



GCV-2020 | 21

VII - Congresso Brasileiro sobre **Gestão do Ciclo de Vida**

Anais do VII Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida

Coordenação do Evento

Ana Carolina Badalotti Passuello

Editoração

Vinícius Gonçalves Maciel

Volume I

UFRGS
Gramado
2020

Comissão Organizadora

Presidente da Associação Brasileira de Ciclo de Vida

Gil Anderi da Silva (ABCV)

Coordenação do Evento

Ana Carolina Badalotti Passuello (UFRGS)

Comitê Científico e Técnico

Cássia Maria Lie Ugaya (UTFPR) – Coordenadora Comitê Científico

Yuki Kabe (BRASKEM) – Coordenador Comitê Técnico

Jaylton Bonacina de Araujo (UTFPR) – Apoio Comitê Científico

Aldo Roberto Ometto (USP)

Assed Naked Haddad (UFRJ)

Breno Barros Telles do Carmo (URFN)

Clandio Favarini Ruviano (UFGD)

Diogo Aparecido Lopes Silva (UFSCAR)

Ênio Leandro Machado (UNISC)

Fernanda Belizario Silva (IPT)

Fernando Rodrigues Teixeira Dias (Embrapa)

José Adolfo de Almeida Neto (UESC)

Luciano Rodrigues (UESB)

Luiz Alexandre Kulay (PQI-EPUSP)

Malaquias Zildo Antonio Tsambe (UFRGS)

Marcella Ruschi Mendes Saade (TU Graz)

Maria Cléa Brito de Figueiredo (EMBRAPA)

Marília Folegatti (EMBRAPA)

Renzo Mori Junior (IPT)

Thiago Oliveira Rodrigues (IBICT)

Tiago Braga (IBICT)

Vanessa Gomes Da Silva (UNICAMP)

Yara de Souza Tadano (UTFPR)

Comitê Organizador Local

Ângela Danilevicz (UFRGS)

Cláudia Glitzenhirn (UFRGS)

Janaíne Timm (UFRGS)

Juliana Klas (UFRGS)

Matheus Mainardi (UFRGS)

Rafael Zortea (IFSUL)

Vinícius Maciel (UFRGS)

Editoração

Vinícius Gonçalves Maciel (UFRGS)

Catálogo na Publicação (CIP)

C749 Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida (7. : 2021 : Gramado, RS)

Anais do VII Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida : volume 1 [recurso eletrônico] / Organização do evento Ana Carolina Badalotti Passuello; editoração Vinícius Gonçalves Maciel. – Gramado : UFRGS, 2020. 672 f. : il.

Data do evento: 28 de setembro a 01 de outubro de 2021.
Modo de acesso: www.ufrgs.br/qcv2020.

ISBN 978-65-86232-90-5

1. Gestão do ciclo de vida. 2. Economia circular. 3. Bioeconomia. 4. Avaliação do ciclo de vida. 5. Inventário do ciclo de vida. 6. Gestão ambiental. 7. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida. I. Passuello, Ana Carolina Badalotti, coord. II. Maciel, Vinícius Gonçalves, edit. III. Título.

CDU 504

Elaborada pela Biblioteca do Campus Litoral Norte da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Avaliação do ciclo de vida de edificações e sua integração em BIM: compilação de estudos de caso

