

Seleção de sistemas construtivos utilizando BIM e método de tomada de decisão multicritério

E. L. Machado^{1*} , N. C. Sotsek¹ , S. Scheer¹ , A. de P. L. Santos¹ 

* Autor de Contato: eduarda.lauck@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.246>

Recepção: 08/08/2017 | Aceitação: 21/03/2018 | Publicação: 30/04/2018

RESUMO

O objetivo deste estudo é identificar se o uso de um software de plataforma BIM associado ao método AHP de tomada de decisão, pode auxiliar no processo decisório, durante a fase de concepção de projetos. Três sistemas construtivos são analisados: Alvenaria Estrutural, *Light Steel Framing* e *Light Wood Framing*. A modelagem em BIM possibilitou simulações de cenários e facilitou a extração de dados, que, por sua vez, auxiliaram os especialistas na seleção do sistema construtivo mais adequado, considerando os critérios estabelecidos. A originalidade dessa pesquisa está em considerar vários fatores relevantes à escolha do sistema construtivo, e sua limitação está na modelagem somente das paredes dos sistemas construtivos analisados, e não da edificação completa.

Palavras-chave: sistemas construtivos; modelagem da informação da construção; BIM; AHP.

Citar como: E. L. Machado, N. C. Sotsek, S. Scheer, A. de P. L. Santos (2018), "*Seleção de sistemas construtivos utilizando BIM e método de tomada de decisão multicritério*", Revista ALCONPAT, 8 (2), pp. 209 – 223, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.246>

¹ Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Curitiba, Brasil.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo, No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT Internacional A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2019, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2018.

Selection of constructive systems using BIM and multicriteria decision-making method

ABSTRACT

The objective of this study is to identify if the use of a BIM platform software associated to AHP decision-making method can assist in the decision making process during the project design phase. Three construction systems are analyzed: Structural Masonry, *Light Steel Framing* and *Light Wood Framing*. The BIM modeling enabled scenario simulations and facilitated the extraction of data, which, in turn, assisted the specialists in the selection of the most appropriate constructive system, considering the established criteria. The originality of this research is to consider several factors relevant to the choice of the constructive system, and its limitation is in the modeling only of the walls of the analyzed constructive systems, and not of the complete building.

Keywords: constructive systems; building information modeling; BIM; AHP.

Selección de sistemas constructivos utilizando BIM y método de toma de decisión multicriterio

RESUMEN

El objetivo de este estudio es identificar si el uso de un software de plataforma BIM asociado al método AHP de toma de decisión, puede auxiliar en el proceso decisorio durante la fase de concepción de proyectos. Se analizan tres sistemas constructivos: Albañilería estructural, *Light Steel Framing* y *Light Wood Framing*. El modelado en BIM posibilitó simulaciones de escenarios y facilitó la extracción de datos, que a su vez ayudaron a los especialistas en la selección del sistema constructivo más adecuado, considerando los criterios establecidos. La originalidad de esta investigación está en considerar varios factores relevantes a la elección del sistema constructivo, y su limitación está en el modelado solamente de las paredes de los sistemas constructivos analizados, y no de la edificación completa.

Palabras clave: sistemas constructivos; modelado de la información de la construcción; BIM; AHP.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, os projetistas do setor da construção civil escolhem os sistemas construtivos¹ de duas maneiras: com base em características conhecidas ou selecionando sistemas que foram utilizados em projetos anteriores (Jalaei et al., 2015).

No Brasil, segundo Molina e Calil Júnior (2010), apesar dos avanços tecnológicos alcançados nesse setor, ainda se utiliza o mesmo sistema construtivo desde a época da colonização do país, ou seja, o sistema de alvenaria, essencialmente artesanal, baseado no empilhamento de blocos.

Sabe-se que esta prática da construção civil é favorecida em detrimento de sistemas construtivos alternativos. Isso acontece por causa das normas e instituições preestabelecidas, dos investimentos em infraestrutura já existentes, do conhecimento técnico consolidado e, também, devido ao grande número de agentes (proprietários, projetistas, empreiteiros e fornecedores) da cadeia de suprimento do setor que sempre atuaram com estes insumos e técnicas (Mahapatra et al., 2012).

Entretanto, para Jadid e Badrah (2012), uma elevada demanda por materiais vem surgindo em função da expansão do setor de construção civil em todo o mundo. Logo, percebe-se a necessidade emergente pela busca de novos insumos.

¹ Nesta pesquisa, os autores consideram o sistema construtivo como serviço (mão de obra, material e equipamentos) necessários para execução de paredes modeladas no projeto arquitetônico.

Segundo Mahapatra et al., (2012) muitos países buscam alternativas mais eficientes para manter seus protocolos de sustentabilidade ambiental. A Finlândia, por exemplo, apresentou planos para que toda a construção no país, a partir de 2017, passe a usar recursos e insumos que atendam a meta de eficiência energética estipulada em 2010. Ainda segundo os autores, no Reino Unido, um "código para casas sustentáveis" tem estabelecido as normas para todas as novas construções desde 2008.

No Brasil, o principal sistema construtivo utilizado na construção de edificações é alvenaria. Entretanto, não se podem ignorar os impactos ambientais gerados com seu uso, principalmente devido a quantidade de resíduos gerados nos canteiros de obra. Os problemas não se restringem apenas a questão ambiental, mas também no que tange a baixa produtividade e a qualidade dos empreendimentos, ao serem comparados com outros países que possuem como base sistemas construtivos industrializados, que se caracterizam pela alta produtividade e controle do processo (Molina e Calil Júnior, 2010; Mello, 2007).

Por conseguinte, fica evidente que é imprescindível identificar outros sistemas construtivos que possam ser mais adequados para a operação do dia a dia no cenário brasileiro. Sistemas que apresentem menor impacto ambiental e que possam facilitar a manutenção futura das edificações. Baseando-se nessa problemática o software de plataforma Building Information Modeling (BIM) pode ser utilizado como recurso durante a concepção dos projetos arquitetônicos.

