



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

JAIRO JOSÉ FRUTUOSO JÚNIOR

**MODELAGEM PARAMÉTRICA 3D EM BIM ORIENTADA
AO PROJETO DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE
EDIFÍCIOS EM *LIGHT STEEL FRAME***

**NATAL-RN
2018**

Jairo José Frutuoso Júnior

Modelagem paramétrica 3D em BIM orientada ao projeto de fabricação e montagem de edifícios em *Light Steel Frame*

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Reymard Sávio Sampaio de Melo

Natal-RN
2018

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Frutuoso Júnior, Jairo José.

Modelagem paramétrica 3D em BIM orientada ao projeto de fabricação e montagem de edifícios em Light Steel Frame / Jairo José Frutuoso Júnior. - 2018.

19 f.: il.

Artigo Científico (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil. Natal, RN, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Reymard Sávio Sampaio de Melo.

1. BIM - TCC. 2. Modelagem paramétrica - TCC. 3. Light steel frame - TCC. 4. Projeto de fabricação e montagem - TCC. I. Melo, Reymard Sávio Sampaio de. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624:72.02

Jairo José Frutuoso Júnior

Modelagem paramétrica 3D em BIM orientada ao projeto de fabricação e montagem de edifícios em *Light Steel Frame*

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Artigo Científico, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 27 de novembro de 2018:

Prof. Dr. Reymard Sávio Sampaio de Melo – Orientador

Prof. MsC. Elton Cortês Rocha Siqueira Filho – Examinador interno

Eng^a. Maria Luiza Abath Escorel Borges – Examinador externo

Natal-RN
2018

RESUMO

MODELAGEM PARAMÉTRICA 3D EM BIM ORIENTADA AO PROJETO DE FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE EDIFÍCIOS EM *LIGHT STEEL FRAME*

A industrialização da construção civil tem levado a processos de projeto e de construção mais rápidos e eficientes, ampliando o uso de sistemas construtivos pré-fabricados e de tecnologias da informação e comunicação. Poucos estudos na literatura científica foram encontrados a respeito desse tema. Nesse sentido, este trabalho teve como proposta apresentar um fluxo de trabalho para modelagem 3D do sistema construtivo *Light Steel Frame* (LSF) através do uso de uma ferramenta de Modelagem da Informação da Construção (BIM). Adotou-se como método de pesquisa o estudo de caso através da modelagem de um protótipo, com seus componentes e subsistemas desenvolvidos na ferramenta *Autodesk Revit*. O trabalho teve como contribuição a produção de uma biblioteca de componentes paramétricos com suporte as etapas de apoio a produção da construção. Com os resultados obtidos, esse estudo se mostra fundamental para a melhoria dos processos construtivos e a incorporação de novas tecnologias na cadeia produtiva da indústria da construção civil.

Palavras-chave: BIM. Modelagem paramétrica. *Light Steel Frame*. Projeto de fabricação e montagem.

ABSTRACT

DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY ORIENTED PARAMETRIC 3D MODELING IN BIM OF LIGHT STEEL FRAME BUILDINGS

The industrialization of civil construction industry has led to faster and more efficient design and construction processes, expanding the use of prefabricated building systems and information and communication technologies. Few studies in the scientific literature have been found on this subject. In this sense, this work proposed to present a framework for Light Steel Frame (LSF) constructive systems 3D modeling through the use of a Building Information Modeling (BIM) tool. The case study was adopted as research method through the modeling of a prototype, with its components and subsystems developed in the Autodesk Revit tool. The work had as contribution the production of a library of parametric components supporting the steps of building production design. With the results obtained, this study is fundamental for the improvement of the construction processes and the incorporation of new technologies in the productive chain of the civil construction industry.

Keywords: BIM. Parametric design. Light Steel Frame. Design for manufacturing and assembly.

INTRODUÇÃO

A industrialização da produção é resultado da busca por processos de trabalho racionalizados e mais eficientes, associados a redução de custos e melhoria na produtividade. Esses processos ocorrem através da produção em série e em larga escala de produtos padronizados. No ambiente construído, o produto final – o edifício – possui características únicas desde o projeto até a sua implantação, não permitindo sua padronização. Nesse sentido, a industrialização na construção civil não ocorre por meio de seu produto final, e sim de seus subprodutos, deslocando parte do trabalho do canteiro de obras para o galpão da indústria (FABRÍCIO, 2013).

Nesse contexto, a industrialização da construção exige a utilização de sistemas construtivos alternativos que permitam a pré-fabricação de seus componentes e racionalização do processo executivo. Dessa forma, características como rapidez construtiva, leveza e menor desperdício são requisitos essenciais para a racionalização, tornando as estruturas de tipologia metálica uma potencial opção frente ao processo de industrialização (JARDIM, 2010). Dentre os sistemas dessa tipologia, destaca-se o *Light Steel Frame* (LSF), um sistema de concepção racionalizada cujo quadro estrutural pertence à família dos perfis de aço formados a frio (PFF).

No caso do LSF, por ser um sistema construtivo com componentes e subsistemas industrializados, há a necessidade de se fazer um planejamento prévio e sistemático da execução da obra. Nesse sentido, o projeto se torna uma etapa fundamental para o sucesso do empreendimento, sendo imperativo contemplar previamente as atividades de apoio à produção e execução nas etapas de projeto, levando em consideração o local de produção e a sequência de atividades para montagem. (VIVAN; PALIARI, 2012).

De acordo com Fabrício (2002), a antecipação das etapas de produção é realizada com o desenvolvimento simultâneo do processo de produção, através do desenvolvimento de projetos para produção, e da concepção do projeto do produto. Essa metodologia, segundo Martini (2016), pode ser viabilizada com o uso de tecnologias da informação e da comunicação, como a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* – BIM), por serem capazes de dar suporte aos processos de produção da construção industrializada.

Como estudo preliminar, realizou-se uma busca por artigos científicos indexados em bases de dados com a finalidade de estabelecer o que já vem sendo pesquisado na literatura científica com relação ao processo de projeto em BIM para sistemas construtivos pré-fabricados. Foram utilizadas as bases *Scopus*, *SciELO* e *ScienceDirect*. Inicialmente, os termos de busca utilizados foram BIM em conjunto com *off-site* e *prefab**. Em seguida, em uma nova busca, foi adicionado o termo “*Design For Manufacturing And Assembly*” de forma simultânea com os anteriores com o objetivo de incluir pesquisas que abordem as etapas de produção no processo de projeto.