Marina Montemuro Varela¹

Vinicius Maciel²

Ana Passuello³

Eduardo Luís Isatto³

¹Arq. e Urb., Mestranda, PPGCI, UFRGS

²Químico Industrial, Dr., Pós Doutorado, PPGCI, UFRGS

³Eng. Civil, Dr., Professor permanente, PPGCI, UFRGS

marina.varela@ufrgs.br

Resumo

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta de suporte à tomada de decisão que vêm sendo amplamente utilizada para a escolha de materiais de construção, visando edificações mais sustentáveis. Porém, a inserção de dados de projeto em softwares de ACV é bastante dispendiosa, dado o vasto número de variáveis envolvidas em um edifício. Neste sentido, o BIM (modelagem da informação da construção) é uma ferramenta que auxilia a coleta de dados relevantes de projeto para sua aplicação na ACV. Quando é utilizado para este fim, o BIM atua como quantificador de cada material empregado na construção. Esta prática é vantajosa, dado que a coleta manual de informações de projeto, muitas vezes realizada através de tabelas com levantamento via desenhos 2D, pode provocar muitos erros, aumentar o tempo de execução da tarefa, causar retrabalho e imprecisão dos resultados. Neste sentido, a interoperabilidade entre os softwares de ACV e BIM poderia trazer melhorias no cálculo dos impactos ambientais potenciais de edificações. O presente artigo tem como objetivo explorar o tema acima descrito através da revisão de estudos de caso que utilizaram as duas ferramentas para facilitar a análise dos impactos das edificações, considerando trabalhos publicados entre os anos de 2016 e 2019. Foram verificadas as lacunas, limitações encontradas pelos autores da área para possíveis estudos, e as principais vantagens e desvantagens da integração destas

ferramentas. Como resultado, não se pôde verificar significativo avanço no uso do BIM para a ACV decorridos quatro anos.

Palavras-chaves: Modelagem da Informação da Construção, Interoperabilidade, ACV de edifícios inteiros.

Introdução

A construção civil é uma das indústrias que gera mais impactos no planeta. Na Europa, dados de 2014 mostram que ela representou cerca de 34,7% da taxa mundial de geração de resíduos (Eurostat Statistics Explanation, 2019). Consequentemente, a necessidade de se pensar em edificações mais responsáveis, com menor impacto ambiental se faz presente.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014) normatiza com a NBR ISO 14040:2009 que a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é, dentre suas atribuições, uma técnica utilizada para compilar um inventário de entradas e saídas referentes a um produto, que nesse estudo é a edificação. Cabe ainda a ACV auxiliar na tomada de decisão, podendo fornecer informações a respeito de qual material se utilizar para cada situação após o cálculo do impacto do produto avaliado. Ainda uma de suas fases conta com a interpretação dos resultados por parte do especialista em ACV para auxiliar nas tomadas de decisão, seja na fase projetual, de construção, de operação e de reuso é outro papel da ACV (Mantovani, 2015). Porém os mecanismos de extração dessa quantificação de impactos ainda

não são majoritariamente automáticos (Jrade; Abdulla, 2012), necessitando a inserção de dados em diferentes softwares por meio de bases de dados locais ou globais. A ACV ainda tem como objetivo avaliar os impactos ambientais entre os fluxos de entradas e saídas dos processos, onde a análise é considerada a chave principal do porquê se integrar ACV com uma ferramenta de quantificação das entradas, como é o caso do BIM (Soust-Verdaguer; Llatas; García-Martínez, 2016a).

O BIM surge como uma ferramenta que auxilia na automatização do processo da ACV. Na fase projetual, pode auxiliar de maneira com que impactos ambientais sejam reduzidos sendo uma fonte multidisciplinar de informações (Kozlovská; Spišáková, 2017). Porém, sua interação ainda é limitada e a literatura se baseia em estudos de caso que aplicaram os métodos nas fases de concepção do projeto (Soust-Verdaguer; Llatas; García-Martínez, 2016b).

Soust-Verdaguer et al. (2016b) publicaram no ano de 2016 uma comparação de diversos estudos de caso para identificar parâmetros utilizados no avanço da ACV das edificações com auxílio do BIM. O estudo consiste de uma revisão que englobou estudos entre os anos de 2012 e 2016 e pode ser considerado um paradigma sobre o tema, pois constitui um dos primeiros estudos onde são analisados comparativamente os métodos utilizados para se conduzir uma ACV com auxílio do BIM.

Dado o período de cinco anos já decorrido do referido estudo, o presente artigo tem como

objetivo realizar uma compilação de estudos de caso realizados entre os anos de 2016 e 2020, para que se verifique se houveram avanços nas pesquisas, para que haja um incremento dos dados de Soust-Verdaguer et al. (2016b) e para que sejam expostas lacunas para futuras pesquisas no tema.

Estado da arte

Nessa seção serão abordados os temas de ACV e BIM e expostas as suas deficiências individuais e a sua contribuição para o avanço em conjunto. Também serão mencionadas as necessidades de cada ferramenta e os softwares mais utilizados para cada uma delas, com suas vantagens e desvantagens.