O BIM, segundo Succar (2008, p.5) “é um conjunto de tecnologias, processos e políticas que permitem que várias partes interessadas possam projetar, construir e operar uma instalação de forma colaborativa”. No modelo em BIM, componentes, insumos e materiais podem ser inseridos, permitindo a criação de uma base de dados acessível, que funciona como suporte para o processo de seleção de insumos e componentes para um empreendimento (Jalaei e Jade, 2014).

Dessa forma, este artigo tem como objetivo identificar se a integração do BIM em projetos arquitetônicos pode auxiliar na tomada de decisão, durante a fase de concepção do projeto, a fim de otimizar a seleção de componentes para uma construção. Para alcançar tal objetivo o artigo utiliza como base o *software* Revit® (versão 2015) da Autodesk para BIM, e o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), de tomada de decisão. Em abordagem inspirada em Marcos (2015), a proposta inovadora presente neste artigo está na integração do BIM com o AHP e no uso de não apenas um critério de seleção de sistema construtivo, mas de vários critérios considerados relevantes e destacados pela literatura.

A pesquisa analisa três sistemas construtivos: Alvenaria Estrutural, *Light Steel Framing* (LSF) e *Light Wood Framing* (LWF). As opções construtivas, mais especificamente, as paredes de cada sistema, são analisadas, comparadas e suas alternativas são avaliadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas construtivos

O aumento da competitividade entre as empresas de construção civil é crescente em todo Brasil. Essa concorrência exige estratégias empresariais que possibilitam um aproveitamento maior dos recursos e da racionalização dos processos (Milan, 2011). Neste contexto, Marcos e Yoskhioka, (2015) apontam que uma alternativa possível para racionalização e industrialização dos processos de construção civil é o uso de novas tecnologias construtivas.

Os motivos que justificam a utilização tão expressiva da alvenaria no país fazem referência a: a mão de obra não qualificada², barata e disponível em todo país; a familiaridade com a matéria-prima, que são os blocos cerâmicos ou de concreto, que é de fácil acesso e é empregada em diversas

² Neste trabalho foi adotado como mão de obra não qualificada “aquela cujo grau de instrução fica restrito ao nível médio incompleto, isso porque na categoria de nível médio são incluídos cursos técnicos profissionalizantes que poderiam qualificar, mesmo de forma limitada, os profissionais para o mercado de construção civil” (Fochezatto; Ghinis, 2011, p. 654).

obras, e por fim, ao aspecto cultural, os brasileiros valorizam a construção em alvenaria, pois garante o conforto tanto no inverno como no verão (Ferreira, 2014).

No entanto, percebe-se que este processo construtivo a base de alvenaria estrutural é ainda essencialmente artesanal, sendo marcantes aspectos como a baixa produtividade e o elevado desperdício de recursos materiais (Santiago e Araújo, 2008). Mello (2007) destaca ainda que este sistema construtivo proporciona qualidade e produtividade insatisfatórias, pouco afeito a modificações, emprega mão de obra de baixa qualificação e por consequência gera alta rotatividade.

Além das características já mencionadas, estudos setoriais do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas SEBRAE (2008) apontam que existe uma pequena participação do emprego formal na parcela total de empregados ocupados no setor de construção, o que favorece a alta rotatividade da mão de obra.

Baseado nesta realidade é que o setor de construção civil no Brasil vem buscando alternativas de sistemas construtivos mais eficazes e de menor impacto ambiental. Os sistemas construtivos pré-fabricados, como *Light Steel Framing* (LSF) e *Light Wood Framing* (LWF) representam uma alternativa aos sistemas tradicionais, visto que o controle do planejamento e do projeto dentro da indústria contribui para combate ao desperdício de materiais e a lentidão no processo de produção (Vivan, 2011).

Segundo Ferreira (2014) várias são as vantagens que a industrialização no setor de construção civil promove. Dentre elas destacam-se a maior rapidez na conclusão da obra, a eliminação de custos indiretos de difícil contabilização, maior qualidade de produto final, substituição de parte da mão de obra por equipamentos, rastreabilidade de processos, canteiro de obras mais limpo e organizado. O sistema LWF é composto por componentes estruturais de madeira, revestidos por painéis do tipo: chapa OSB, e cimentícia, que funcionam como elementos de contraventamento, e chapa de gesso. O LWF consiste num sistema construtivo industrializado e de rápida execução. Segundo Molina e Calil júnior (2010), Cardoso (2015) e Kobunbun 2014 o ambiente industrial permite que várias atividades sejam executadas simultaneamente tendo como consequência a redução de prazos de entrega e custos.

Outra vantagem apresentada nos trabalhos com relação ao sistema LWF é a matéria-prima ser renovável. Todavia, nem toda madeira pode ser utilizada para este processamento. Segundo a DATec 020-A (2015) a madeira usada para LWF deve ser tratada de forma adequada. E a mesma deve apresentar boa qualidade (sem defeitos) e com dimensões consideráveis para ser industrializada na concepção de painéis estruturais.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2017) a madeira serrada, aquela utilizada para construção, vem crescendo nos últimos anos, sendo que, de 2013 a 2014 o crescimento foi de 48%.

Por ser considerado um método construtivo novo no Brasil poucos são os fornecedores e fabricantes de produtos específicos como a placa cimentícia, a manta hidrófuga, etc., o que agrega custo à edificação (Cardoso, 2015). Outro fator de destaque é a questão de mão de obra qualificada. Kokubun (2014) destaca que é essencial para este tipo de sistema construtivo mão de obra qualificada para as operações de fabricação de painéis e de montagem e desmontagem da estrutura. Esta mão de obra, por sua vez, torna-se menos disponível, visto a necessidade de capacitar estes funcionários e trazer estes profissionais do setor madeireiro.