Foram encontrados relativamente poucos trabalhos na literatura científica a respeito do processo de projetos digitais em BIM associados aos sistemas pré-fabricados, sendo a maioria concentrada nos sistemas em concreto (Quadro 1). Nesse cenário, o presente trabalho tem como proposta apresentar um fluxo de trabalho para modelagem paramétrica 3D, levando em consideração as etapas de apoio a produção e execução de edifícios em LSF, através do uso de uma ferramenta BIM. O trabalho foi realizado no sentido de responder as seguintes questões:

- 1) Como modelar os componentes do sistema LSF em uma ferramenta BIM para elaboração de projetos de fabricação e montagem?
- 2) Quais são os parâmetros relevantes para conceber as etapas de apoio a produção numa modelagem paramétrica?

Quadro 1 – Estudos que contemplam a adoção de BIM no projeto de sistemas construtivos pré-fabricados.

Sistema construtivo	Tema abordado	Referência
Concreto pré-moldado	Diretrizes para adoção de BIM em projeto de fachadas pré-fabricadas.	El Debs; Ferreira (2014)
	BIM 4D aplicado à gestão logística	Bataglin <i>et al.</i> (2018)
	BIM aplicado ao projeto de fabricação e montagem.	Yuan; Sun; Wang (2017)
Wood-frame	Realidade aumentada aplicada a um painel pré-fabricado em ferramenta BIM.	Cuperschmid; Grachet; Fabrício (2016)
	Plugin para projeto de madeiramento automático em ferramenta BIM	Liu <i>et al.</i> (2018)
Alvenaria modulada (principal) <i>Light Steel Framing</i> (secundário)	Criação de plugin em ferramenta BIM.	Romcy <i>et al.</i> (2014)
Sistemas pré-fabricados em geral.	Estudo sobre adoção de BIM em sistemas pré-fabricados	Abanda; Tah; Cheung (2017).

Fonte: Autor.

REVISÃO DE LITERATURA

Elaborar um fluxo de trabalho para modelagem 3D em uma ferramenta BIM exige um aprofundamento sobre o sistema construtivo abordado e sobre a inclusão da modelagem da informação da construção no processo de concepção do projeto.

O sistema construtivo

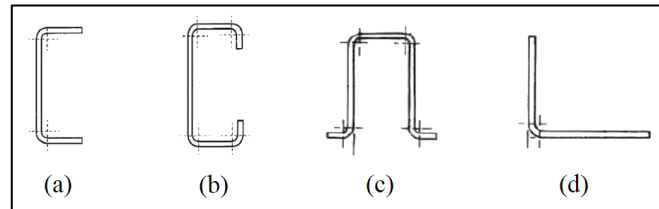
A origem do LSF remonta ao início do século XIX através da construção, pelos colonizadores americanos, de habitações em um sistema de madeira conhecido por *Wood Frame*, tornando-se a tipologia residencial mais comum nos Estados Unidos. Após a Segunda Guerra, com a evolução da industrialização e dos processos de fabricação, os perfis de madeira, eventualmente, passaram a ser substituídos pelos perfis de aço, agregando princípios de racionalização, normalização e pré-fabricação, dando origem ao LSF (SANTIAGO; FREITAS; CASTRO, 2012).

No Brasil, o LSF não possui uma norma específica para o sistema. No entanto, componentes de seus subsistemas já foram normatizados. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por exemplo, estabelece requisitos gerais, padronização e métodos de ensaio para os perfis utilizados no LSF por meio das normas NBR 15253: Perfis de aço para painéis estruturais reticulados – requisitos gerais e da NBR 6355: Perfis de aço formados a frio – padronização. Outros órgãos, como o Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA) e o Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), ligado ao Ministério das Cidades, também já elaboraram manuais e diretrizes para incentivar sua implementação.

A diretriz N° 03 do SINAT o caracteriza como um conjunto de três subsistemas: paredes, entrespis e cobertura, compostos por: quadros estruturais; componentes de fechamento e contraventamento, isolantes térmicos e absorventes acústicos, sistemas de fixação, juntas de vedação e revestimentos compatíveis. Os principais materiais utilizados como fechamento são as chapas delgadas de OSB (*Oriented Strand Board*), as placas cimentícias, o PVC rígido e o gesso acartonado (*drywall*). Essas chapas são montadas em conjunto com isolantes térmicos e absorventes acústicos que podem ser feitos em placas de lã de rocha ou de vidro.

Os quadros estruturais são formados por perfis de aço zincado conformados a frio. Segundo Campos (2014), os perfis em U simples e em U enrijecido (Ue) são os mais utilizados para elementos de guias e montantes, sendo possível encontrar, também, outros elementos com seções diferenciadas, como o perfil em cartola e a cantoneira (Figura 1).

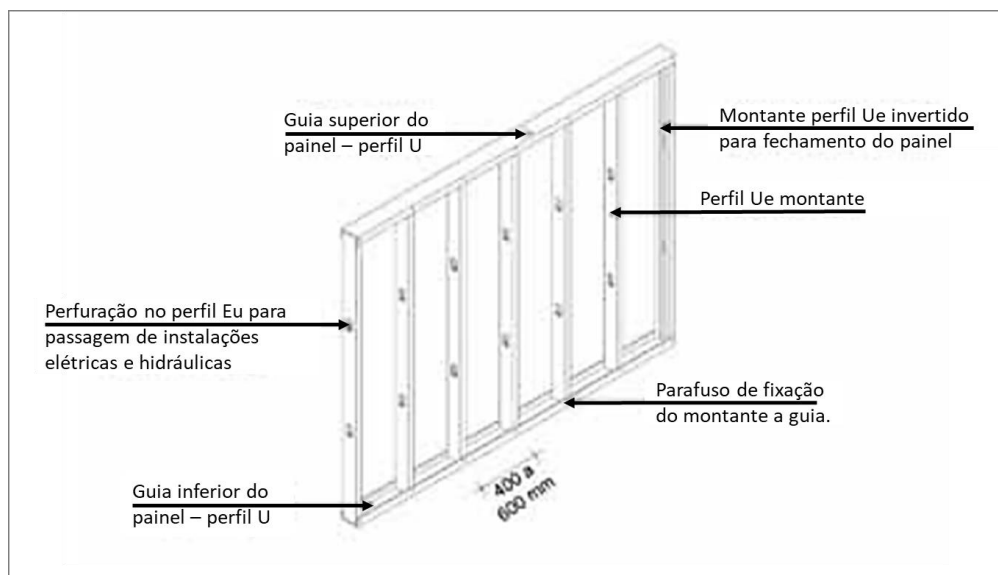
Figura 1 - Tipos de perfis comerciais. (a) Perfil U simples; (b) Perfil U enrijecido; (c) Perfil cartola; (d) Cantoneira de abas iguais.



