



IMPACTO DA ADOÇÃO DE BIM NA AVALIAÇÃO DE ENERGIA INCORPORADA DO CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES¹

BARROS, Natália Nakamura

Universidade Estadual de Campinas, natalianakamura.arq@gmail.com

RUSCHEL, Regina Coeli

Universidade Estadual de Campinas, ruschel@fec.unicamp.br

SILVA, Vanessa Gomes da

Universidade Estadual de Campinas, vangomes@fec.unicamp.br

RESUMO

Sabe-se que edifícios consomem quantidades significativas de energia, além de produzir grandes quantidades de CO₂, desde o processo de produção dos materiais de construção, a energia necessária para a construção e funcionamento da edificação, até a demolição desta. Uma parcela significativa dos impactos do ciclo de vida de um edifício é determinada por decisões tomadas nas fases iniciais do projeto. O objetivo desse artigo é verificar o possível impacto da adoção de BIM para avaliação dos índices de energia incorporada no "cradle to keys" (do berço à entrega da edificação). O método adotado foi uma pesquisa comparativa entre o fluxo de trabalho em ACV e um fluxo de trabalho em ACV com a adoção de BIM, feito a partir de referências bibliográficas. A comparação entre os dois fluxos de trabalho mostrou que há impacto da adoção de BIM no fluxo da ACV, tanto no processo de projeto, quanto na coleta de dados, que se tornam mais precisos e consistentes. Assim, a base BIM-ACV pode fornecer ao setor da construção uma ferramenta confiável para medir seu desempenho e impacto ambiental, além de um meio para identificar áreas de melhoria.

Palavras-chave: Análise do Ciclo de Vida, BIM, Energia incorporada.

ABSTRACT

It is known that buildings consume significant amounts of energy, and produce large amounts of CO₂ from the process of production of construction materials, the energy required for the construction and operation of the building, to the demolition. A significant portion of the impacts of the life cycle of a building is determined by decisions taken in the early stages of the project. The purpose of this research is to verify the possible impact of the adoption of BIM to evaluate the embodied energy into the "cradle to keys". The method used was a comparative survey of a workflow in LCA and a workflow in LCA with the adoption of BIM, made from references. The comparison between the two workflows showed have impact from the adoption of BIM in the flow of the LCA, both in the design process, as in data collection, which become more

¹ BARROS, Natália Nakamura; RUSCHEL, Regina Coeli; SILVA, Vanessa Gomes da. Impacto da adoção de BIM na avaliação de energia incorporada do ciclo de vida de edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 2015, Viçosa-MG. Anais... Porto Alegre: ANTAC. p x-y

accurate and consistent. Thus, the BIM-based LCA can provide the construction sector a reliable tool to measure its performance and environmental impact, as well as a means to identify areas for improvement.

Keywords: Life Cycle Analysis, BIM, Embodied Energy.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação de ciclo de vida (ACV) é uma técnica para contabilização de impactos de produtos e processos desde a extração de matéria-prima, passando por produção, uso e disposição. O amadurecimento de pesquisas e aplicações de ACV nos últimos 10 anos, principalmente, torna-a um apoio fundamental na estimativa de impactos e cálculo de indicadores para sua comunicação.

Em paralelo, destacam-se avanços recentes no desenvolvimento de *Building Information Modeling* (BIM), que tem o potencial para medir o uso tanto de material, quanto de energia de um edifício (RIST, 2011). BIM pode fornecer um modelo de informações estendido ao planejamento e progresso de todo o processo de projeto, de modo a orientar a construção e fazer uma análise eficiente do projeto (LI et al., 2012).

A combinação de estratégias de projeto sustentável e BIM tem o potencial de mudar as práticas tradicionais e produzir de forma eficiente um projeto de alto desempenho (AZHAR et al., 2011). O BIM pode ser uma ferramenta importante na obtenção de edifícios sustentáveis e oferece benefícios em todas as fases do ciclo de vida de um projeto de construção (BECERIK-GERBER; KENSEK, 2010; BYNUM et al., 2013; MEADATI et al., 2011). Porém apesar das promessas do BIM em termos de desenvolvimento de modelo completo de análise energética divulgada pelos fabricantes, a interoperabilidade entre os programas ainda é problemática. Portanto, se a implementação é possível, há ainda muito por fazer (MENEZES, 2011).