Avaliação do ciclo de vida da edificação

A avaliação do ciclo de vida auxilia na tomada de decisões dos projetos, uma vez que avalia os impactos dos diferentes tipos de materiais. Ela é essencial para que as metas globais para diminuir os impactos causados pelas edificações sejam atingidas (Gomes; Barros, 2018).

As bases de dados são bancos de suporte ao cálculo do impacto do ciclo de vida de um produto. Elas geralmente são inseridas nos softwares que auxiliam a ACV. Estes, por sua vez, são denominados bases de dados locais, e integram o inventário disponível para a realização do cálculo do impacto (Frischknecht; Rebitzer, 2005).

Os softwares *Simapro* e *GaBi* são os mais

utilizados entre os especialistas em ACV, neles o usuário pode modelar o sistema do produto, fornecendo um banco de dados de processo de unidade de ciclo de vida a uma calculadora que combina esses dados de acordo com a interface do sistema de produto modelada pelo usuário (Herrmann; Moltesen, 2015).

Modelagem da informação da construção

O BIM é uma ferramenta que gera representações digitais de uma facilidade e seus âmbitos, que possibilita a tomada de decisão durante todas as fases do ciclo de vida da edificação. Com base nestas características, um modelo BIM pode servir também para auxiliar na fase de uso e operação da edificação (Azhar, 2011).

Wu e Issa (2014) mencionam diversos autores o consideram como agente de grande importância na tomada de decisão nas fases iniciais de projeto. Isso uma vez que o potencial de alterações em um projeto diminui ao longo do tempo, dificultando e encarecendo mais o processo.

A riqueza de informação com que tais características são representadas no modelo é descrita pelo seu nível de desenvolvimento (Level of Development – LoD). A definição de LoD foi inicialmente proposta pelo AIA (American Institute of Architects) para definir os padrões de detalhamento necessários para cada tipo de representação de projeto, posteriormente passando a incluir informações não gráficas, sendo atualmente amplamente aceitos pela

indústria. Segundo Soust-Verdaguer et al. (2016b), a maioria dos pesquisadores não define qual LoD seria ideal para os estudos de ACV com BIM, embora seja possível identificar a preferência de alguns dos autores pesquisados pelos LoD 200 e LoD 300.

A interoperabilidade é o agente que suporta o fato de que o BIM é uma maneira conceitual de gerir as informações do projeto (Grilo; Jardim-Gonçalves, 2010). Para Eastman et al. (2014), a interoperabilidade poderá ser assegurada no futuro através do formato IFC (*Industry Foundation Classes*) um padrão internacional de modelagem e integração dentro da indústria da construção. Com ele, além da geometria, são carregadas informações dos objetos e suas relações.

Ainda existem outros formatos interoperáveis, como por exemplo o COBie e o gbXML. Eles auxiliam uma padronização entre as informações e iniciativas internacionais (Borrmann et al., 2018; Jade; Abdulla, 2012) para que sejam considerados uma *open-source* capaz de ser lida em diferentes softwares BIM. Porém, um dos motivos para que esses formatos não sejam amplamente utilizados é devido ao fato de se perder robustez na interface do modelo (Andrade; Ruschel, 2009).

Integração entre ACV e BIM

A respeito da integração dos dois temas, a etapa de projeto em que se realiza o cálculo da ACV é de extrema importância. Antón e Díaz (2014) trazem uma relação de que quanto mais desen-