Fonte: Adaptado de Campos (2014)

A NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações – Requisitos gerais (ABNT, 2014) define painel reticulado como um sistema plano constituído de componentes discretos, representado por perfis de aço solidarizados entre si, podendo ou não ser associados a componentes de vedação. De acordo com Santiago, Freitas e Castro (2012), os painéis são compostos por determinada quantidade de elementos verticais de seção transversal tipo Ue que são denominados montantes, e elementos horizontais de seção transversal tipo U denominados guias (Figura 2). Em um contexto geral, os montantes são distribuídos de forma modular, com espaçamentos de 200, 400 ou 600 mm. Esses montantes são unidos em seus extremos inferiores e superiores pelas guias, perfil de seção transversal U simples. Sua função é fixar os montantes a fim de constituir um quadro estrutural. O comprimento das guias define a largura do painel e o comprimento dos montantes, sua altura.

Figura 2 – Painel reticulado típico em *Light Steel Frame*.



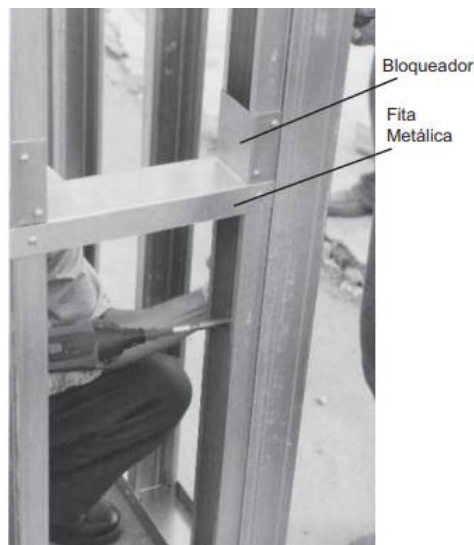
Fonte: Adaptado de Santiago; Freitas; Castro (2012)

Para evitar perda de estabilidade da estrutura provocada por esforços horizontais, são utilizados elementos de travamento horizontal tais como os bloqueadores e as fitas de aço galvanizado. A fita de aço evita a rotação dos montantes, enquanto os bloqueadores têm a

função de enrijecer o painel estrutural e são peças formadas por perfis Ue e U, posicionados entre os montantes (Figura 3).

Para os sistemas de fixação, utilizam-se parafusos e chumbadores, sendo os parafusos auto atarraxantes e auto perfurantes as conexões mais utilizadas em construções em LSF no Brasil. Os parafusos auto atarraxantes apresentam dois tipos de ponta: ponta broca e ponta agulha, especificadas de acordo com a espessura e finalidade da chapa a ser perfurada.

Figura 3 – Bloqueador e fita de aço galvanizado fixados ao painel para travamento horizontal.



Fonte: Santiago; Freitas; Castro (2012)

O processo de projeto e as etapas de apoio a produção

Koskela (1992) e Fabrício (2002) propuseram que alguns princípios da indústria da manufatura para produção em série fossem incorporados na indústria da construção civil. Um desses princípios é a utilização da metodologia da Engenharia Simultânea (ES) no âmbito do projeto. Esse princípio leva em consideração a associação sistemática das etapas de suporte e apoio a produção ao processo de projeto em busca de melhorar o desempenho dos profissionais no canteiro de obras e maximizar a construtibilidade.

Para Vivan e Paliari (2012), o projeto com base na ES deve simplificar o processo de produção através da redução do número de componentes do produto, facilitando as atividades de montagem. Essa simplificação é feita através da padronização das informações de identificação, da sequência de montagem, dos componentes e dos materiais e ferramentas necessárias para tal.

Texeira (2007) e Borsato (2009) consideram a padronização das peças um dos aspectos mais relevantes no processo de projeto de estruturas metálicas, pois está intimamente ligada a produtividade, tanto na fabricação, quanto na montagem, influenciando diretamente o custo da estrutura. Dessa forma, a falta de padronização gera problemas frequentes no detalhamento do projeto, principalmente com relação às ligações das peças, o que pode levar ao comprometimento da montagem no canteiro de obras.

Para Boothroyd, Dewhurst e Knight (2010), uma das formas de implementação dos princípios da ES no processo de projeto ocorre através da elaboração de projetos para fabricação e montagem (DFMA – *Design For Manufacture And Assembly*). Segundo os autores, o DFMA é uma abordagem impulsionada pela necessidade de produzir um grande número de produtos

de alta qualidade, sendo amplamente adotada na indústria de manufatura, como o setor automotivo.

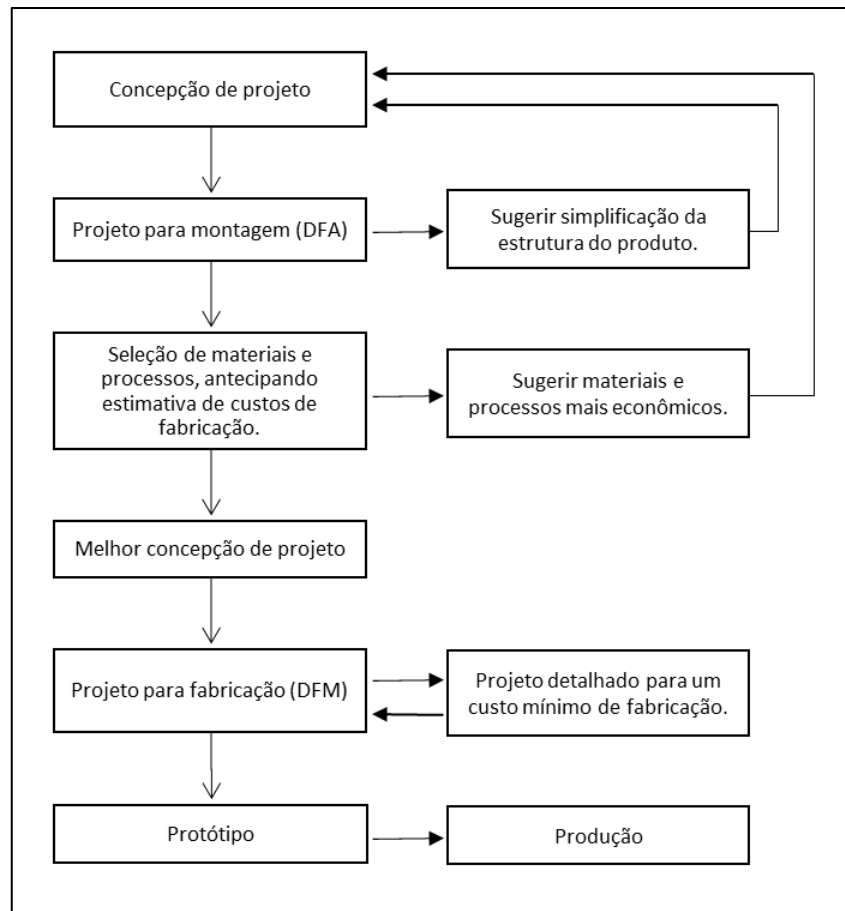
O DFMA é definido com a combinação de duas metodologias: o projeto para fabricação (DFM – *Design for Manufacture*) e o projeto para montagem (DFA – *Design for Assembly*). Sua essência é a possibilidade de estimar tanto os custos de montagem como de fabricação em estágios iniciais do projeto do produto. Essa sistemática pretende simplificar o produto com a redução do número de componentes separados através do projeto da sequência de montagem, reduzindo substancialmente seu custo.