O objetivo dessa pesquisa é verificar o possível impacto da adoção de BIM para avaliação dos índices de energia incorporada no ciclo de vida de edificações. Pretende-se desenvolver um processo de planejamento de execução de projeto BIM para análise do consumo de energia incorporada no "cradle to keys" (do berço à entrega da edificação). A fundamentação abrange pesquisa bibliográfica em Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Modelagem de Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM). O método adotado consiste em uma pesquisa comparativa entre o fluxo de trabalho em ACV e o fluxo de trabalho em ACV com a adoção de BIM.

2. FUNDAMENTAÇÃO

Esta seção fundamentará Análise do Ciclo de Vida (ACV) e Modelagem de Informação da Edificação (*Building Information Modeling* - BIM).

2.1 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

Sabe-se que decisões tomadas nos estágios iniciais de projeto e construção têm impacto significativo sobre o desempenho do edifício. Tais decisões exercem enorme influência sobre o consumo de energia em todo o ciclo de vida da edificação. A avaliação de energia de edificações, em todo o ciclo de vida, pode ser dividida em três fases: fase pré-uso (energia incorporada,

EE²), fase de uso (energia operacional, OE³) e fase pós-uso (demolição ou possível reciclagem e reutilização) (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2008).

À medida que regulamentações mais rígidas para conservação de energia operacional foram implementadas, como no caso europeu, a relação energia incorporada/energia total cresceu ainda mais. Com a alteração entre as proporções entre energias incorporada e operacional, a atenção mundial vem se redirecionando para a avaliação do primeiro estágio do ciclo de vida, que envolve a produção e transporte de materiais e a etapa de construção. Deste modo, é necessário, que na análise energética de todo o ciclo de vida da edificação, a energia incorporada seja também considerada, porém, há falta de estudos de referência nesta área (CELLURA et al., 2014).

Devido ao aumento da conscientização do consumo de energia, foram estabelecidas ao longo dos últimos anos, normas de construção, tais como regulamentos como a Diretiva Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2012) na Europa e Minergie Standards na Suíça, e sistemas de certificação ambiental de edificações, tais como *Leadership in Energy and Environmental Design - LEED*, *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology - BREEAM*, *High Quality Environmental Standard - HQE* e etc. Arquitetos e urbanistas foram cada vez mais forçados a considerar o consumo de energia e o impacto ambiental de seus projetos (SCHLUETER; THESSELING, 2009).

Por ser holística, sistêmica e rigorosa, a avaliação do ciclo de vida, desenvolvida pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC* e, posteriormente, normatizada pela *International Standardization Organization - ISO*, constitui a metodologia preferida internacionalmente para investigar sistematicamente os impactos de um produto, processo ou sistema em cada etapa de seu ciclo de vida. O ciclo de vida abrange desde a retirada das matérias-primas elementares da natureza à disposição final, incluindo as etapas de produção, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção e reciclagem, quantificando e qualificando os recursos materiais e energéticos utilizados, assim como as emissões geradas nas diferentes etapas produtivas (GUINÉE et al., 2002).

No Brasil, a ACV foi normatizada pela NBR ISO 14040: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura e NBR ISO 14044: gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações, que divide a ACV em quatro fases, sendo estas: objetivo e definição do escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009).

Adicionalmente, à execução da simulação e interpretação de resultados destas avaliações, é necessário conhecimento especializado em ACV, que a maioria dos arquitetos não possui. A quantidade de informações requeridas para a ACV faz com que métodos computacionais sejam necessários (SCHLUETER; THESSELING, 2009). Ainda que se trabalhe em ambiente de projeto integrado, tais análises requerem que várias ferramentas sejam utilizadas por diferentes profissionais para avaliar aspectos diferentes de um mesmo projeto, o que compromete e dificulta a análise rápida de alternativas pelos projetistas, sem que todo o time de projeto integrado seja acionado.

