ESTRUTURA LÓGICA PARA PROGRAMAÇÃO GENERATIVA EM BIM APLICADA A ESTIMATIVAS PRELIMINARES DE CUSTO[1]

BRITO, B. L. de, UFBA, email: leaodebrito@gmail.com; ARAÚJO, C. S., UFBA, email: araujo.caroline92@gmail.com; FERREIRA, E. A. M., UFBA, email: ferreira.eam@gmail.com; COSTA, D. B., UFBA, email: dayanabcosta@ufba.br

ABSTRACT

The knowledge about cost is essential to support decisions in the early stages of a building design. Considering the absence of detailed design information in these phases, the preliminary estimates are used to provide, with an acceptable level of error, the approximate work costs value. The Building Information Modeling (BIM) has been used in cost estimations because it allows the automatic and precise elements quantification of budget components. The BIM associated with generative programming facilitates geometric modeling in BIM and allows different design solutions to be explored. Through this paper it is proposed and evaluated a modeling framework for generative programming associated with BIM, focusing on preliminary cost estimate, in order to support design decisions. In the case study presented, the parameterization of the form, the generation of a model, the extraction and analysis of building quantitative and budget were made through the software Dynamo, Revit and Excel. As result, it was verified that the proposed programming structure allows the generation of quantitative and cost estimates through accurate BIM models, corroborating with the efficiency of the decisions to be made in the initial phases of the project. This article is a partial result of a master's work, supported by CAPES.

***Keywords**: Generative programming. BIM. Preliminary cost estimating.*

1 INTRODUÇÃO

Em fases iniciais de projeto os elementos construtivos ainda não estão suficientemente detalhados, tornando difícil a elaboração de um levantamento minucioso do custo do empreendimento (LOSSO, 1995). Geralmente a determinação de custos preliminares é baseada em experiências anteriores ou em custos de metro quadrado que consideram padrão construtivo, tipo de projeto ou região (SABOL, 2008; OTERO, 2000).

As estimativas paramétricas podem ser utilizadas como ferramentas rápidas para determinação do custo em fases iniciais, se propondo a fornecer resultados com um nível de erro aceitável e apoiando tomadas de decisão (BRESSIANI; PARISOTTO; HEINECK, 2004).

Nacionalmente, existem métodos bastante difundidos e utilizados na construção civil para estimativas, destacando-se o Custo Unitário Básico (CUB). Há também estimativas feitas por volume; participação percentual das etapas de construção; unidade construída e quantidades aproximadas. Porém, esses métodos são considerados de baixa acurácia, ficando limitadas

[1] BRITO, B. L. de; ARAÚJO, C. S.; FERREIRA, E. A. M.; COSTA, D. B. Estrutura lógica para programação generativa em BIM aplicada a estimativas preliminares de custo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

às tipologias estudadas para geração dos indicadores e às soluções construtivas adotadas.

Por outro lado, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) vem auxiliando a integração entre projeto e orçamento (LIMA, 2013). A utilização de modelos BIM auxilia na avaliação das estimativas de custo desde as etapas iniciais de projeto (ANDRADE; RUSCHEL, 2011). Seu uso permite que quantitativos de materiais sejam automaticamente extraídos e atualizados quando são feitas mudanças no modelo virtual (AZHAR, 2011), reduzindo a variabilidade e aumentando a velocidade da orçamentação. Isto possibilita a exploração de mais alternativas de projeto (SANTOS et al., 2009).

Recentemente, novas estratégias têm sido utilizadas para auxiliar o desenvolvimento de modelos virtuais. Destaca-se o uso da programação generativa, que permite desenvolver um sistema cujo objetivo é oferecer soluções baseadas nas melhores possibilidades de resposta ao resultado pretendido (SILVA et al, 2016).

A programação generativa ocorre devido ao desenvolvimento de softwares para projetistas, como Generative Components (Bentley Systems), Grasshopper (McNeel e Associates) e Dynamo (Autodesk), que permitem que modelos sejam explorados de forma bastante dinâmica (HARDING; SHEPHERD, 2016), inclusive para avaliações de custos.

Este artigo tem como objetivo propor e avaliar uma Estrutura Lógica de Programação (ELP) associada ao BIM com foco em estimativas preliminares de custos, visando apoiar decisões de projeto.