Além destes aspectos que devem ser considerados, o sistema sofre com barreiras culturais. A madeira ainda é considerada um material de baixa qualidade e muitos têm receio de que envolva desmatamento, afirma Cardoso (2015). Para Dias (2005), o principal problema relacionado com a barreira cultural é a falta de conhecimento e desenvolvimento tecnológico na área.

O sistema LSF apresenta características semelhantes ao LWF. A principal diferença está no uso da matéria-prima, que neste caso é o aço e não a madeira. As peças do *Light Steel Framing* são galvanizadas, formadas a frio, projetadas para suportar as cargas da edificação e trabalhar em conjunto com outros subsistemas industrializados (Sousa e Martins, 2009).

Por ser um sistema industrializado, necessita assim como o LWF, de uma mão de obra mais qualificada. (Ferreira, 2014).

O LSF é um sistema construtivo mais caro em termos de matéria-prima: o aço galvanizado (Ferreira, 2014). Porém, os custos diretos e indiretos podem ser menores, se comparados aos prazos reduzidos durante a construção e a inexistência de perdas comuns nas construções convencionais. Segundo Gomes et al. (2013), este sistema apresenta uma redução temporal de 1/3 nos prazos de construção quando comparado com o método convencional de construção em alvenaria. Sendo assim, o sistema é mais empregado quando o fator tempo de construção é mais importante que os custos.

Salienta-se que a escolha dos sistemas construtivos deve levar em consideração aspectos ambientais, econômicos, sociais. Segundo Jadid e Badrah (2012), a escolha de um insumo e por consequência do sistema construtivo está relacionada a vários critérios que incluem, mas não se limitam a:

- Durável, com baixos requisitos de manutenção;
- Produzido com recursos naturais e renováveis;
- Acessível e disponível a partir de fabricantes locais;
- Não afetam a qualidade do ar interior e são ambientalmente amigáveis;
- Não contém compostos tóxicos;
- Adaptáveis para redistribuição dos espaços internos para atender a um serviço específico;
- Custos financeiros.

Essas informações devem estar disponíveis para seleção do sistema construtivo mais adequado àquela situação. Para tanto é imprescindível a elaboração de uma base de dados, na qual estas informações estejam disponíveis durante a fase de concepção do projeto. Esta pode ser criada em parceria com os fornecedores e projetistas que já atuam na área e que possam informar com relação aos aspectos listados anteriormente (Jadid e Badrah, 2012).

2.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvido por Saaty (1990), é baseado em três princípios fundamentais: a decomposição da estrutura, a comparação dos julgamentos e composição hierárquica de prioridades. A decomposição do problema de decisão facilita a construção de hierarquias de critérios para determinar a importância de cada um deles. Tais critérios, definidos por especialistas, são analisados e comparados, dois a dois, de modo independente. Para isto, podem ser considerados dados concretos das alternativas ou julgamentos subjetivos.

Uma vez estruturada a hierarquia, as alternativas são avaliadas sistematicamente, por meio da comparação, duas a duas, segundo cada um dos critérios e uma escala numérica é atribuída a cada par de n alternativas pelos especialistas (Tabela 1). Estas escalas numéricas são utilizadas nas comparações de pares entre as alternativas de acordo com seu impacto sobre um elemento colocado em um nível superior da hierarquia (Saaty, 1990).

Tabela 1. Escala de classificação de Saaty.

Intensidade de importância	Definição
1	Igual importância
3	Importância fraca de um em detrimento de outro
5	Essencial ou forte importância
7	Demonstrou importância
9	Importância absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermédios entre os dois julgamentos adjacentes

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

A sequência de cálculos do método pode ser encontrada detalhadamente em Saaty (1990). Este método permite ainda a checagem do *ranking* obtido por meio do cálculo do índice de consistência. Entre as vantagens do AHP destacam-se a facilidade de uso e a facilidade de ajuste de sua estrutura hierárquica para lidar com problemas de diferentes tamanhos (Velasquez e Hester, 2013).

2.3 Building Information Modelling (BIM)

Segundo Eastman et al. (2014), o BIM é uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção, incluindo informações relacionadas à concepção, simulação e operacionalização através da utilização de diferentes ferramentas integradas.

Durante a concepção do projeto, o BIM pode apoiar o detalhamento do projeto, trazendo informações específicas quanto à estrutura do empreendimento, os processos de execução e inclusive na escolha do sistema construtivo mais adequado ao projeto (Jalaei e Jade, 2014).

Segundo Jalaei et al. (2015), a grande vantagem de usar o BIM para seleção de sistemas construtivos é sua função de integração e interoperabilidade de informações. Sua capacidade de incluir descrições detalhadas de um único edifício ou conjunto de edifícios pode ser importante para fazer análises precisas quanto ao empreendimento.

E ainda, no Brasil vários trabalhos vêm estudando a integração do BIM a sustentabilidade ambiental. O trabalho de Oliveira et al. (2015), por exemplo, destaca o BIM como recurso que permite abordagem de todo o ciclo de vida (ACV) da edificação, possibilitando análises durante a concepção do projeto; Marinho (2014) salienta o BIM como ferramenta para auxiliar a otimizar, por exemplo, uso de energia, água e materiais em análises integradas. Carvalho e Scheer (2015) demonstram a característica do BIM na antecipação de problemas e ineficiência do projeto. Para eles, erros muitas vezes percebidos apenas no canteiro de obras podem gerar a redução nos custos da construção e no gasto de materiais, proporcionando ganho na qualidade das obras e economia de recursos, favorecendo a sustentabilidade das edificações.

2.4 Trabalhos correlatos

Para se conhecer melhor o problema prático e examinar o potencial do tema em estudo, uma pesquisa foi realizada para identificar trabalhos recentes e correlatos publicados nos últimos cinco anos. Realizou-se a busca nas bases referenciais - ScienceDirect e Portal de Periódicos da CAPES. Foram identificados diversos trabalhos relacionados ao tema. Os trabalhos que mais se aproximaram da análise de sistemas construtivos utilizando BIM e/ou a ferramenta de apoio à tomada de decisão foram os quatro descritos a seguir.