² EE – Embodied Energy

³ OE – Operational Energy

2.2 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

“O projeto de edificações, pela sua natureza, é um processo de resolução de problemas” (Gray, Huges e Bennett, 1994 apud FORMOSO, 2001, p.15). Cada interveniente tem um papel diferente no processo de tomada de decisão, o que tende a gerar gargalos no processo em função da necessidade de integração no desenvolvimento dos projetos (FORMOSO, 2001). Com o advento de novas tecnologias, o processo projetual tem sofrido grandes mudanças. A cada dia que passa, novas ferramentas são introduzidas no mercado a fim de facilitar a troca de informações entre os profissionais de diversas áreas que atuam no projeto de um edifício. Dentre as novas tecnologias, desenvolveu-se o BIM.

Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção (EASTMAN et al., 2014, p.1).

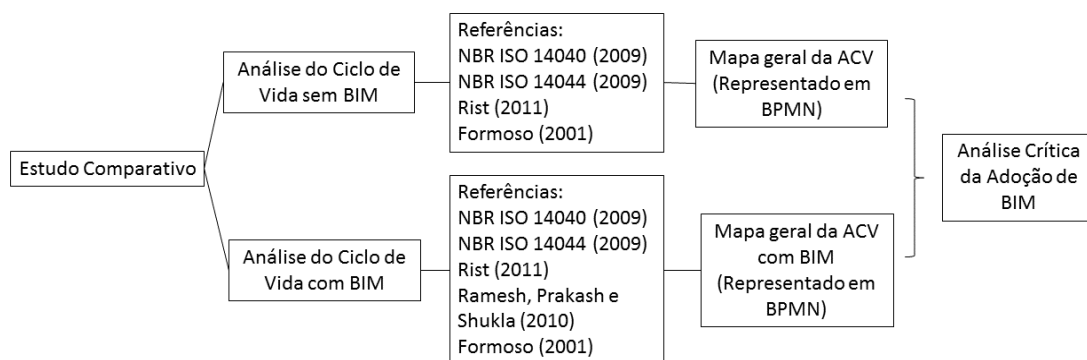
Porém, atualmente, o processo de projeto de uma edificação é fragmentado e geralmente depende de formas de comunicação baseadas em papel. Um dos problemas mais comuns associados a esta prática durante a fase de projeto é o tempo considerável e o gasto requerido para gerar informações para a avaliação de uma proposta de projeto, incluindo análise de uso de energia. Desse modo, modelos de informação em BIM podem fornecer várias vantagens sobre os desenhos 2D, dada a riqueza da informação sobre os objetos necessária para executar análises energéticas e outras análises ambientais (EASTMAN et al., 2014). Quando adequadamente implementado, o BIM pode proporcionar muitos benefícios para o projeto. A execução deste requer planejamento detalhado e modificações fundamentais no processo de projeto dos membros da equipe para alcançar com êxito o valor a partir da informação disponível do modelo (COMPUTER, 2011).

BIM pode ser implementado em várias fases ao longo de um projeto, mas a tecnologia atual, treinamento e custos de implementação devem ser sempre considerados na determinação de áreas e níveis de detalhe adequados nos processos de modelagem de informação. A equipe deve ter como objetivo implementar BIM no nível necessário para maximizar valor e minimizar o custo e impacto da implementação de modelagem. Em última análise, toda a equipe vai ganhar através do aumento do nível de planejamento, reduzindo as incógnitas no processo de implementação, reduzindo assim o risco global para toda a equipe de projeto (COMPUTER, 2011).

3. MÉTODO

O método adotado é uma pesquisa comparativa entre fluxo de trabalho em ACV e fluxo de trabalho em ACV com a adoção de BIM. Para tal, será utilizada a notação BPMN (*Business Process Model and Notation*) que consiste em uma notação gráfica que tem por objetivo prover uma gramática de símbolos para mapear, de maneira padrão, todos os processos de um empreendimento. A figura 1 mostra um esquema do método adotado.