A estrutura foi elaborada visando o desenvolvimento da programação visual no *Dynamo*, utilizado como plug-in do *software Revit*. Além disto, planilhas de cálculo auxiliaram o gerenciamento dos dados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estimativas Preliminares de Custo

Pode-se entender o processo de estimativa de custo como uma análise dos aspectos econômicos das decisões arquitetônicas, bem como suas influências no custo do produto final (MASCARÓ, 2010).

Nas estimativas paramétricas são compostas relações para as parcelas do custo, obtendo-se valores acurados (OTERO; HEINECK, 2004).

Uma estimativa é considerada acurada quando o valor encontrado é suficientemente próximo do valor real (CARR, 1989). Vários métodos de estimativas podem ser utilizados e a sua viabilidade de uso é função da necessidade de precisão e disponibilidade de tempo para processamento dos resultados (BRESSIANI; PARISOTTO; HEINECK, 2004).

Existem softwares que realizam estimativas preliminares de custo, como o DesignEst (WinEstimator), o Vico (Vico Software) e DProfiler (Beck Technology) (CHEUNG et al., 2014). Plebankiewicz, Zima e Skibniewski (2015) indicam

softwares para estimativa de custos baseados em BIM, incluindo Innovaya Visual Estimating; Vico Estimator; Tokmo Production System; Success Design Exchange; Timberline Extended e Winest Design Estimation Pro.

O uso de diferentes ferramentas tem como limitação a dificuldade de integração ou interoperabilidade com outros softwares. A vantagem no uso do Dynamo para geração de modelos BIM é trabalhar em conjunto com o Revit, em uma plataforma única e integrada.

2.2 BIM

De acordo com Eastman et al. (2013), BIM é uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção.

Os elementos construtivos em BIM são paramétricos, interconectados e integrados (FLORIO, 2007). Na modelagem paramétrica os objetos detêm informações sobre seu próprio comportamento e sobre relações de interação com outros objetos no modelo (KENSEK; NOBLE, 2014).

O BIM funciona como um banco de dados visual que armazena componentes da construção e fornece quantificações automáticas e precisas (SABOL, 2008). Uma estimativa de custos que parte dos quantitativos de objetos contidos em um modelo BIM permite que sejam alcançados valores mais precisos quando comparados a sistemas que utilizam representações bidimensionais (EASTMAN ET AL., 2013).

Além disto, a simultaneidade entre projeto e estimativa possibilitada pelo BIM permite que a estimativa de custos seja também uma ferramenta de projeto, minimizando o conhecimento tardio dos custos nas decisões (LIMA, 2013).

2.3 Algoritmos Generativos

O conceito do termo algoritmo é referido como um conjunto finito de regras com uma sequência de operações para solucionar um problema específico e deve atender cinco requisitos: finitude; precisão; entrada; saída e efetividade (KNUTH, 1997 apud RIBEIRO, 2015) (Figura 1).

Figura 1 – Esquema de entrada e saída de informações de um algoritmo



Fonte: Tedeschi (2014)

Através dos algoritmos podem ser criadas geometrias, que serão construídas por procedimentos expressos em uma linguagem de programação (TEDESCHI, 2014), como a linguagem de programação visual (VPL) que utiliza elementos gráficos para criar programas (KENSEK; NOBLE, 2014).

Segundo Silva (2017), os algoritmos generativos paramétricos auxiliam o projetista a encontrar a melhor conjuntura de parâmetros, visando obter o resultado que melhor atenda aos requisitos de projeto.

3 METODOLOGIA

A estratégia adotada para o desenvolvimento do trabalho é a *Design Science Research* (DSR), que tem como objetivo produzir conhecimento para solucionar problemas relevantes do mundo real (VAN AKEN, 2005).

A dissertação de mestrado, que origina esse trabalho, teve a metodologia dividida em cinco fases, a partir das quais foram desenvolvidas as etapas de pesquisa (Figura 2). O estudo apresentado corresponde à análise da ELP para geração de modelos BIM através da comparação do custo estimado com o orçamento do empreendimento.

Figura 2 – Fases de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Lacerda et al. (2013) e Takeda et al. (1990)

Para essa análise, no estudo de caso 4 (desenvolvimento), um edifício foi selecionado e, com base nos projetos arquitetônico e estrutural, sua geometria foi modelada através de programação generativa. A partir da

programação foi gerado o modelo BIM da edificação, de onde foram extraídas informações para análises relativas às quantidades e custos.