A aplicação da sistemática do DFMA tem sido feita na indústria automotiva com a verificação de um conjunto de três critérios básicos:

- 1) Se durante a operação, a peça componente se movimenta em relação às outras partes já montadas.
- 2) Se a peça deve ser de um material diferente ou isolada de outras já montadas devido às propriedades dos materiais.
- 3) Se a peça deve ser separada de todas as outras porque, caso contrário, uma eventual montagem ou desmontagem de outra peça seria impossível.

Esses critérios servem como base para estabelecer o número mínimo de itens separados para satisfazer os requisitos do projeto de fabricação. A Figura 4 sumariza o procedimento tomado ao se utilizar o DFMA durante o processo de projeto. Primeiramente, realiza-se uma análise do processo de montagem, conduzindo a uma simplificação da estrutura do produto. Em seguida, realiza-se uma análise do processo de fabricação, estimando custos iniciais tanto com base no projeto original como no novo projeto, com a finalidade de resolver conflitos de escolha. Nesse processo, são considerados os melhores materiais e procedimentos para cada componente.

Figura 4 – Procedimento típico para implementação do DFMA.



Fonte: Adaptado de Boothroyd; Dewhurst; Knight (2010).

A modelagem da informação da construção

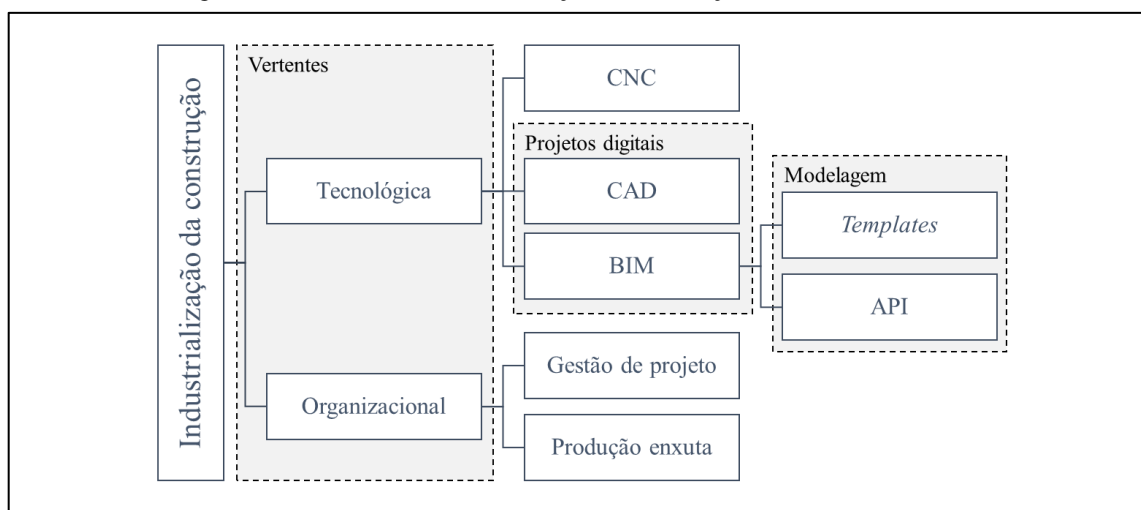
Fabricio (2013) destaca que o processo de industrialização da construção civil é flexível e ocorre através de duas vertentes: uma tecnológica, ligada a automação da produção, e outra organizacional, ligada a gestão de projeto e a produção enxuta. No contexto dos sistemas construtivos associados ao aço, como o LSF, a automação da produção ocorre durante a etapa de fabricação dos perfis com o uso de máquinas de controle numérico (CNC – *Computer Numeric Control*), associado a projetos digitais em CAD (*Computer Aided Design*) ou paramétricos em BIM.

A concepção de projetos através de modelos em ferramentas BIM requer a utilização de componentes ou objetos paramétricos capazes de representar os elementos construtivos do sistema. Nesse sentido, a parametrização significa atribuir parâmetros a um objeto com informações que podem ser alteradas pelo usuário ou através da interação com outros objetos. Desse modo, com a modelagem paramétrica, o modelo deve trazer consigo um banco de dados com atributos e especificações do produto, e não apenas um desenho de representação (FABRÍCIO, 2013).

Yuan, Sun e Wang (2017) identificaram que os objetos de sistemas pré-fabricados podem ser modelados de duas maneiras. Uma delas é através de funcionalidades nativas da própria ferramenta, com base no uso de *templates* com configurações e parâmetros predefinidos. A outra consiste na alteração da interface de programação da ferramenta (API – *Application Program Interface*) quando não existem as funcionalidades adequadas para a criação dos componentes do sistema.

Nesse sentido, o projeto de construções pré-fabricadas se torna um processo sistemático, no qual os requisitos das etapas de projeto, fabricação e montagem são elementos indispensáveis, sendo influenciados e restritos entre si. Portanto, a modelagem paramétrica de construções pré-fabricadas orientada às etapas de fabricação e montagem (DFMA) deverá ter como resultado um modelo capaz de representar tanto a informação da construção do edifício, como a informação da produção de seus componentes, estabelecendo todas as informações necessárias à sua produção e construção (YUAN; SUN; WANG, 2017).

Figura 5 – Processo de industrialização da construção civil e suas vertentes.