Tabela 1: Sumário dos estudos de caso revisados

Autores	ACV					BIM			
	Sistemas avaliados	Fase de ACV	Impacto ambiental analisado	Base de dados	Software(s) utilizados	Tipo de projeto	Software(s) utilizados	LOD	Formato arquivos
BUENO, C.; FABRICIO, M. M. (2018)	Sistemas de parede	Edificação pré-uso; B1-B7	Acidificação e demanda de energia primária	Ecoinvent e GaBi	Plug-in Tally e GaBi 6	Habitação social unifamiliar	Autodesk Revit	Não há essa informação	IFC
CAVALLIER E, C. <i>et al.</i> (2018a)	Paredes externas	A4-A5; B1-B7; C1-C4	Impactos ambientais em geral	Ecoinvent v3	IMPACT 2002 e SimaPro	Edifício multi-habitacional	Não comenta uso	Não há essa informação	Não há essa informação
CAVALLIER E, C. <i>et al.</i> (2018b)	Estrutura, envelope, interior e equipamentos técnicos	A1-A3	Carbono incorporado (CI)	KBOB e Ecoinvent 2.2	Não há essa informação	Casa multi-familiar	Rinoceros para Excel	Cada projeto modelado em um LOD	Não há essa informação
CRIPPA, J. <i>et al.</i> (2018)	4 sistemas de parede	A1-A3	Carbono incorporado (CI)	Declaração ambiental do produto (DAP)	SimaPro 8	Parte de edificação	ArchiCAD 19	Não há essa informação	Não há essa informação
NAJJAR, M. <i>et al.</i> (2019)	Materiais alternativos para componentes da edificação (paredes)	B1-B7	Consumo de energia e custo	GaBi	Plug-in Tally, DOE 2.2 e CPLEX	Edifício residencial	Autodesk Green Building Studio application no Autodesk Revit	Não há essa informação	Não há essa informação
NAJJAR, M. <i>et al.</i> (2017)	Toda edificação como componente único	A4-A5; B1-B7	Carbono incorporado (CI) e uso de combustível	GaBi	Plug-in Tally	Edifício comercial de múltiplos pavimentos	Autodesk Revit	Não há essa informação	Não há essa informação
NILSEN, M.; BOHNE, R.A. (2019)	Diferentes tipos de sistemas construtivos e materiais	A1-A3	Potencial de aquecimento global	EPD-Norway	one LCA, (OCL); MS Excel; LCA for BREEAM NOR; One Click LCA (metric).ITO	Valle Wood – não especificado	Solibri Model Checker (quantitativos)	200, 300 e 350 (3 estudos)	IFC
RÖCK, M. <i>et al.</i> (2018a)	Laje de fundação, paredes externas, elementos de piso e telhado, janelas e paredes internas	A1-A3	Totais impactos incorporados	Declaração ambiental do produto (DAP)	Autodesk Dynamo	Edifício residencial	Autodesk Revit	200	Não há essa informação
RÖCK, M. <i>et al.</i> (2018b)	Toda edificação como componente composto por diferentes materiais	A1-A3	Totais impactos incorporados	Ecoinvent	Autodesk Dynamo	Edifício residencial	Autodesk Revit	200	Não há essa informação
RÖCK, M. <i>et al.</i> (2019)	Toda edificação como componente composto por diferentes materiais	Todas as fases	Totais impactos incorporados	-	SimaPro e OmniClass	Dois edifícios comerciais	Autodesk Revit	Não há essa informação	Não há essa informação
SHADRAM, F. <i>et al.</i> (2016)	Diferentes materiais da edificação	A1-A3	Energia incorporada	Excel com auxílio do Power Pivot	Feature Manipulation Engine (FME)	Protótipo de dois apartamentos duplex	Autodesk Revit e ETL (interoperabilidade)	Não há essa informação	Não há essa informação
SOUST-VERDAGUER, B. <i>et al.</i> (2020)	Paredes externas e cobertura	A1-A3; A4-A5; C1, C2 e C4	Potencial de aquecimento global, Eco toxicidade aquática em água doce, Toxicidade humana e Potencial de depleção da camada de ozônio.	Ecoinvent 2.0	Planilhas Excel, DesignBuilder v4.7.0.27 e EnergyPlus	Casa unifamiliar	Graphisoft Archicad 19	300	Não há essa informação
YANG, X. <i>et al.</i> (2018)	Os materiais da edificação que são mais relevantes	A1-A3; A4-A5; B1-B7; C1-C4	Carbono incorporado (CI)	CLCD-China-public 0.8.1 v. 2012, ELCD e Ecoinvent	eBalance (para ACV), DesignBuilder e EnergyPlus (cálculo de consumo energético)	Edifício residencial	Autodesk Revit 2015	300	gbXML

Fases de avaliação do ciclo de vida da edificação (BS EN 15978, 2011) : A1-A3: Fase projetual; A4-A5: Construção; Pré-uso da edificação; B1-B7: Uso e operação; C1-C4: Fim de vida e; D: Reuso.

volvido o projeto, menor a sua flexibilidade. Ou seja, as fases iniciais de projeto permitem uma tomada de decisão mais flexível a respeito dos materiais a serem empregados na edificação e devem ser as fases preferidas para avaliações ambientais.