A criação do modelo teve início com a programação no Dynamo a partir da ELP e contou com cinco níveis de estruturação: a) Parâmetros de entrada (distância entre eixos, níveis construtivos e linhas guia das vedações); b) Gerência dos parâmetros de entrada (organiza e trata as informações do nível anterior); c) Listas de pontos de referência; d) Listas de linhas de referências; d) Atribuição das famílias.

Depois do modelo pronto foi realizada a extração dos quantitativos e a determinação do custo estimado a partir das composições do empreendimento de referência. A ELP foi avaliada com base na comparação entre os valores do custo estimado a partir do modelo e o orçamento detalhado.

4 ESTUDO EXPERIMENTAL

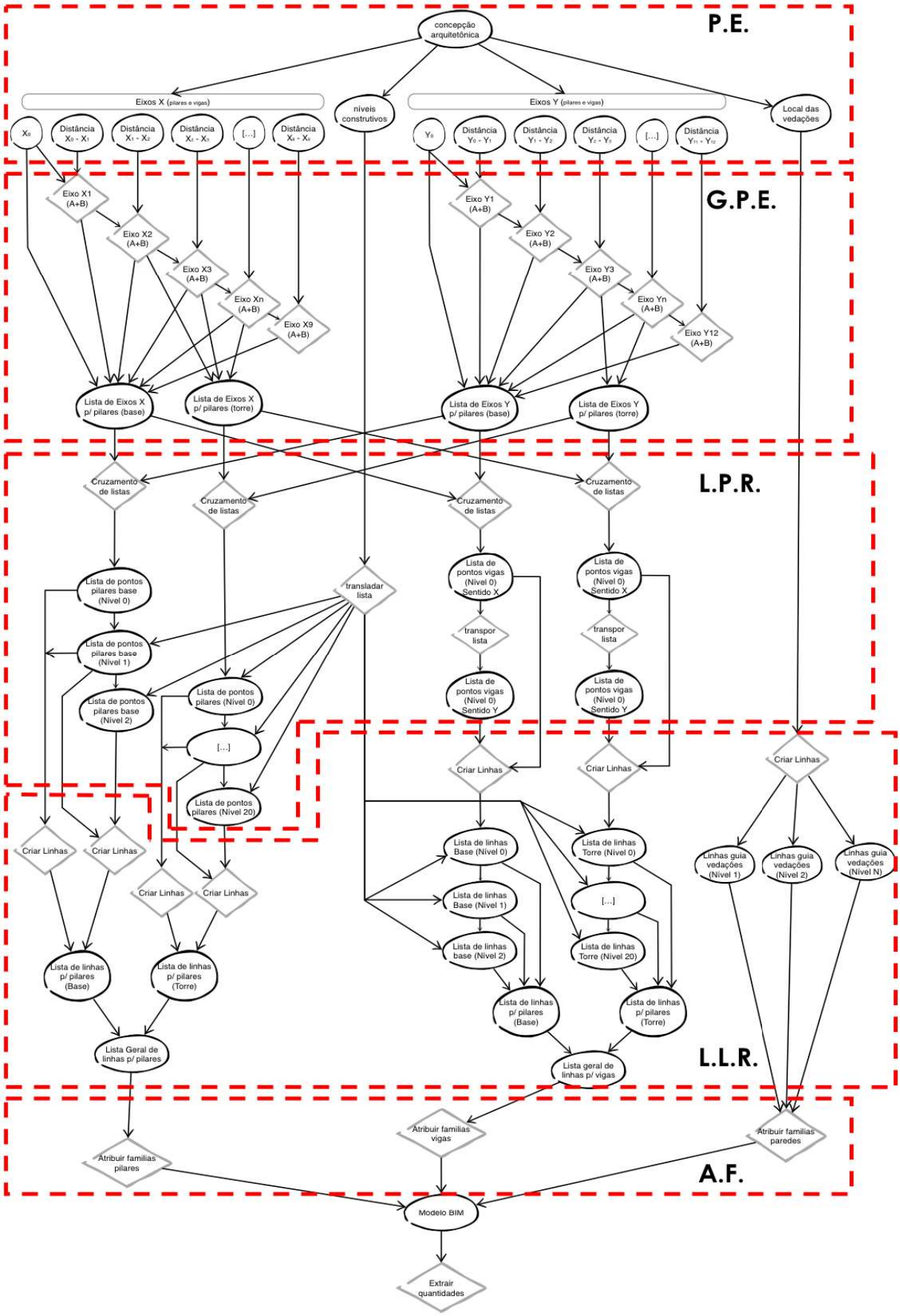
A ELP visou organizar a sequência de geração do modelo BIM, desde os parâmetros de entrada, passando pela organização desses parâmetros, pela geração dos pontos de controle e das linhas de referência, até a atribuição das famílias paramétricas (Figura 3)