Fonte: Adaptado de Fabricio (2013) e Yuan; Sun e Wang (2017).

MÉTODO

Neste trabalho foi utilizado como estratégia de pesquisa o método de estudo de caso proposto por Yin (2015). Segundo esse autor, um estudo de caso consiste em uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre tal fenômeno e o seu contexto não são claramente definidos. Nesse sentido, como os limites entre a sistemática do DFMA e o seu contexto na indústria da construção civil ainda não estão bem definidos na literatura, a metodologia do estudo de caso se enquadra à proposta deste trabalho.

Nesse contexto, o estudo teve como unidade de análise o processo de modelagem paramétrica em uma ferramenta BIM integrado como parte complementar ao procedimento de implementação da sistemática DFMA, sugerido por Boothroyd, Dewhurst e Knight (2010) e ilustrado na Figura 3, de forma a permitir sua aplicação no contexto da construção civil por meio do sistema construtivo LSF.

Foi utilizado como fonte de evidência a documentação de projeto de um protótipo modular de 9 metros quadrados (Figuras 6 e 7), disponibilizada por uma empresa do ramo da construção civil atuante na região do município de Natal no estado do Rio Grande do Norte. A modelagem desse projeto através de uma ferramenta BIM permitiu a extração de informações relevantes para auxiliar a proposição de um fluxo de trabalho com a finalidade de orientar a sequência de modelagem para elaboração de projetos de fabricação e montagem de construções em LSF.

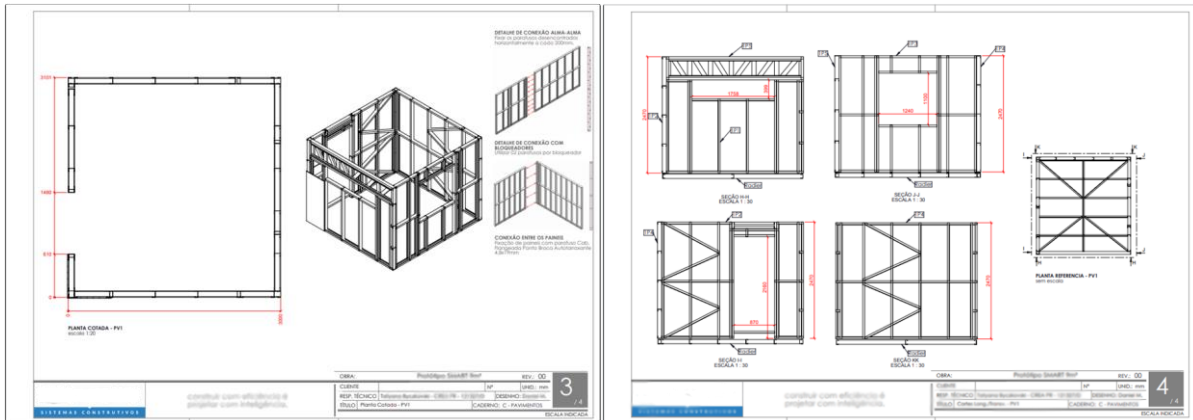
Figura 6 – Protótipo utilizado como estudo de caso para modelagem.



Fonte: SMART – Sistemas Construtivos (2017).

A ferramenta escolhida para realização do estudo foi o *software* Autodesk Revit. Esse *software* se trata de uma ferramenta BIM utilizada para gerir e manipular modelos de construção. Neste trabalho, seus recursos foram utilizados para a realização da modelagem paramétrica do protótipo em estudo. Essa modelagem teve início com a criação dos componentes básicos que fazem parte dos subsistemas de painéis estruturais reticulados do protótipo. Esses componentes são representados pelos montantes e guias constituídos por perfis de aço dobrados a frio. Posteriormente, por meio de um recurso de família aninhada, os componentes básicos foram agrupados em um componente hospedeiro para formar os subsistemas que fazem parte do modelo final do protótipo.

Figura 7 – Documentação de projeto do protótipo em estudo.



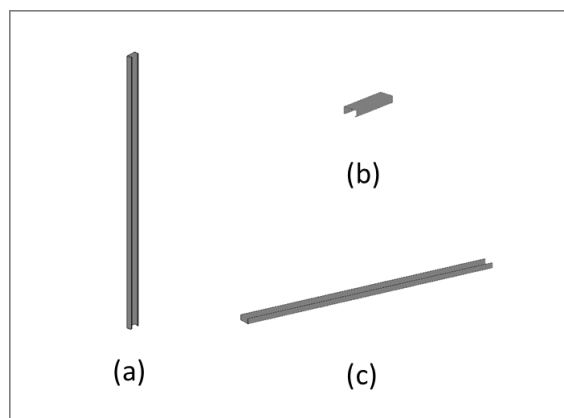
Fonte: SMART – Sistemas Construtivos (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A modelagem dos componentes seguiu um processo de estruturação planejado em etapas, definindo o seu comportamento no modelo. Esse processo teve início com a definição do modelo de família [*template*] que possui parâmetros pré-incorporados de acordo com o tipo de componente que se deseja criar. No caso dos componentes básicos em estudo, não existe disponível no Revit um modelo específico para esse tipo de componente. Portanto, foi escolhido o modelo genérico métrico e em seguida sua categoria da família foi alterada de modelo genérico para quadro estrutural.

A modelagem teve início com a criação dos parâmetros geométricos dos componentes básicos, cuja geometria do perfil é definida em função das especificações da NBR 15253, ilustradas na Figura 1. De acordo com as especificações, foram utilizados o perfil U para guias e o perfil Ue para montantes e bloqueadores. A forma dos perfis adotada foi descrita pelas dimensões de largura da mesa (bf), largura da alma (bw), espessura (t) e largura da aba (D).

Figura 8 – Geometria dos componentes básicos: (a) montante em perfil Ue; (b) bloqueador em perfil Ue e (c) guia em perfil U.