Então, para que uma ACV seja feita nas fases iniciais de projeto, o LoD não deve ultrapassar o LoD 300, quando ainda não foram definidos os fornecedores dos materiais empregados. **Método**

Este estudo foi realizado visando uma análise sistêmica, e ele compila estudos realizados a respeito do tema de ACV e BIM entre os anos de 2016 a 2020, os quais não foram contemplados por Soust-Verdaguer et al. (2016b), para que haja uma verificação do avanço das pesquisas realizadas após essa data. As bases de dados utilizadas para identificar esses estudos de caso foram o *Scopus*, *Google Scholar*, *Science Direct*, *Capes Periódicos* e *Engineering Village*. As palavras-chave e os operadores booleanos utilizados para a pesquisa foram em português e inglês, e o que obteve maior número de resultados encontrados foi o seguinte:

((*BIM or building information model**) and (*LCA or life cycle assessment or LCI or life cycle inventory*))

Para o presente estudo, foram excluídas as pesquisas que não englobavam a edificação ou partes da edificação, que tratavam apenas de materiais construtivos ou eficiência energética como parâmetro de análise de sustentabilidade. Dos artigos encontrados nessas bases de dados, foram selecionados treze que estão de acordo com esses parâmetros e foram avaliados neste

estudo (Tabela 1).

Além de Soust-Verdaguer et al. (2016b), existem outros artigos que fazem uma revisão dos estudos de caso a respeito de BIM e ACV (Cavalliere et al., 2019; Lu; Le; Song, 2017), porém eles contemplam menos tópicos que Soust-Verdaguer et al. (2016b); tais quais os softwares, os tipos de edificação, os LoDs no caso de Cavalliere et al. (2019) e as interações dos resultados da ACV com o inventário utilizado para as diferentes localidades em Lu et al. (2017).

Para se atingir o propósito de se analisar sistematicamente estudos de caso que contemplem as duas áreas do conhecimento, BIM e ACV, foi elaborada uma tabela completando os seguintes itens: (i) método ACV: unidade funcional; fases de ACV; impacto ambiental avaliado; base de dados e softwares de ACV; (ii) modelo BIM: tipo de projeto; software BIM utilizado; LOD e; formato de arquivo. Esses itens foram extraídos de Soust-Verdaguer et al. (2016b) e parcialmente modificados.

Resultados e discussões

Os resultados deste estudo estão apresentados na Tabela 1 que reporta informações a respeito do método ACV utilizado por cada autor e também explicita os métodos BIM utilizados.

Observa-se, na amostra avaliada, não haver preferência por software específico de integração de ACV e BIM. Três estudos pesquisados utilizaram o *Tally* como ferramenta de auxílio na quantificação de impactos (Bueno; Fabricio,

2018; Najjar et al., 2017; 2019). Esse software atua como um *plug-in* do *Revit*, onde captura as informações dos inventários do ciclo de vida da plataforma GaBi. Porém, Najjar et al. (2017) constataram que o *plug-in* *Tally* não possui informações a respeito das localidades dos materiais para o cálculo do impacto do transporte até o canteiro de obras, sendo um ponto a ser investigado. Ainda, outros dois artigos utilizaram o *Autodesk Dynamo*, que é um software de script, para calcular o impacto incorporado de uma edificação (Röck, M. et al., 2018a; 2018b).

Ainda se ressalta o uso reduzido do software *Graphisoft Archicad®* em relação ao uso do *Autodesk Revit*, apesar de dois serem softwares robustos de modelagem BIM e, quando comparados, foram considerados equivalentes e seu uso depende do escopo desejado (Machado; Moreira, 2015).

Não obstante, ainda é demonstrado que os estudos se dividem entre a avaliação de edificações completas ou de substituição de materiais que mais impactariam no cálculo da ACV.

Sete dos treze artigos (Bueno; Fabricio, 2018; Cavalliere et al., 2018, 2019; Najjar et al., 2017, 2019; Röck et al., 2018a; Yang et al., 2018) contemplam a avaliação nas fases de uso e operação da edificação, a qual é a que representa a maior parte das emissões de gases do efeito estufa (GEE) (Yang et al., 2018).