Seguindo a ELP elaborada, a forma do edifício foi programada no *Dynamo* (Figura 4). Com a programação foi gerado o modelo BIM (Figura 5), do qual foram extraídos quantitativos utilizados tanto para estimar o custo dos sistemas modelados quanto para a obtenção do custo total da edificação.

A partir do modelo foram levantados os quantitativos para as etapas de superestrutura, alvenarias, cobertura e revestimento externo. Após relacionar os dados de quantidades obtidos com as composições de custo unitário do empreendimento, os custos por etapa foram estimados e comparados com os valores presentes no orçamento do empreendimento, verificando-se a eficácia da estimativa (Tabela 1).

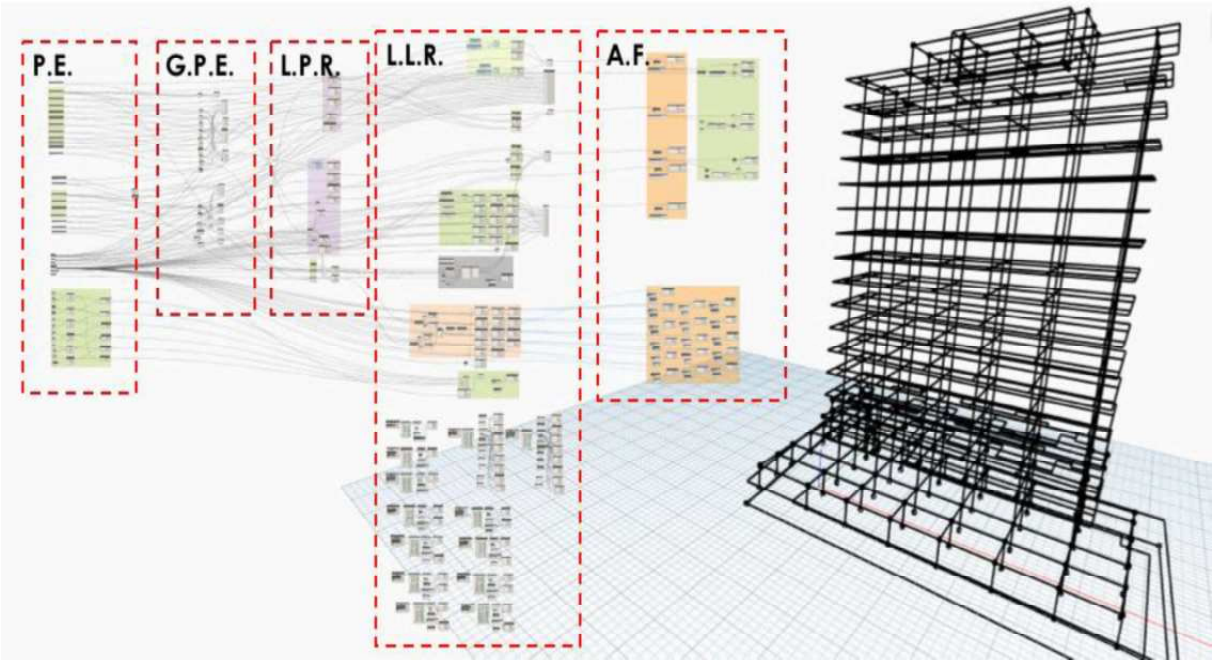
Na comparação entre o custo orçado e o custo estimado nota-se que a maior diferença entre estes corresponde a 21,55%, na etapa de revestimento externo, enquanto a menor diferença corresponde à etapa de cobertura, com 1,43% de diferença.