O trabalho de Marcos e Yoshioka (2015) utilizou o BIM como ferramenta para auxiliar os gestores na escolha de insumos que proporcionam o menor impacto ambiental, comparando dois sistemas construtivos: alvenaria e light steel frame. Seu enfoque foi específico para o impacto ambiental.

A pesquisa de Jadid e Badrah (2012) criou um método de tomada de decisão para seleção de matérias durante a fase de concepção de um projeto arquitetônico. Trouxe o enfoque no método multicritério dentro dos projetos arquitetônicos.

O trabalho Jalaei et al. (2015) buscou unir os dois temas, o software de plataforma BIM (Revit) e o método de tomada de decisão. Os autores criaram um plug-in dentro do BIM para auxiliar na escolha de insumos que proporcionassem um menor impacto ambiental, analisando mais especificamente, o ciclo de vida dos materiais. Novamente, o enfoque do trabalho foi o aspecto ambiental.

Para Jobim et al. (2006) a seleção de sistemas construtivos não se caracteriza apenas pelo ato técnico ou profissional, mas deve levar em consideração o contexto em que o empreendimento está inserido, as exigências dos usuários, os recursos disponíveis, pelas condições físicas, ambientais, e os aspectos relativos à adequação de custos.

A novidade deste trabalho está na proposta de buscar analisar não apenas um fator relevante para escolha do sistema construtivo, mas alguns dos principais fatores, tais como o aspecto ambiental

relacionado aos insumos, o custo financeiro e fatores operacionais, como disponibilidade de mão de obra e materiais.

Desta forma, este tema além de relevante e pesquisado por outros autores, é fundamental, pois viabiliza desdobramento dos novos sistemas construtivos e ajuda a ampliar a incorporação de BIM na cadeia produtiva da construção civil no Brasil.

3. MÉTODO

O objetivo deste estudo é identificar se o uso de uma ferramenta BIM associada com um método de tomada de decisão multicritério pode auxiliar a decisão. Considera-se que essa integração poderá gerar um instrumento para auxiliar na escolha mais adequada do sistema construtivo, segundo os requisitos do usuário, com base não só em um critério relevante, mas buscando tratar os fatores ambientais, econômicos e operacionais dos sistemas.

A proposta do artigo está baseada no conceito de *design science* que, segundo Dresch, Lacerda e Antunes Júnior (2015, p.57) “é a ciência que procura consolidar conhecimento sobre o projeto e desenvolvimento de soluções para melhorar sistemas, existentes, resolver problemas ou, ainda, criar novos artefatos que contribuam para uma melhor atuação humana seja na sociedade, seja nas organizações”.

Assim para desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se o método de Lukka (2003), que divide o estudo em sete principais etapas: (1) Identificar um problema prático e relevante; (2) Examinar o potencial de pesquisa em conjunto com o setor-alvo; (3) Obter conhecimento teórico e prático da área; (4) Propor uma solução inovadora e desenvolver uma construção que solucione o problema identificado; (5) Implementar e testar a solução através de um caso; (6) Avaliar aplicabilidade da solução; e (7) Identificar e analisar as contribuições teóricas.

As etapas 1 a 4 foram apresentadas na primeira parte deste artigo. Na sequência será descrito como as etapas 5 a 7 foram desenvolvidas.

Na etapa “implementar e testar a solução” buscou-se através de um estudo de caso apresentar o uso de um software de plataforma BIM com o método AHP. O software de plataforma BIM escolhido para estudo foi o *software* Revit® da Autodesk (versão 2015) que segundo Suermann (2009) é o *software* mais utilizado em todo o mundo (67,08%).

O método AHP, permite estruturar formalmente os problemas, apresenta simplicidade de comparação entre pares desses e permite também checar a consistência dos pesos atribuídos (Leite e Freitas, 2012).

Para a aplicação do método AHP, foram convidados especialistas da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e do setor privado, atuantes diretos com os sistemas construtivos, que contribuíram através da sua *expertise* e experiência no assunto. A amostra adotada é não probabilística por conveniência, ou seja, foram selecionados especialistas em que os pesquisadores tinham contato prévio e que os mesmos tinham interesse em participar da pesquisa. Os especialistas são:

- A e D - pesquisadores UFPR;
- B, C e E - representantes do meio corporativo que atuam diretamente com os três sistemas construtivos no estado do Paraná.

Os especialistas consultados avaliaram os sistemas construtivos através de formulários concebidos segundo a estrutura do método AHP. Para auxílio desta parte da pesquisa foi utilizado o questionário elaborado com uso do *GoogleForms* (Disponível no link: <https://goo.gl/forms/GWo7viiJft30i1LG2>).

Para atribuir peso a cada critério estabelecido, os especialistas utilizaram da sua experiência profissional e também de um documento elaborado, com as informações encontradas na literatura a respeito de cada sistema construtivo utilizado no Brasil. Estas informações foram apresentadas na revisão bibliográfica deste artigo.

Para fazer a ponderação dos critérios e o *ranking* das alternativas, foi utilizado como base o *software SuperDecisions* (da Creative Decisions Foundation, versão 2.0.6).

Para implantação do estudo de caso foi escolhido um projeto arquitetônico. Dentre os projetos identificados uma habitação de interesse social com 42m² foi selecionada. Essa foi modelada no *software*® Revit três vezes. Uma primeira vez usando como base a construção de alvenaria estrutural, a segunda usando paredes em *Light Steel Framing* e a terceira com paredes em *Light Wood Framing*.

Em cada um dos projetos foram inseridas informações com objetivo de criar uma base de dados dentro do sistema. Estas informações, apresentadas no Tabela 2, foram coletadas em diferentes fontes de dados e foram baseadas nos critérios apresentados por Jadid e Badrah (2012).