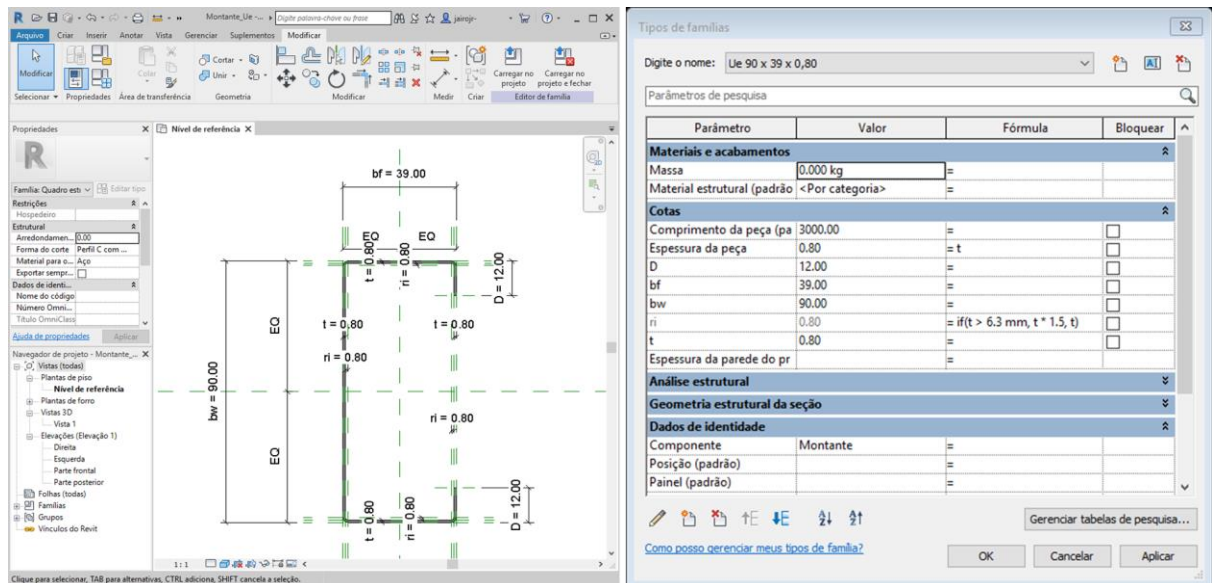


Fonte: Autor.

A Figura 8 apresenta a geometria adotada nos componentes básicos que compõem os painéis e a Figura 9 apresenta o ambiente do Revit para criação de famílias. Nesse ambiente a geometria foi definida a partir da inserção dos dados referentes a forma do componente e por meio de restrições e relações entre as cotas e os planos de referência. Como os itens modelados

possuem características que variam de acordo com as especificidades do projeto, os componentes foram desenvolvidos de modo que as variáveis geométricas e valores dos atributos pudessem ser ajustados pelo usuário na instanciação do componente no projeto. No entanto, para realizar esse tipo de modelagem seria necessária uma parametrização muito complexa com o uso de funções condicionais e booleanas. Portanto, para viabilizar a modelagem do protótipo, foi realizada uma parametrização simplificada apenas com o objetivo de conceber a modelagem proposta.

Figura 9 – Ambiente de criação de famílias: (a) definição da geometria; (b) inserção dos dados no componente.



Fonte: Autor.

O comportamento do componente dentro do ambiente de projeto é determinado de acordo com a forma que os parâmetros são criados. Os componentes básicos foram criados com atributos geométricos de variação simples e parâmetros de identidade, como função, nome do componente, código de montagem, posição e painel, e com sua geometria modelada na forma de varredura. Já para a criação dos componentes dos painéis foi necessário a utilização de um recurso de famílias aninhadas compartilhadas, permitindo a inserção dos componentes básicos, transformando a família do painel em sua família hospedeira. A Figura 10 ilustra a estruturação dos componentes básicos formando o painel reticulado.

Os parâmetros criados foram classificados de acordo com o seu tipo, agrupados de acordo com o uso e classificados segundo a natureza da disciplina na qual ele será utilizado. Foram utilizados como exemplo, para efeito deste estudo, os parâmetros mostrados no Quadro 2. Para possibilitar a posterior quantificação de informações em tabelas, os parâmetros foram desenvolvidos como parâmetros compartilhados, pois os parâmetros de família convencionais não permitem tal quantificação.

Os parâmetros compartilhados são desenvolvidos a partir da criação de um arquivo externo, permitindo a utilização dos atributos do componente em tabelas de quantitativos e em outras ferramentas BIM.

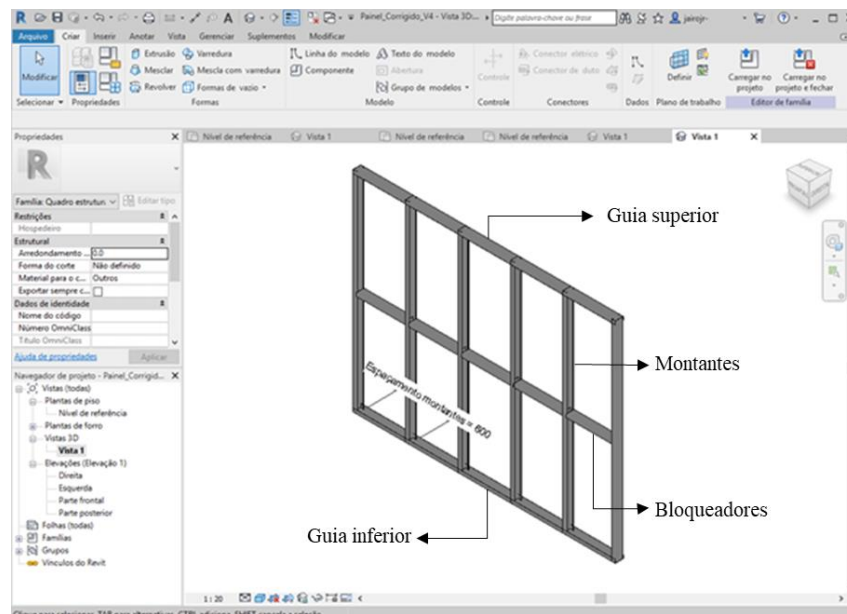
Uma vez modelados os componentes básicos e o componente do subsistema de painel, deu-se início a modelagem do protótipo. Essa modelagem, realizada no ambiente de projetos do Revit, teve início com a inserção do componente do painel. Por se tratar de uma família com componentes aninhados, os atributos dos componentes básicos também são carregados de forma automática no projeto, permitindo sua extração em tabelas. A estruturação do modelo do protótipo ocorreu com o rearranjo dos painéis, definindo seus atributos de acordo com as características geométricas específicas do protótipo.

Quadro 2 – Parâmetros adicionados nos componentes propostos.

GRUPO	PARÂMETRO	TIPO	USO
Geometria	Comprimento da peça	Linear	Cotas
	Altura da peça	Linear	Cotas
	Espessura da peça	Linear	Cotas
Identidade	Componente	Texto	Dados de identidade
	Descrição	Texto	Dados de identidade
	Código de montagem	Texto	Dados de identidade
	Posição	Texto	Dados de identidade
	Peça	Texto	Dados de identidade
	Painel	Texto	Dados de identidade
	Função	Texto	Dados de identidade
Estrutura	Material estrutural	Material	Materiais e acabamentos
	Massa	Massa	Materiais e acabamentos

Fonte: Autor.