Figura 3 – Estrutura Lógica para Programação generativa de edifícios



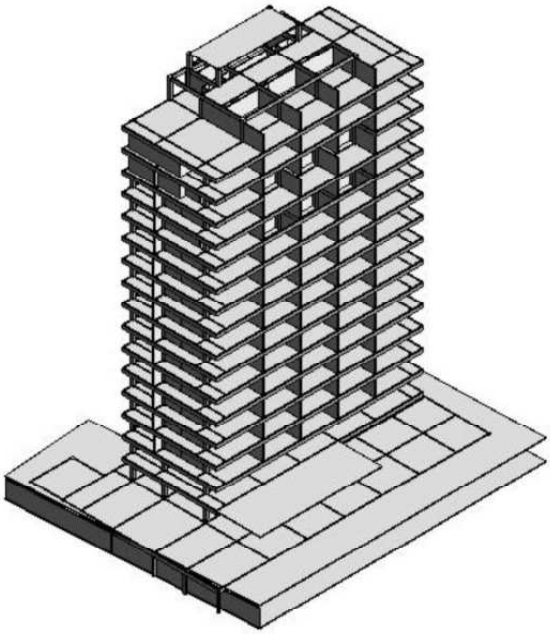
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4 – Estrutura da programação no *Dynamo*



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 5 – Modelo BIM gerado com o *Dynamo* no *Revit*



Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 1 – Comparação entre orçamento e estimativa das etapas

Etapa	**Orçamento Real (empreendimento)**	**Custo Estimado (método proposto)**	**Erro percentual**
Superestrutura	R$ 1.882.145,65	R$ 1.770.916,45	-5,91%
Alvenarias	R$ 286.307,93	R$ 268.764,16	-6,13%
Cobertura	R$ 5.633,19	R$ 5.713,48	1,43%
Revestimento Externo	R$ 773.346,44	R$ 606.670,86	-21,55%

Fonte: Elaborado pelos autores

A diferença apresentada no revestimento externo se justifica pela dificuldade na quantificação de viradas e acabamentos nas áreas de esquadrias e varanda, além da variabilidade de especificações existentes no projeto, fatores que dificultam a modelagem através de programação, prejudicando a quantificação e, consequentemente, a estimativa dos custos. Apesar de ser possível desenvolver uma programação contemplando estas variações, o uso de algoritmos generativos se mostra mais viável em casos com padronizações de soluções técnico-construtivas.

O custo estimado total foi alcançado através da complementação com base nas participações média por etapa de obra para edifícios residenciais com mais de 10 pavimentos. Essas participações foram determinadas através do tratamento estatístico das etapas do empreendimento trazido pelas revistas Guia da Construção e Construção e Mercado (março 2009 a abril 2013). Sendo assim, considera-se que 34,8% do valor total corresponde ao custo alcançado por quantificação direta no modelo BIM e 65,2% corresponde às etapas de obra não quantificadas de forma direta.

O valor alcançado foi comparado com o orçamento real e com o valor estimado através do CUB (R-16 Padrão Alto de Julho/2010) do período de orçamento do empreendimento para verificação e comparação do método proposto (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação entre orçamento real e valor alcançado através do método proposto e CUB

	Comparação de custos	
Valor Orçado	R$ 7.259.135,01	100%
Método	**Valor**	**Erro percentual**
Método proposto	R$ 7.772.546,27	7,07%
CUB	R$ 8.471.152,07	16,70%

Fonte: Elaborado pelos autores

Com a análise dos dados obtidos neste estudo é possível notar que o custo estimado através do método proposto alcança um valor mais próximo ao valor do orçamento do empreendimento, apresentando 7,07% de diferença, enquanto que através do CUB a diferença é de 16,70%.

5 CONCLUSÕES

A proximidade dos valores de orçamento obtidos no estudo realizado com relação ao orçamento real permite considerar a solução proposta, Estrutura Lógica de Programação (ELP) para algoritmos generativos, como uma alternativa satisfatória para estimativas preliminares de custos, visando apoiar decisões de projeto.

A avaliação dos resultados obtidos com o modelo gerado foi considerada adequada para a solução projetual analisada, sugerindo a possibilidade de utilização da referida estrutura lógica para outros estudos preliminares de custos.