Essas informações foram inseridas de forma manual dentro no *software* Revit que permite armazenar dados específicos para cada componente. Segundo Marcos e Yoshioka (2015), a grande vantagem de se utilizar uma ferramenta unificada como o Revit é que uma vez que se utiliza uma base de dados unificada para todo o conteúdo de informação, as modificações em um determinado documento (por exemplo, uma planta baixa do projeto arquitetônico), propagam-se para os demais documentos envolvidos automaticamente, garantindo assim a agilidade nas atualizações, modificações e confiabilidade no acesso às informações.

Na Figura 1 apresenta-se um esquema do processo de informação do Revit. Primeiramente o elemento (nesse caso, parede) é desenhado, em seguida aplicam-se os materiais e acabamentos relativos a essa parede e por fim as informações relativas ao sistema construtivo como um todo. Neste caso, ao valor de CO₂ incorporado de cada parede, o custo de cada matéria-prima, o tempo de execução e a especificação da mão de obra

Tabela 2. Fonte de Informações para elaboração da base de dados no *software* Revit

Informação	Fonte de extração
Energia incorporada por cada material CO ₂	Literatura (Caparelli, Crippa e Boieng, 2016) e baseado em dados extraídos do <i>Software</i> Simapro
Tempo de produção	Literatura (Cardoso, 2015; Molina e Calil Júnior, 2010; Ferreira 2015)/meio corporativo
Custo de fabricação	SINAPI/PR* nov. de 2016/literatura (Cardoso, 2015) e meio corporativo
Disponibilidade de mão de obra	Literatura (Ferreira, 2015 e Kokubun 2014)/ meio corporativo
Disponibilidade de matéria-prima (fornecedores)	Literatura (Ferreira, 2015)/ meio corporativo

* Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), estado do Paraná.

Para delimitação da pesquisa, o comparativo dos sistemas faz referência apenas à área de parede com revestimento, não considerando fundação, esquadrias, instalações elétricas e hidráulicas e nem telhado.

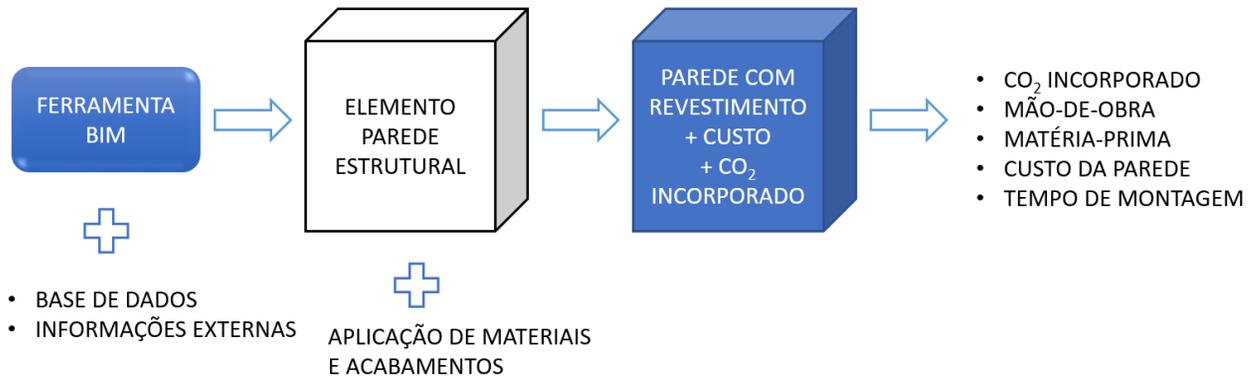


Figura 1. Esquema do processo de informação do Revit. Adaptado de Marcos e Yoshioka (2015).

Na etapa seguinte, avaliação da aplicabilidade, os especialistas foram questionados quanto à relevância do software de plataforma BIM para apoio à decisão durante a concepção do projeto arquitetônico.

E por fim, na etapa de “identificação e análise das contribuições teóricas” buscou-se refletir sobre a contribuição atingida em comparação a estudos recentes similares.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

4.1 Implementar e testar a solução

A habitação de interesse social escolhida possui 42 m², sendo composta de dois quartos, sala cozinha e um banheiro. Também foram considerados que o cenário habitacional seria a região de Curitiba, no estado do Paraná.

Utilizando o software Revit, foi modelada a residência nos três sistemas construtivos (alvenaria estrutural, LSF e LWF). Os sistemas LSF e LWF foram modelados a partir dos *plug-ins Timber Framing* (da Autodesk) e *Metal Framing Wall+* da AGACAD (versão 1.0.0.6), respectivamente. A modelagem com uso dos *plug-ins* é rápida, o que permite ao projetista modelar apenas uma vez, de fato, o empreendimento. Os *plug-ins* utilizados permitem a conversão de qualquer tipo de parede em uma parede de LSF ou LWF quase instantaneamente, o que aumenta a produtividade no processo de modelagem. Os *plug-ins* ainda possibilitam alterações no novo *frame*, de acordo com as preferências do projetista, uma vez que podem ser alterados os tipos de perfis bem como suas dimensões, as distâncias entre os montantes e os detalhes das aberturas e conexões.

Aos parâmetros das paredes modeladas foram adicionados os dados destacados na Tabela 2.

Na sequência, utilizando o recurso de documentação do Revit, que se trata de uma das vantagens de softwares BIM, obteve-se automaticamente a lista de materiais com os valores, para as paredes dos três sistemas construtivos (Tabela 3).

Tabela 3. Comparativos entre os três sistemas construtivos

	Alvenaria estrutural	LSF	LWF
CO ₂ incorporado /m ² de parede (kg)	50,3	159	36,9
Custo/m ² de parede (R\$)	247,63	295,99	182,32
Total de CO ₂ incorporado (kg)	4.842,88	15.308,46	3.552,72
Custo total (R\$)	23.841,82	28.498,08	17.553,77
Tempo de execução	12 dias	1/2 dia	1/2 dia
Mão de obra qualificada	não	sim	sim

Na etapa seguinte, utilizou-se o método AHP para auxiliar na estruturação do problema de seleção do sistema construtivo. Desta forma, primeiramente os critérios foram identificados na literatura (Figura 2).