Figura 1 – Esquema do método utilizado na pesquisa



Fonte: o autor

Para o desenho do mapa geral da ACV foram utilizadas as fases da ACV, sendo estas: objetivo e definição do escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação, normatizadas pelas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), um fluxograma detalhado das etapas da ACV, com foco na coleta de dados de inventário, proposto por Rist (2011, p.26) e os agentes integrantes do processo de projeto, proposto por Formoso (2001).

Para o desenho do mapa geral da ACV com a adoção de BIM, utilizou-se o mapa de processo para Análise do Custos (*Life Cycle Cost – LCC*) do ciclo de vida baseado em BIM, representado em BPMN, proposto por Rist (2011, p.109). Este mapa foi adaptado para a análise do consumo de energia incorporada no “*cradle to keys*” (do berço à entrega da edificação), a partir das NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), da tabela proposta por Ramesh, Prakash e Shukla (2010), que explicita as fontes dos dados necessários para a realização de uma ACV, e os agentes integrantes do processo de projeto, proposto por Formoso (2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas referências citadas, desenvolveu-se um fluxo de trabalho em ACV e outro em ACV com adoção de BIM. Os fluxogramas utilizados como referências foram adaptados para melhor compreensão dos fluxos de trabalho propostos.

4.1 FLUXO DE TRABALHO EM ACV

O processo de projeto apresentado na figura 2 apresenta o fluxo de trabalho em ACV. Num primeiro momento, o cliente solicita o projeto ao projetista, que geralmente é o arquiteto, passando os requisitos necessários para o seu desenvolvimento. Formoso (2001, p.65) mostra em seu fluxograma que após o desenvolvimento do projeto arquitetônico 2D, este é passado para os engenheiros civil, elétrico, hidráulico e outros projetistas, para que cada um elabore o seu respectivo projeto. Após uma análise inicial de compatibilidade entre projetos, o projeto executivo é então passado ao analista ACV que realiza a análise a partir do exposto nos papéis.

Rist (2011, p.26) mostra que o analista ACV realiza a coleta de dados a partir dos projetos 2D, logo após, estes dados são validados, relacionados para

unidade do processo e agregados. A coleta de dados pode ser um processo que demanda muitos recursos. De acordo com a NBR ISO 14044 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), a etapa de análise de inventário é um processo interativo, pois à medida que dados são coletados e se amplia o conhecimento sobre o sistema, novos requisitos ou limitações dos dados podem ser identificados, requerendo mudança nos procedimentos de coleta de dados, de modo que os objetivos do estudo possam ainda ser satisfeitos. A partir desta coleta, é realizada a avaliação de impacto do ciclo de vida, que consiste no cálculo dos indicadores de acordo com a meta pretendida pela ACV, gerando-se os resultados.

Feito o procedimento anterior, procede-se à interpretação destes resultados, através de relatórios, caso se verifique a necessidade de revisão da meta ou escopo, a ACV volta ao início da análise, caso contrário é feita uma revisão crítica. Nesta, verifica-se a necessidade de revisão dos resultados, cálculos, interpretação ou relatório, caso haja a necessidade de revisão em qualquer um destes pontos, o processo retorna ao ponto referido, caso contrário o relatório final da ACV é emitido e passado ao cliente. Se a performance ambiental não for aceita, retorna ao arquiteto para revisão do projeto, caso contrário, o mesmo é procedido à execução (RIST, 2011).

4.2 FLUXO DE TRABALHO EM ACV COM ADOÇÃO DE BIM

No fluxo de trabalho apresentado na figura 3, as metas e usos do BIM para ACV são determinadas logo no início do processo de projeto e repassadas para o time de projeto, composto pelo arquiteto, engenheiro civil, engenheiro elétrico, engenheiro hidráulico, dentre outros, que elaboram os projetos de forma integrada, gerando-se assim modelos de informação. Cada agente do time de projeto, elabora o seu respectivo modelo e planilha com as informações necessárias para a realização da ACV de acordo com a meta e o escopo anteriormente definidos.