A avaliação do processo de programação sugere que o uso de algoritmos generativos se mostra mais viável em casos com padronizações de soluções técnico-construtivas.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq, pelo apoio recebido através de bolsas para os pesquisadores. Ao Prof. Luiz Fernando Mahlmann Heineck, pela contribuição na discussão dos indicadores de custos por etapa de obra.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. Building Information Modeling (BIM). In: KOWALTOWSKI, D. C. C. K. et al. **O processo de projeto em arquitetura:** da teoria à tecnologia. 1. ed., cap. 21, p. 421-442. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 504p.

AZHAR, S.; Building Information Modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. **ASCE Journal of Leadership and Management in Engineering**, v. 11, p. 241-252, 2011.

BRESSIANI, L.; PARISOTTO, J. A.; HEINECK, L. F. Análise de variáveis geométricas utilizadas nas estimativas preliminares de custo. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2004.

CARR, R. Cost-Estimating Principles. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 115, n. 4, 1989.

CHEUNG, F. K. T. et al. Early stage multi-level cost estimation for schematic BIM models. **Automation in Construction**, v. 27, p. 67-77, 2012. Disponível em: <10.1016/j.autcon.2012.05.008>. Acesso em: 15 jun. 2018.

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. 500p.

FLORIO, W. Contribuições do building information modeling no processo de projeto em arquitetura. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMACAO E COMUNICACAO NA CONSTRUCAO CIVIL, 3., 2007, Porto Alegre. **Anais**… Porto Alegre: ANTAC, 2007.

HARDING, J. E.; SHEPHERD, P. Meta-Parametric Design. **Design Studies**, v. 52, p. 73-95, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.005>. Acesso em: 12 jun. 2018.

KENSEK, K. M.; NOBLE, D. E. **Building Information Modeling**: BIM in current and future practice. 1 ed. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2014. 397p.

LACERDA, D. P. et al. **Design Science Research**: método de pesquisa para a engenharia de produção. Gestão & Produção, v. 20, n. 4, 2013, São Carlos. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-530x2013005000014>. Acesso em: 18 jan. 2018

LIMA, F. S. A**. Custo unitário geométrico:** uma proposta de método de estimativa de custos na fase preliminar do projeto de edificações. 2013. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LOSSO, I.R. **Utilização das características geométricas da edificação na elaboração de estimativas preliminares de custos:** estudo de caso em uma empesa de construção. 1995. 146p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) **–** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. 5 ed. Porto Alegre: Masquatro Editora Ltda, 2010. 192p.

OTERO, J.A. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativa de custos na construção de edifícios:** estudo de caso voltado para a questão da variabilidade**.** 2000. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) **–** Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

OTERO, J. A.; HEINECK, L. F. M. In I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2004, São Paulo. **Anais**… Porto Alegre: ANTAC, 2004.

PLEBANKIEWICZ, E.; ZIMA, K.; SKIBNIEWSKI, M. Analysis of the first polish BIM-based cost estimation application. **Creative Construction Conference 2015**, p. 405**–**414, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.064>. Acesso em 28 jun. 2018.

RIBEIRO, F. **Sistema generativo de projeto aplicado ao desenho e otimização da estrutura de um Shed**. 2015. 122p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) **–** Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.

SABOL, L. Challenges in cost estimating with building information modeling. **Design + Construction Strategies**, Washington, 2008.

SANTOS, A. P. L. et al. A utilização do BIM em projetos de Construção Civil. **IBEROAMERICAN JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGENEERING (IJIE)**, v. 1, n°2, p. 24-42, Florianópolis, 2009.

SILVA, F.T. Concepção Interativa e parametrizada de edifícios de múltiplos pavimentos em concreto armado. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos,

v.12, n.1, p. 27, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v12i1.99212>. Acesso em: 26 out. 2017.

SILVA, F.; ACCIOLY, L.; LAURINDO, B.; TOLEDO, A. O modelo evolucionário no processo de projeto: aplicações na arquitetura contemporânea. In**:** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

TAKEDA, H. et al. Modeling Design Processes. **AI Magazine**, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1609/aimag.v11i4.855>. Acesso em: 19 mar. 2018.

TEDESCHI, A. **Algorithms Aided Design:** Parametric Strategies Using Grasshopperr. 1 ed. Italy: Le Penseur, 2014. 495p.

VAN AKEN, J. E. Management research as a design science: articulating the research products of mode 2 knowledge production in management**. British Journal of Management**, v. 16, p. 19-36, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8551.2005.00437.x>. Acesso em: 18 jan. 2018.