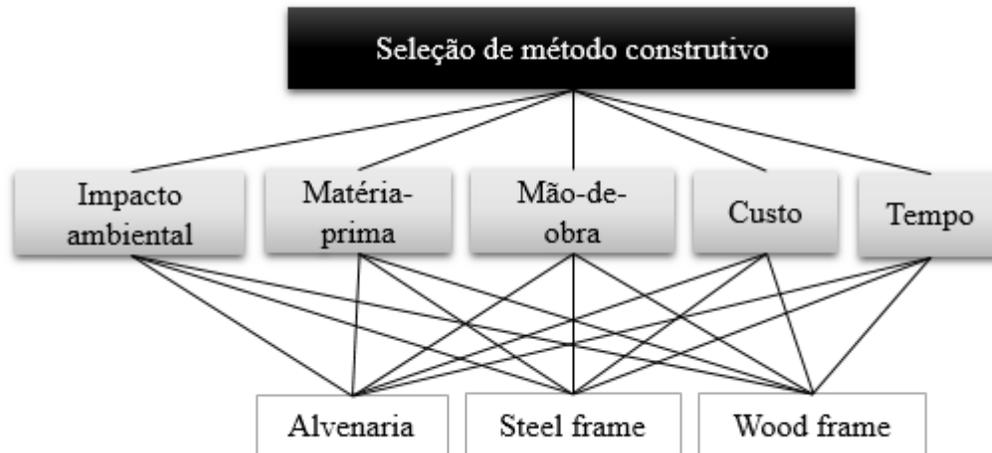


Figura 2. Hierarquia de critérios e alternativas do estudo de caso, para utilização do método AHP

Em seguida, a partir da estrutura hierárquica deste estudo de caso e dos dados obtidos através do Revit, os especialistas consultados avaliaram os sistemas construtivos, seguindo a estrutura do método AHP, utilizando a escala apresentada na Tabela 1. As avaliações dos especialistas foram implementadas no *software SuperDecisions*. Assim, os pesos estipulados, pelos especialistas, para cada critério podem ser visualizados na Tabela 4.

Percebe-se pela Tabela 4 que os pesos indicados pelos especialistas, para cada critério de seleção do sistema construtivo, foram bem discrepantes, ou seja, não houve um consenso entre eles. Para os especialistas A e B, por exemplo, o peso de maior escolha foi o impacto ambiental. Enquanto que para os especialistas C, D e E, o critério mais impactante é o valor financeiro da obra.

Tabela 4. Pesos estipulados pelos especialistas para cada critério analisado (em porcentagem)

Critérios	Especialista				
	A	B	C	D	E
Impacto Ambiental	54,67	53,66	12,56	9,68	3,11
Disponibilidade de matéria-prima	23,73	23,63	20,52	17,03	5,45
Disponibilidade de mão de obra	2,91	13,61	11,81	17,24	11,31
Custo	7	5,66	37,32	42,5	52,49
Tempo	11,69	3,44	17,79	13,55	27,64

Essa análise comprova de fato que a escolha do sistema construtivo depende dos interesses de cada usuário/construtor. Segundo Jobim et al. (2006), a análise das alternativas de sistemas construtivos e materiais disponíveis, independentemente de a tecnologia ser considerada inovadora, deve ser analisada sob distintos critérios e em especial atender a determinados requisitos de desempenho, tais como salienta a norma de desempenho 15.575 (ABNT, 2013).

A partir dos pesos estipulados para cada critério foi possível, ainda com ajuda do *software SuperDecisions*, identificar qual sistema construtivo é o mais adequado para cada especialista. A porcentagem de preferência pelo sistema construtivo (*ranking*) é apresentada na Tabela 4.

Percebe-se pela Tabela 5 que o sistema construtivo mais adequado na avaliação dos especialistas é o *Light Wood Framing*.

Os especialistas foram consultados para analisar a integração do BIM com o método MCDM. Como os mesmos também conhecem os sistemas construtivos, porque atuam no ramo de construção civil, também contribuíram para criar o ranqueamento de preferência dos sistemas construtivos.

Essa opção foi a mais promissora principalmente pelas vantagens que o sistema apresenta ao ser comparado com alvenaria estrutural nos quesitos: tempo, custo e impacto ambiental e com relação ao sistema *Light Steel Framing*, nos quesitos: custo, matéria-prima e impacto ambiental.

Vale ressaltar que o cenário elaborado levou em consideração a construção desta casa na região de Curitiba no estado do Paraná, onde são identificadas empresas que fabricam nos três sistemas construtivos. E que a proposta do artigo é mostrar os cenários estabelecidos e não qual sistema é o mais adequado, visto que considerando outras ponderações, um sistema pode ser mais promissor em algumas situações e não tanto em outras.

Tabela 5. Porcentagem de preferência dos sistemas obtido pelo método AHP

Sistemas Construtivos	Especialistas				
	A	B	C	D	E
Alvenaria	12,1	35,37	8,27	4,63	52,14
LSF	17,95	14,16	17,91	18,51	24,67
LWF	69,95	50,47	73,82	76,86	23,19

4.2 Avaliar a aplicabilidade da solução

Com objetivo de avaliar a aplicabilidade da solução proposta os especialistas foram questionados quanto à relevância das informações retiradas do software Revit para escolha do sistema construtivo mais adequado. Numa escala de 1 a 5, em que 1 significa nada relevante e 5 muito relevante, a nota média dos especialistas foi 3.2, ou seja, de modo geral, eles consideram que o uso de um *software* de plataforma BIM contribui para a escolha do sistema construtivo.

Eles também descreveram como eles acreditam que o BIM pode contribuir para uso de novo sistemas construtivos, inclusive para combater algumas barreiras sociais.

O especialista A considerou que a partir do momento que o profissional tem conhecimento da ferramenta BIM ela pode ser imprescindível para auxiliar no seu trabalho. Entretanto ele alerta que a utilização incorreta ou equivocada da ferramenta, pode representar apenas uma visualização, da mesma forma, equivocada do estado real de um empreendimento.