Na seção referente ao uso da ferramenta BIM na

Tabela 1, são observadas as informações dos processos analisados, apenas seis artigos fizeram menção a qual LoD foi utilizado para o estudo (Cavalliere et al., 2019; Crippa et al., 2018; Nilsen, M.; Bohne, R.A., 2019; Röck et al., 2018b, 2019; Soust-Verdaguer, B. et al., 2020; Yang et al., 2018) e outros três artigos fizeram uso de um sistema interoperável, em formato IFC ou gbXML (Bueno; Fabricio, 2018; Nilsen, M.; Bohne, R.A., 2019; Yang, X. et al., 2018). De acordo com a análise dos estudos de caso, se verificou que a realização da ACV é prejudicada pela complexidade dos projetos.

Ainda, os construtores e incorporadores desencorajam o uso dos métodos de ACV devido à falta de conhecimento sobre a área e a falta de percepção de valor a respeito da sua aplicação (Bribián; Usón; Scarpellini, 2009). Apesar de alguns autores considerarem a combinação de mais de uma base de dados para a construção dos inventários de ciclo de vida (Cavalliere et al., 2019), tal prática não é recomendada, pois as informações podem não ser consistentes.

Dessa forma, se vê a real necessidade da incorporação do BIM para a melhoria e facilitação do processo de avaliação do ciclo de vida da edificação uma vez que o BIM auxilia na ACV facilitando o processo de quantificação dos fluxos materiais (Soust-Verdaguer; Llatas; García-Martínez, 2016a).

Ainda, alguns dos artigos analisados relatam a necessidade da criação de bases de dados com maiores informações a respeito de materiais inseridas no contexto BIM, para que assim haja

uma real conexão entre essa ferramenta e a ACV (Bueno; Fabricio, 2018; Gantner et al., 2018; Najjar et al., 2017). Foi identificado que ainda existem problemas de interoperabilidade, os quais já haviam sido identificados no estudo de Soust-Verdaguer et al. (2016b). Neste estudo, contatou-se, também, que há relatos de incompatibilidades durante as extrações de dados feitas pelo BIM para a sua inserção na ACV (Bueno; Fabricio, 2018; Cavalliere et al., 2018; Yang et al., 2018). Outros autores também descrevem que a definição do LoDs é de extrema importância para se extrair as informações necessárias e não sobrecarregar a ACV (Cavalliere et al., 2018; Röck et al., 2018a, 2018b, 2019).

Outra grande crítica dos autores é a falta de compatibilização das bases de dados disponíveis. Se faz presente a necessidade de inserção de dados de forma não automática, para que cada fornecedor possa inserir os dados de seus materiais na base de dados (Bueno; Fabricio, 2018; Najjar et al., 2017), onde é de suma importância se considerar as questões de localidade e transporte (Najjar et al., 2019). Essas informações dependem, na maioria das vezes, da definição dos fornecedores, o que é feito quando o projeto possui menor flexibilidade, pois já está em um LoD mais avançado (Antón e Díaz, 2014).

A maioria dos artigos analisados faz menção ao uso da interoperabilidade como uma oportunidade de melhorias no processo da integração do BIM com a ACV. Todavia,

percebe-se um tema necessário e não mencionado pelos autores analisados: a organização e sistematização do processo de projeto do BIM com a inserção da técnica da ACV. Foi considerada como de extrema importância um método de orientação do fluxo de trabalho, para assim a implementação de avanços na interoperabilidade.

Considerações finais

Uma revisão de estudos de caso é uma oportunidade de se avaliar as mudanças ocorridas com o avanço da tecnologia, especialmente quando se trata de temas como BIM e ACV.

O interesse a respeito desse tema continua em ascensão, porém não foram evidenciados avanços significativos após o estudo de Soust-Verdaguer et al. (2016b).

Por fim, observa-se que o BIM e a ACV são ferramentas essenciais para o desenvolvimento sustentável. Porém, limitações quanto à operabilidade e compatibilidades dos sistemas devem ser superadas.