Logo após, o projeto BIM é passado para o analista ACV que extrai dos modelos e planilhas todos os dados necessários para a análise do consumo de energia incorporada no "cradle to keys" (do berço à entrega da edificação), sendo estes: os quantitativos de materiais de construção, distâncias médias de transportes de materiais e energia utilizada durante a etapa de construção (RAMESH, PRAKASH E SHUKLA, 2010). Desse modo, ocorre a validação básica de dados, eles são relacionados para unidade do processo e agregados.

A partir da avaliação do impacto do ciclo de vida, os resultados da ACV são elaborados e com a interpretação, o relatório é produzido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009). Nesta etapa, caso haja a necessidade de revisão da meta ou escopo, o procedimento é o retornado ao time de projeto que vai adaptar o projeto de acordo com a revisão proposta. Caso contrário, o processo segue à revisão crítica, onde é verificada a necessidade de revisão dos resultados, cálculos, interpretação ou relatório, caso se verifique esta necessidade, o processo retorna ao ponto onde ela é necessária, caso contrário procede-se à execução do relatório final da ACV (RIST, 2011, p.109).

O relatório final da ACV é então repassado ao cliente, caso o relatório seja aceito procede-se ao desenvolvimento do projeto, caso contrário, retorna ao time de projeto que novamente adapta o projeto de acordo com o desejado.

5. DISCUSSÃO – COMPARAÇÃO ENTRE FLUXO DE TRABALHO EM ACV E FLUXO DE TRABALHO EM ACV COM ADOÇÃO DE BIM

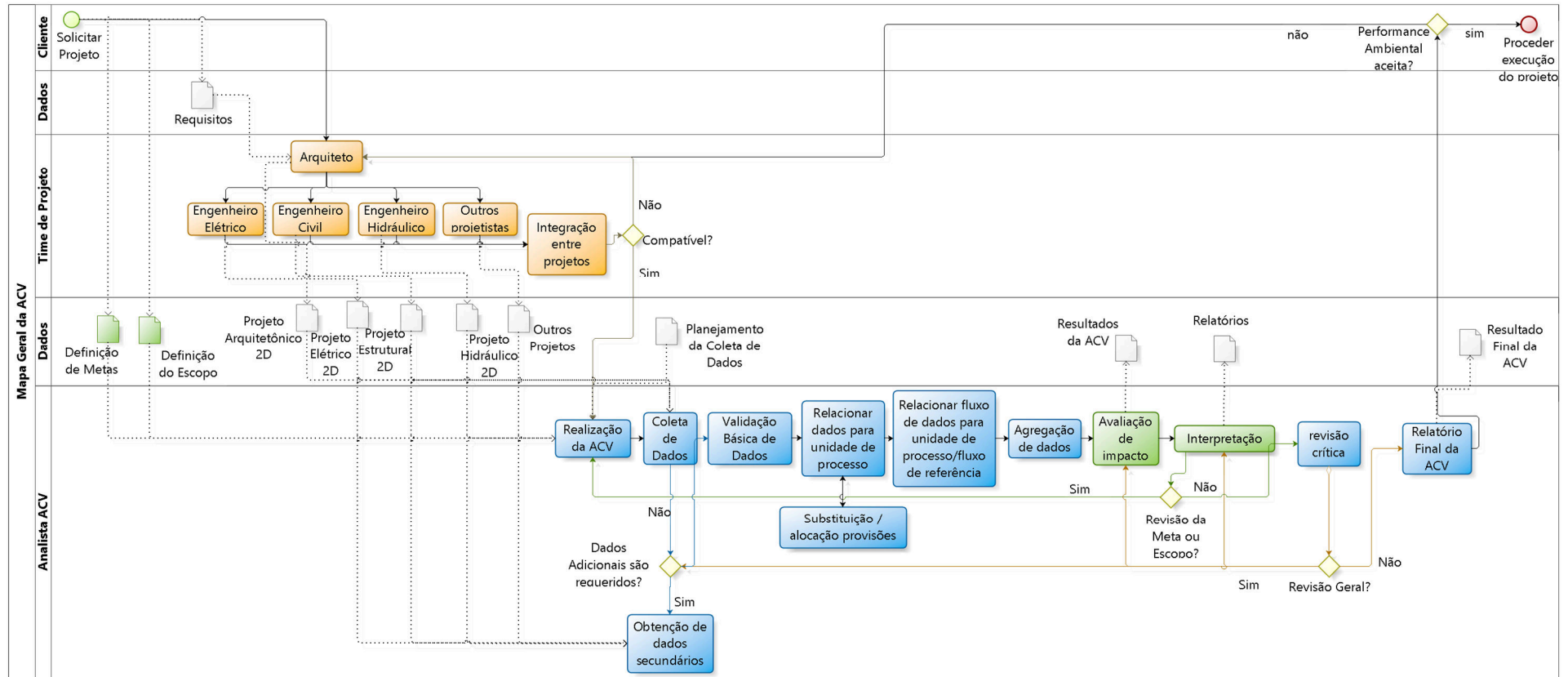
No fluxo de trabalho em ACV, o projeto é elaborado pela equipe de projeto que geralmente não considera a ACV desde as etapas iniciais. Depois, este é passado para o analista ACV, que muitas vezes possui grande dificuldade na extração de informações devido à falta de compatibilidade entre os projetos e à falta de informações importantes para a ACV. Desse modo, o ato de projetar e a ACV são feitas separadamente e sem ligação alguma, gerando sérios entraves para a análise.