Figura 10 – Família do painel reticulado, destacando seus componentes básicos

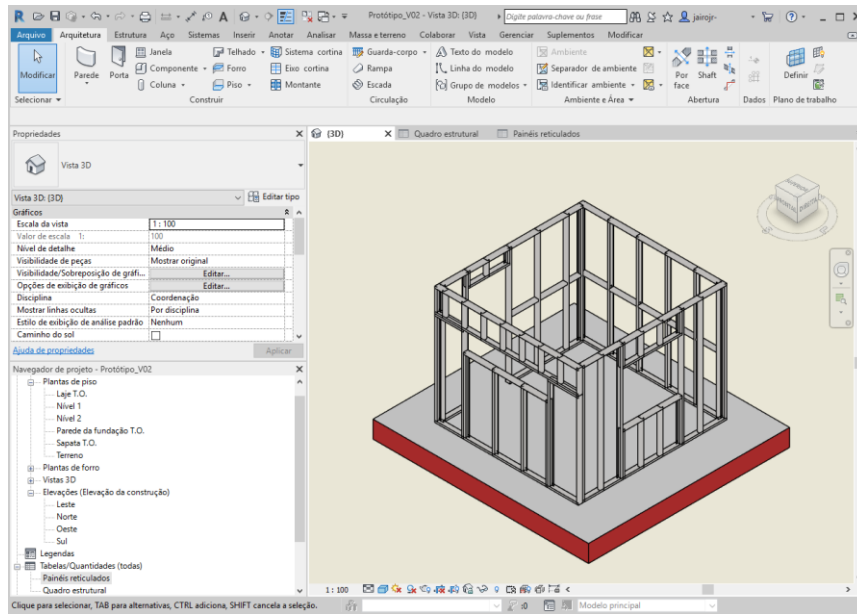


Fonte: Autor.

O modelo da construção desenvolvido, ilustrado na Figura 11, funciona como um banco de dados, permitindo, portanto, a extração de informações relevantes para as etapas de produção. A partir das informações retiradas do modelo com o uso dos recursos de tabelas de quantitativos, é possível fazer um planejamento prévio do processo de montagem do sistema. Esse planejamento permite estabelecer previamente a estruturação do arranjo do canteiro de obras ou da oficina de montagem, utilizando um tamanho apropriado das mesas de trabalho e

definição dos equipamentos de montagem, fabricação e transporte dos materiais, de acordo com as características das peças, como comprimento, quantidade, peso e sequência de montagem.

Figura 11 – Representação gráfica do modelo desenvolvido: (a) vista tridimensional do modelo da construção do protótipo; (b) e (c) tabelas com informações extraídas a partir da parametrização do modelo,



(a)

<Painéis reticulados>				
A	B	C	D	E
Componente	Posição	Material estrutural	Comprimento da peça	Altura da peça
Painel	Esquerda	ZAR - 230 MPA	1529.00	2470.00
Painel	Direita	ZAR - 230 MPA	930.50	2470.00
Painel	Frontal	ZAR - 230 MPA	600.00	1970.00
Painel	Direita	ZAR - 230 MPA	838.50	2470.00
Painel	Direita	ZAR - 230 MPA	1240.00	900.00
Painel	Direita	ZAR - 230 MPA	1240.00	470.00
Painel	Frontal	ZAR - 230 MPA	642.00	1970.00
Painel	Frontal	ZAR - 230 MPA	3000.00	500.00
Painel	Frontal	ZAR - 230 MPA	1758.00	1571.00
Painel	Esquerda	ZAR - 230 MPA	870.00	310.00
Painel	Esquerda	ZAR - 230 MPA	518.00	2470.00
Painel	Posterior	ZAR - 230 MPA	2908.00	2470.00

(b)

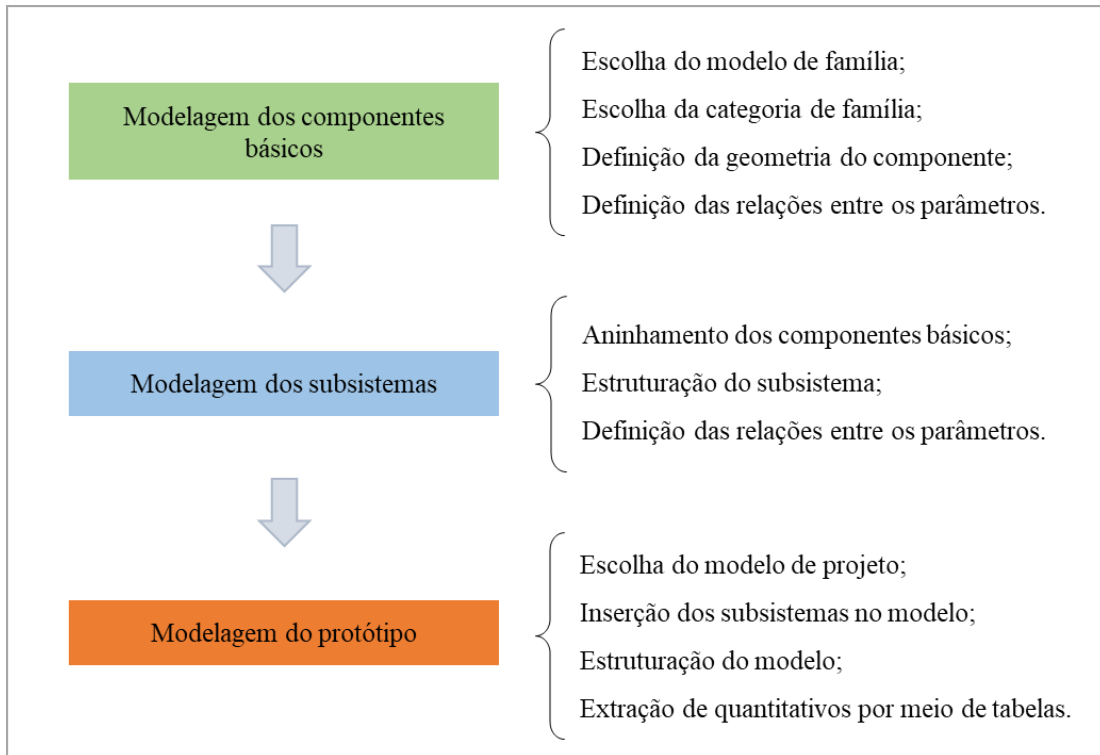
<Quadro estrutural>				
A	B	C	D	E
Componente	Tipo	Material estrutural	Espessura da peça	Comprimento da peça
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	561,00
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	561,00
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	251,00
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	561,00
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	561,00
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	561,00
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	430,00
Bloqueador	Ue 90 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	561,00
Guia	U 92 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	1529,00
Guia	U 92 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	1529,00
Guia	U 92 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	930,50
Guia	U 92 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	930,50
Guia	U 92 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	600,00
Guia	U 92 x 39 x 0,80	ZAR - 230 MPA	0,80	600,00

(c)

Fonte: Autor.