Portanto, sugere-se que futuros estudos contemplem os seguintes temas: (a) sistematização do fluxo de trabalho para organização das informações pertinentes aos temas de BIM e ACV; (b) avaliação da interoperabilidade entre softwares BIM e ACV; (c) como a adequação das bases de dados existentes com a regionalidade, as distâncias entre indústria e construção e a padronização de materiais podem ser inseridas no BIM; (d)

incorporação ao modelo BIM de dados associados às fases de operação e manutenção da edificação; entre outras considerações que podem ser encontradas nos estudos de caso analisados.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições que apoiam os pesquisadores envolvidos neste estudo: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, 306045/2018-4; 429264/2018-6), e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências bibliográficas

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO 14040:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. p. 20, 2014.
- Andrade M. L. V. X. De, Ruschel R. C. Gestão & Tecnologia de Projetos (2014). <https://doi.org/10.4237/gtp.v4i2.102>
- Antón, L. Á.; Díaz, J. Procedia Engineering (2014). <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.525>
- Azhar S. Leadership and Management in Engineering (2011). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Borrmann A. et al. Springer (2018). https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_8
- Bribián I. Z., Usón A. A., Scarpellini, S. Building and Environment Journal (2009). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>
- Bueno C., Fabricio M. M. Automation in Construction (2018). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028>
- Cavalliere C. et al. Journal of Cleaner Production (2018a). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.149>
- Cavalliere C. et al. Journal of Cleaner Production (2018b). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.247>
- Crippa, J. et al. Built Environment Project and Asset Management (2018). <https://doi.org/10.1108/BEPAM-10-2017-0093>
- Eastman C. et al. Construction Economics and Building (2011). <https://doi.org/10.5130/ajceeb.v12i3.2749>
- Eurostat Statistics Explanation. (2017) Estatísticas dos resíduos, 2017 Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/pt> Acesso em: 28 set. 2019
- Frischknecht R., Rebitzer G. Journal of Cleaner Production (2005). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.05.002>
- Gomes V., Barros N. N. Gestão & Tecnologia de Projetos (2018). <https://doi.org/10.11606/gtp.v13i2.142139>
- Grilo A., Jardim-Gonçalves R. Automation in Construction (2010). <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.003>
- Herrmann I. T., Moltesen A. Journal of Cleaner Production (2015). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>
- Jrade A., Abdulla R. (2012). Integrating Building Information Modeling and Life Cycle Assessment Tools to Design Sustainable Buildings. Proceedings of the 29th International Conference of CIB W78, p. 173–182, 2012.
- Kozlovská M., Spišáková M. Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal (2017). <https://doi.org/10.5592/otmcj.2013.1.5>
- Lu Y., Le V. H., SONG X. Journal of Cleaner Production (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.010>
- Machado, F. A.; Moreira, L. C. de S. (2015). O Uso de Ferramentas BIM na Otimização do Método de Avaliação do Ciclo de Vida da Edificação. In: Encontro Brasileiro De Tecnologia De Informação E Comunicação Na Construção, 7., 2015, Recife. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2015.
- Mantovani V. A. (2015). Avaliação de Ciclo de Vida. Ulbra Ead , p. 102, 2015.
- Najjar M. et al. Journal of Building Engineering (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobee.2017.10.005>
- Najjar M. et al. Applied Energy (2019). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.101>
- National Institute of Building Sciences. (2015) National BIM Standard-United States® Disponível em: <https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf> Acesso em: 27 jan. 2020
- Nilsen, M.; Bohne, R. A. In: 2019, Sustainable Built Environment Conference 2019 (SBE19 Graz). (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012119>
- Nizam R. S., Zhang C., Tian L. Energy&Buildings (2018). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.067>
- Röck M. et al. Building and Environment (2018a). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.006>
- Röck M. et al. Procedia CIRP (2018b). <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.087>
- Röck M. et al. (2019) The coupling of BIM and LCA—challenges identified through case study implementation. Life-Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: Towards an Integrated Vision - Proceedings of the 6th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2018, p. 841–846, 2019
- Shadram F. et al. Energy and Buildings (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.007>
- Soust-Verdaguer B., Llatas C., García-Martínez A. Building and Environment (2016a). <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>
- Soust-Verdaguer B., Llatas C., García-Martínez A. Energy and Buildings (2016b). <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.014>
- Soust-Verdaguer, B.; Llatas, C.; Moya, L. Journal of Cleaner Production, (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121958>
- Wu W., Issa R. R. A. Journal of Management in Engineering (2014). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)JME.1943-5479.0000314](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)JME.1943-5479.0000314)
- Yang X. et al. Journal of Cleaner Production (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.070>