Térmico de Aços.** EPUSP. Material do Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo. 2010. Disponível em: <<http://www.pmt.usp.br/pmt2402/TRATAMENTO%20T%C3%89RMICO%20DE%20A%C3%87OS.pdf>>. Acesso em: 25 set.2021.