O especialista B relata ser extremamente satisfatório o uso do software de plataforma BIM durante a fase de concepção e destacou que isso pode contribuir para auxiliar os usuários escolherem construções mais sustentáveis.

O especialista C em comum acordo com o especialista B considera a ferramenta satisfatória para o processo comparativo, desde que as fontes extraídas sejam confiáveis. O especialista D destacou ainda que o BIM garante que o mesmo projeto seja editado, modificando os sistemas construtivos de forma fácil e simples para em seguida fazer o comparativo para opção mais adequada.

O especialista e também entende que o BIM permite maior detalhamento de um projeto o que torna os processos mais precisos e com menos desperdícios de matéria-prima e mão de obra.

4.3 Identificar e analisar as contribuições teóricas

Com base no estudo de caso realizado e na avaliação feita com os especialistas acredita-se que o uso do BIM, como no caso, o Revit e o método AHP contribuíram de forma promissora para auxiliar na escolha do método construtivo, uma vez que através desta integração foi possível comparar os critérios e visualizar a partir da modelagem BIM, o projeto em 3D, como também extrair facilmente os quantitativos.

Considera-se ainda que o comparativo é o caminho para que mais usuários possam conhecer outros sistemas construtivos e implantarem os mesmos em suas construções.

Como o BIM incorpora uma biblioteca para armazenamento de informações, este benefício pode ser utilizado pelos gestores durante o processo de concepção de projetos, contribuindo na escolha do sistema construtivo mais adequado. Além disso, as informações adicionadas podem ser atualizadas dependendo do empreendimento pelos próprios fornecedores de insumos e empreiteiros. Por exemplo, os insumos do LWF ainda passam por ensaios e testes físicos e outros insumos estão sendo desenvolvidos. Nesta situação, o próprio fornecedor do insumo poderia repassar essas informações aos escritórios de projetos para mostrar as novas informações e insumos, com objetivo de atualizar os dados e apresentar as novidades com relação aquele sistema construtivo. Outra vantagem é a praticidade da ferramenta em modelar vários sistemas construtivos diferentes de maneira fácil e rápida, sendo este um dos recursos para auxiliar na escolha, que associada à obtenção automática da documentação do projeto, pode tornar a concepção de projetos uma etapa mais rápida/eficiente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propôs o uso do software de plataforma BIM associado ao método AHP para auxiliar na escolha do sistema construtivo mais adequado durante a fase de concepção de projetos arquitetônicos. O enfoque dado pela pesquisa levou em consideração a análise de três sistemas construtivos: Alvenaria estrutural, *Light Steel Framing* e *Light Wood Framing*.

O processo de escolha do sistema construtivo levou em conta as principais vantagens da utilização de cada um dos sistemas, analisando os seguintes critérios: disponibilidade de mão de obra e matéria prima; custo relacionado com construção; tempo de execução da obra e; o impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida. O método apresentado (uso do software plataforma BIM associado com o método AHP), mostrou que a modelagem do projeto em BIM possibilitou simulações de cenários, ou seja, possibilitou a simulação de 3 edificações utilizando sistema construtivo diferentes (wood frame; steel frame e alvenaria) dentro de um mesmo projeto. E ainda, facilitou a extração de dados, que, por sua vez, auxiliaram os especialistas a selecionar o sistema construtivo mais adequado considerando os critérios de análise ponderados e, também, o ranqueamento que o método AHP sugeriu.

O método apresentado permite ao projetista o apoio de uma base de dados para a escolha e a ponderação de suas preferências (ou as do seu cliente) em relação aos critérios por eles determinados essenciais para o empreendimento projetado. As contribuições acadêmicas deste estudo incluem o uso de software de plataforma BIM e do método AHP em conjunto para escolha do sistema construtivo mais adequado para cada empreendimento.

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da proposta dentro de um estudo de caso real com participação de usuários finais e, apresentando ainda a reflexão teórica sobre os benefícios trazidos pela associação do BIM e do AHP, considerando também outros critérios.

6. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada pelo Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Construção civil (PPGECC) na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

7. REFERÊNCIAS

- AGACAD. *Metal Framing Wall+*, versão 1.0.0.6.
 Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho*. Rio de Janeiro.
 Autodesk. *Revit*, versão 2015.