A Figura 12 sumariza o fluxo de trabalho apresentado no presente estudo. Com esta proposta, buscou-se viabilizar a elaboração de projetos de fabricação e montagem, levando em consideração, a partir dos dados extraídos do modelo, materiais e processos mais econômicos, simplificando a estrutura do projeto e possibilitando um detalhamento para uma melhor concepção e construção.

Figura 12 – Fluxo de trabalho para a modelagem paramétrica proposta.



Fonte: Autor.

CONCLUSÃO

Essa pesquisa teve como principal contribuição o estudo da implementação da teoria do projeto de fabricação e montagem na indústria da construção civil a partir da aplicação de sua metodologia no processo de projeto de um tipo de sistema pré-fabricado. Foi desenvolvida uma biblioteca de componentes por meio do uso de uma ferramenta BIM de tecnologia da informação e comunicação, permitindo uso da modelagem paramétrica para dar suporte a quantificação e extração de informações para documentação de projeto.

Através de um estudo de caso, foi possível desenvolver um fluxo de trabalho para modelagem paramétrica 3D de um sistema construtivo ainda pouco estudado no meio científico e na literatura. No entanto, devido o curto período disponível para realização da pesquisa, o trabalho se limitou a modelagem de painéis reticulados de um protótipo com uma parametrização simplificada, não abordando os elementos de fixação e outros elementos do sistema construtivo, tais como placas e membranas. Apesar dessa dificuldade, os principais resultados obtidos a partir da documentação retirada do modelo mostraram ser possível extrair informações relevantes para as etapas de apoio produção, alcançando o objetivo final da pesquisa. Dessa forma, sugere-se para trabalhos futuros a abordagem de todos os elementos construtivos do sistema aplicados em projetos de grande porte. Diante das lacunas apresentadas

na literatura, sugere-se também o estudo de outros sistemas construtivos pré-fabricados com tipologias diferentes da abordada nesse trabalho.

Com a racionalização dos processos construtivos, torna-se indispensável a incorporação de novas ferramentas, métodos e tecnologias ao processo construtivo. Nesse sentido, a metodologia de modelagem de componentes utilizada nesse estudo servirá de subsídio para implementação de bibliotecas nesta e em outras ferramentas BIM, podendo ser replicada para outros tipos de sistemas construtivos. Esse trabalho mostrou ser possível a concepção de projetos de sistemas construtivos não convencionais com auxílio de tecnologia da informação e comunicação, como as ferramentas BIM. Portanto, a partir dos resultados desse estudo, espera-se ter contribuído para a melhoria da qualidade dos processos construtivos e de projeto, levando em conta a racionalização e a incorporação de novas tecnologias na cadeia produtiva da indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS

ABANDA, F. H.; TAH, J. H. M.; CHEUNG, F. K. T. *BIM in off-site manufacturing for buildings*. *Journal of Building Engineering*, v. 14, p. 89-102, oct. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização. Rio de Janeiro, 2012.

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.

BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T.; BULHÕES, I. R. BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto *Engineer-to-order*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 173-192, jan./mar. 2018.

BORSATO, K. T. **Arquitetura em aço e o processo de projeto**. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2009.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. A. *Product Design for Manufacture and Assembly*. CRC Press Taylor & Francis Group, 3rd Edition. New York, 2010.

CAMPOS, P. F. *Light Steel Framing*: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. Dissertação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

CUPERSCHMID, A. R. M.; GRACHET, M. G.; FABRÍCIO, M. M. *Development of an Augmented Reality environment for the assembly of precast wood-frame wall from the BIM model*. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 63-78, out./dez. 2016.

EL DEBS, L. de C.; FERREIRA, S. L. Diretrizes para processo de projeto de fachadas com painéis pré-fabricados de concreto em ambiente BIM. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 41-60, abr./jun. 2014.

FABRICIO, M. M. Industrialização das construções: revisão e atualização de conceitos. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, [S.l.], v. 20, n. 33, p. 228-248, 2013.

FABRICIO, M. M. **Projeto Simultâneo na construção de edifícios**. Tese – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

JARDIM, F. G., **Análise da especificação de materiais e componentes construtivos no processo de projeto de construções em aço**. Dissertação – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

KOSKELA, L. *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Stanford, EUA, ago. 1992. *Technical Report No 72*.

LIU, H; SINGH, G; LU, M; BOUFERGUENE, A; AL-HUSSEIN, M. *BIM-based automated design and planning for boarding of light-frame residential buildings*. **Automation in Construction**, v. 89, p. 235-249, feb. 2018.

MARTINI, R. J. **Análise do ciclo de produção de estruturas em aço industrializadas para edifícios de andares múltiplos**: um estudo de caso. Dissertação – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

ROMCY, N. M. e S.; CARDOSO, D.; BERTINI, A. A.; PAES, A. Desenvolvimento de aplicativo em ambiente BIM segundo princípios da Coordenação Modular. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 23-39, abr./jun. 2014.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CASTRO, R. C. M. **Steel Framing**: Arquitetura. Rio de Janeiro: Instituto de Siderurgia, Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2012.

SMART SISTEMAS CONSTRUTIVOS. **Protótipo SMART**: caderno de detalhamento. 2017.

TEXEIRA, R. B. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas**. Dissertação – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

VIVAN, A. L., PALIARI, J. C. *Design for Assembly* aplicado ao projeto de habitações em *Light Steel Frame*. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 101-115, out./dez. 2012.

YIN, R. **Estudo de caso**: Planejamento e Métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman. 2015. 320p.

YUAN, Z., SUN, C., WANG, Y. *Design for Manufacture and Assembly-oriented parametric design of prefabricated buildings*. **Automation in Construction**, v. 88, p. 13-22, dec. 2017.