No fluxo de trabalho em ACV com adoção de BIM, ao se considerar a ACV desde a concepção do projeto, os modelos de informações já são gerados de acordo com as metas e os objetivos da ACV, que são estabelecidas previamente. Desse modo, a coleta de dados para a ACV é mais precisa e consistente, uma vez que o time de projeto pode trabalhar de forma integrada, reduzindo-se assim as perdas e incompatibilidades entre projetos.

Os agentes envolvidos no time de projeto podem incorporar mapas de processo propostos pelo Guia BIM (COMPUTER, 2009), como por exemplo, o arquiteto pode incorporar o processo de análise energética, de iluminação e de manutenção e o engenheiro civil, a análise estrutural, de planejamento de utilização do terreno e do sistema predial, dentre outros. O mapa de processo a ser incorporado dependerá das metas e do escopo que serão definidos no início do processo.

No caso adotado, que consiste na análise do consumo de energia incorporada no “*cradle to keys*” (do berço à entrega da edificação), as informações necessárias de acordo com Ramesh, Prakash e Shukla (2010), são: (i) planilha com quantitativos de materiais da edificação, (ii) planilhas das distâncias médias de transporte de materiais, para cálculo do consumo de combustível a ser utilizado, e (iii) análise da energia utilizada durante a construção. A primeira planilha é extraída automaticamente do modelo BIM, para a segunda é necessário um modelo urbano da edificação e verificação de informações junto aos fabricantes dos materiais de construção, já para a última análise, um mapa de processo BIM de análise de energia pode ser implementado.