- Cardoso, L. A., (2015). “*Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social*”, Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal de Santa Maria, 79 f.
- Carvalho, H. J. S., Scheer, S. (2015). “*A utilização de modelos BIM na gestão de resíduos de construção e demolição*”, in: Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, Recife (Brasil).
- Caparelli, A. P. A., Crippa, J., Boeing, L. C. (2015), “*Integração das ferramentas BIM e LCA no desenvolvimento de edificações sustentáveis: estudo sobre vedações verticais*”, Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal do Paraná, 103 f.
- Creative Decisions Foundation. *SuperDecisions*, versão 2.0.6.
- DATEC nº020ª (2015). “*Sistema de vedação vertical leve em madeira. Instituto Falcao Bauer de Qualidade de São Paulo*”, Disponível em: <http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/datec-20A.pdf>
- Dias, G. L. (2005), “*Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetida a força horizontal no seu plano*”. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina. <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102897>
- Dresch, A., Lacerda, D. P., Antunes Júnior, J. A. V. (2015), “*Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*”. Bookman, Porto Alegre, Brasil, p.57.
- Eastman, C. et al. (2004) [tradução: Cervantes Golçalves Ayres Filho... et al]; revisão técnica: Eduardo Toledo Santos. Dados eletrônicos, “*Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*”. Bookman, Porto Alegre, Brasil.
- Ferreira, A. S. (2015), “*Estudo comparativo de sistemas construtivos industrializados: paraedades de concreto, steel frame e wood frame*”, Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal de Santa Maria.
- Fochezatto, A., Ghinis, C. P. (2011), “*Determinantes do crescimento da construção civil no Brasil e no Rio Grande do Sul: evidências da análise de dados em painel*”, Ensaios FEE, 31:648-678.
- Gomes, C. E. M., Vivan, A. L., Sichieri, E., Paliari, J. (2013). “*Light steel frame na produção de moradias no Brasil*” in: IX Congresso de Construção Metálica e Mista e I Congresso Luso-Brasileiro de Construção Metálica Sustentável, Porto, Portugal. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/arqs/20150622104044-gomesc2013.pdf>
- Jadid, M. N., Badrah, M. K. (2012), “*Decision support system approach for construction materials selection*”. in: Proceedings of the 2012 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, Society for Computer Simulation International, p. 10.
- Jalaei, F., Jrade, A. (2014), “*Integrating Building Information Modeling (BIM) and Energy Analysis Tools with Green Building Certification System to Conceptually Design Sustainable Buildings*”. Itcon, 19:494-519. <http://www.itcon.org/2014/29>
- Jalaei, F., Jrade, A., Nassiri, M. (2015), *Integrating Decision Support System (DSS) and Building Information Modeling (BIM) to Optimize the Selection of Sustainable Building Components*. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 20, (25), pp:399-420. <http://itcon.org/paper/2015/25>.
- Jobim, M. S. S., Oliveira, G. G., Da Rosa, M. M., Roman, H. (2006) “*Critérios para seleção de tecnologia na construção civil*”. in: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC), Florianópolis (Brasil), (2006), pp. 2371-2380.
- Jobim, M. S. S., Jobim Filho, H. (2003), “*Sistema de avaliação de materiais e componentes na indústria da construção civil: integração das cadeias produtivas*”. Relatório Técnico FINEP. Santa Maria: UFSM.
- Kokubun, Y. E. (2014). “*O processo de produção de um sistema construtivo em painéis estruturais pré-fabricados em madeira*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 171 f. <http://dx.doi.org/10.11606/D.16.2014.tde-02072014-101053>

- Leite, I. M. S., Freitas, F. F. T. (2102). “Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério à decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEE”. in XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves (Brasil).
- Lukka, K. (2003). “*The Constructive Research Approach*”. in: OJAL, L.; HILMOLA, O-P. (Eds.), Case Study Research in Logistics, Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B1.
- Mahapatra, K., Gustavsson, L., Hemstrom, K., (2012), “*Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK*”, Constr. Innov. Inf. Process. Manag. 12(1):62–85. <http://dx.doi.org/10.1108/14714171211197508>
- Marcos, M., Yoshioka, E. (2015). “*Uso de ferramenta BIM para auxiliar na escolha do sistema construtivo que gera menor impacto ambiental*”. in: 7º Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação de Comunicação na Construção, Recife (Brasil). <http://dx.doi.org/10.5151/engpro-2015-066>
- Manrique, J. D., et al. (2015), *Automated generation of shop drawings in residential construction*, Automation in Construction. 55:15–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.004>
- Marinho, A. J. C. (2014). *Aplicação do Building Information Modeling na gestão de projetos de construção*. 63p. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis), Universidade do Minho.
- Molina, J. C., Calil Júnior, C. (2010), “*Sistema Construtivo em Wood Frame para Casas de Madeira*”. in: Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina (Brasil), 31(2):143-156. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2010v31n2p143>
- Marcondes, F. C. S., Cardoso, F. F. (2005). “*Contribuição para aplicação do conceito de logística reversa na cadeia de suprimentos da construção civil*”. in: Simpósio Brasileiro Gestão e Economia da Construção, Porto Alegre (Brasil).
- Marcos, M. H. C. (2015). *Metódo de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM*, Tese de deutorado, Universidade de São Paulo.
- Mardani, A. et al. (2015), Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*. 28(1):516-571. <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- Mello, L. C. B. B. (2007). “*Modernização das pequenas e médias empresas de Construção Civil: impactos dos programas de melhoria da gestão da qualidade*”, Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense.
- Milan, G. S., Novello, R. V., Dos Reis, Z. C. (2011), *Viabilidade do sistema Light Steel Frame para construções residenciais*. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa.
- Oliveira, E., Scheer, S., Tavares, S. F. (2015), *Avaliação de impactos ambientais préoperacionais em projetos de edificações e a Modelagem da Informação da Construção*. In: TIC, Recife (Brasil).
- Saaty, T. L. (1990), How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*. 48:9–26. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Santiago, A. K., Araújo, E. C. (2008) “*Sistema light steel framing como fechamento externo vertical industrializado*”. in: 3º Congresso Latino Americano da Construção Metálica. <http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/contribuicoes2.php>
- Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa (SEBRAE). (2008). “*Cadeia produtiva da construção civil: Cenários econômicos e estudos setoriais*”. http://189.39.124.147:8030/downloads/Construcao_civil.pdf. Acesso em 30 mai. 2017
- Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF) (2017). “*Produção Florestal*”, 2017. Disponível em: < <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/producao>>. Acesso em 08 ago. 2017
- Sousa, A. M. J., Martins, N. T. B. S. (2009). “*Potencialidades e obstáculos na implantação do sistema light steel framing na construção de residências em palmas – TO*”, Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins.

- Succar, B. (2008), disponível em: <http://changeagents.blogs.com/Public_Sharing/OICE-BIM-Forum-BilalSuccar-20160420.pdf>. Acessado em 25 jan. 2017.
- Suermann, P.C. (2009). “*Evaluating the impact of Building Information Modeling (BIM) on construction. Flórida*”, Univesity of Flórida.
- Vargas, R. V. (2010). “*Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process-AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio*”. in: 29º PMI Global Congress (2010), pp. 31.
- Velasquez, M., Hester, P. T. (2013), *An analysis of multi-criteria decision making methods*. International Journal of Operations Research. 10(2):56-66.
- Vivan, A. L. (2011). “*Projetos para produção de residências unifamiliares em light steel framing*”. 226 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4658.fcap>