Figura 2 – Fluxo de Trabalho em ACV






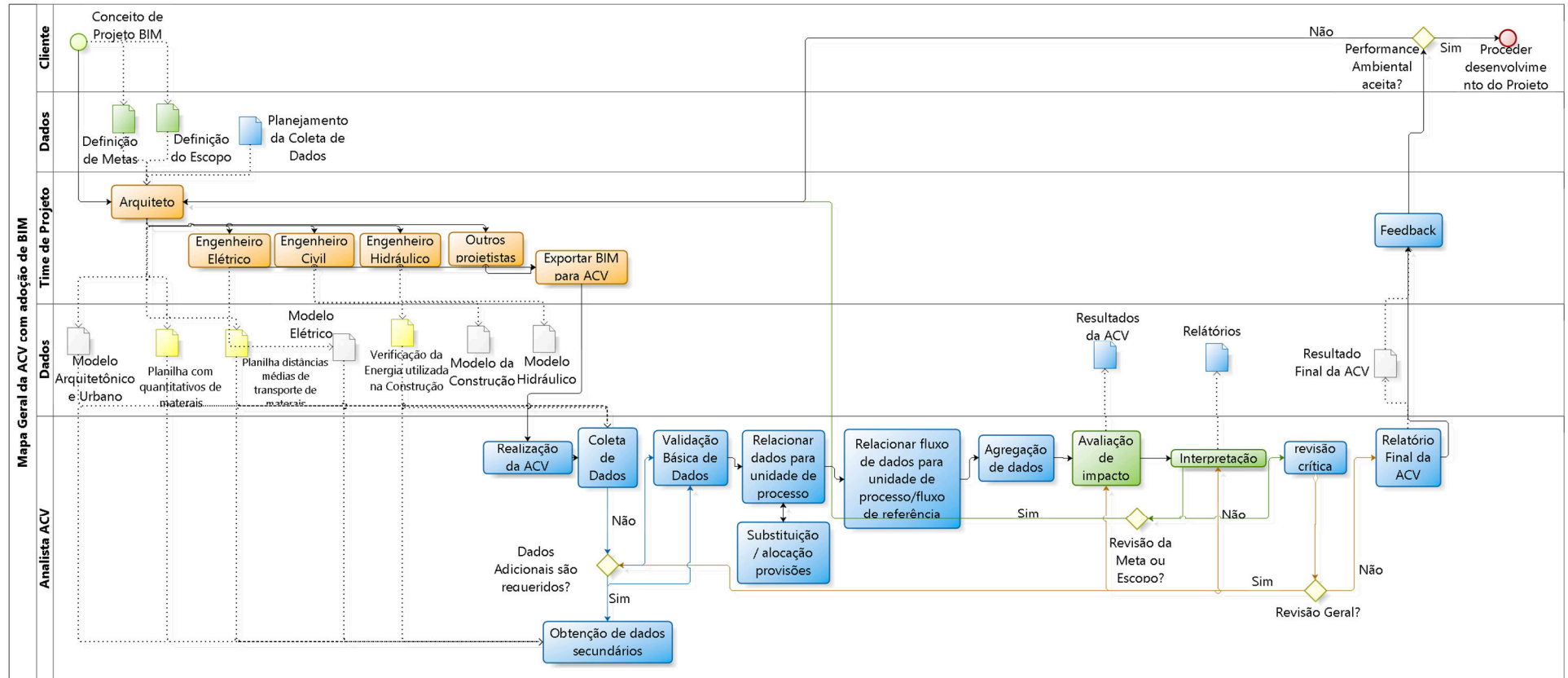
Fonte:  Adaptado de Formoso (2001);
 Adaptado de Rist (2011);
 Adaptado de ISO 14040 (2009) e ISO 14044 (2009).

Figura 3 – Fluxo de Trabalho em ACV com Adoção de BIM



Fonte:

- Adaptado de Formoso (2001);
- Adaptado de Rist (2011);
- Adaptado de Ramesh, Prakash e Shukla (2010);
- Adaptado de ISO 14040 (2009) e ISO 14044 (2009).

6. CONCLUSÃO

A ACV requer uma grande quantidade de informações, que muitas vezes não estão presentes ou encontram-se de maneira imprecisa nos projetos arquitetônico, civil, elétrico, hidráulico e outros. O processo de projeto de uma edificação geralmente é fragmentado e depende de formas de comunicação baseadas em papel, o que compromete a veracidade das informações. Todavia, práticas integradas e colaborativas já estão sendo adotadas no processo de projeto para promover maior integração e compartilhamento de informação entre os agentes. Ainda assim é grande o tempo considerável e o gasto requerido para gerar informações para a avaliação de uma proposta de projeto.

Modelos de informação em BIM podem fornecer várias vantagens sobre os desenhos 2D, quando adequadamente implementados. A presente pesquisa comparou, a partir de estudos bibliográficos, o fluxo de trabalho em ACV com o fluxo de trabalho em ACV com adoção de BIM, e verificou que existe impacto no fluxo de trabalho em ACV através da implementação do BIM. A definição da meta e do escopo da ACV já no início do processo, determina como o projeto BIM será elaborado pela equipe, alterando o processo de projeto. Assim como, a forma da coleta de dados para a realização da ACV também se altera com a adoção do BIM, uma vez que o analista não mais coleta-os a partir de papéis e sim, a partir de modelos de informação e planilhas já elaboradas para tal fim, desse modo, os dados se mostram mais consistentes e precisos. Em uma segunda etapa, pretende-se realizar uma comparação empírica entre os dois processos.

Desse modo, a base BIM-ACV poderá fornecer ao setor da construção uma ferramenta confiável para medir seu desempenho e impacto ambiental, além de um meio para identificar áreas de melhoria - um claro benefício para a sociedade. A integração entre BIM e ACV permitirá ao projetista a otimização de desempenho durante o desenvolvimento do projeto, de modo a facilitar e agilizar a análise dos impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040:** Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044:** Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

AZHAR, S.; CARLTON, W. A.; OLSEN, D.; AHMAD, I. Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 217–224, 2011.

BECERIK-GERBER, B.; KENSEK, K. Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction: Emerging Research Directions and Trends. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 136, n. 3, p. 139–147, 2010.

BYNUM, P., ISSA, R., OLBINA, S. Building Information Modeling in Support of Sustainable Design and Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 139, n. 1, p. 24–34, 2013.

CELLURA, M., GUARINO, F., LONGO, S.; MISTRETTA, M. Energy life-cycle approach in Net zero energy buildings balance: Operation and embodied energy of an Italian case study. **Energy and Buildings**, v.72, p.371-381, 2014.

COMPUTER Integrated Construction Research Program, **BIM Project Execution Planning Guide** – Version 2.1. May, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, 2011.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Tradução: AYRES FILHO, C. G.; CÉSAR JÚNIOR, K. M., FERREIRA, R.C., FERREIRA, S.L., revisão técnica: Eduardo Toledo Santos – Porto Alegre: Bookman, 2014.

EUROPEAN COMMISSION. **Directive 2010/31/EU** of the European Parliament and of the Council of on the energy performance of buildings. 2012. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32012R0244>>. Acesso em: 25 mar. 2014.

FORMOSO, C. T. (org.). *Gestão da Qualidade na Construção Civil: estratégias e melhorias de processos em empresas de pequeno porte: relatório de pesquisa*, Editoração. [de] Denise Pithan. -- Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2001.

GUINÉE, J.B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. de; OERs, L. van; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO de Haes, H.A.; BRUIJN, H. DE; DUIN, R. van; HUIJBREGTS, M.A.J. **Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

HUBERMAN, N., PEALMUTTER, D. A life cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 5, p. 837-848, 2008.

LI, B., FU, F. F., ZHONG, H., LUO, H. B. Research on the computational model for carbon emissions in building construction stage based on BIM. **Structural Survey**, v. 30, n. 5, p. 411–425, 2012.

MEADATI, P., IRIZARRY, J., AKHNOUKH, A. Building Information Modeling Implementation-Current and Desired Status. **Computing in Civil Engineering**. p.512–519, 2011. American Society of Civil Engineers. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41182%28416%2963>>. Acesso em: 7 abr. 2014.

MENEZES, G. L. B. B. DE. Breve histórico de implantação da Plataforma BIM. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 18, n. 22, 2011.

RAMESH T., PRAKASH, R., SHUKLA, K.K. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 1592–1600, 2010.

RIST, T. A path to BIM-based LCA for whole-buildings. 2011. Master - Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

SCHLUETER, A., THESELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153–163, 2009.