



A PRODUÇÃO DO HABITAR: PROJETO E TECNOLOGIAS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) EM ARQUITETURA: uma ferramenta para a sustentabilidade ambiental

KONZEN, BÁRBARA A. D. V. (1); PEREIRA, ANDREA F. (1).

1. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo

Endereço Postal: Rua Paraíba, 697, sala 201. Bairro Funcionários. CEP 30130-140. Belo Horizonte, MG.

E-mail: macps@arq.ufmg.br

RESUMO

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite quantificar o impacto ambiental, englobando todas as etapas do ciclo de vida de um produto, material ou sistema. Muito utilizada como estratégia de comparação e método para tomada de decisão em projetos, tanto em arquitetura quanto em design, sua importante validade se dá ao quantificar a sustentabilidade ambiental do projeto, permitindo comparações de alternativas e aferindo maior credibilidade às decisões projetuais e ao processo de trabalho do projetista. Na arquitetura, pode-se tirar proveito desses conceitos a fim de questionar o real impacto ambiental de estratégias que vem sendo implementadas e consideradas mais sustentáveis, mas que nem sempre levam em consideração todas as etapas do ciclo de vida de um material ou sistema. No Brasil, a metodologia é regulamentada pela NBR ISO 14040, de 2014. Atualmente, alguns softwares têm sido aperfeiçoados e as bases de dados ampliadas, caminhando lado a lado ao progresso tecnológico e ao fácil acesso à tecnologia. Desta forma, este artigo tem como principal objetivo discutir a sustentabilidade ambiental na arquitetura e apresentar a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como uma ferramenta eficaz para a produção de projetos passivos. Para isso, reúne algumas das principais orientações da norma e alguns dos softwares utilizados atualmente, a fim de ilustrar a prática da ferramenta. Por meio desta breve revisão bibliográfica fundamentada por discussões atuais do tema, espera-se disseminar o uso da ferramenta e promover uma produção de arquitetura mais sustentável e em equilíbrio com o meio ambiente.

Palavras-chave: Arquitetura; Ciclo de vida; Impacto ambiental; Sustentabilidade ambiental.

Introdução

O setor da construção civil está entre uma das principais atividades emissoras de dióxido de carbono (KEELER; BURKE, 2010). Desde o final do séc. XX e início do séc. XXI, onde aconteceram os principais encontros internacionais para discussão dos impactos ao meio ambiente, como a Rio + 20 por exemplo (NEBBIA, 2002), tem-se buscado alternativas que resultem em menor impacto ambiental em todos os setores. De modo geral, estes impactos ambientais podem ser causados por altas taxas de emissão de gases de efeito estufa, alto consumo de água e energia, por exemplo.

A partir desses momentos de discussão acerca dos impactos antrópicos ao meio ambiente, a disponibilidade de estratégias para a sustentabilidade aumenta a cada dia, seja devido a conscientização das empresas e usuários, seja devido a interesses econômicos, afinal, ser sustentável também pode ser muito mais rentável. E assim, atualmente, utiliza-se da palavra “sustentabilidade” como senso comum para se referir a alternativas de reduzido impacto ambiental, disseminando a ideia da otimização de recursos naturais. Porém, se faz necessário destacar, que não existe sustentabilidade absoluta (KEELER; BURKE, 2010), mas sim, situações que ao serem comparadas, podem ser mais sustentáveis umas que as outras, justificando essa discussão do emprego do termo.

Lovelock (2006) em sua Teoria de Gaia, define como abusiva a relação do homem com o planeta terra e considera que dependerá de atitudes radicais para voltarmos a um estado de equilíbrio. Uma das alternativas apresentadas pelo autor e a que pode ser considerada tendenciosa para os próximos anos, é a de “tomar o caminho da alta tecnologia” (LOVELOCK, 2006, p.7), para isso o segundo autor: “Essa opção exigirá que abracemos a ciência e a engenharia, e não as rejeitemos; precisamos dos seus conhecimentos e invenções para reduzir o impacto que provocamos sobre a Terra” (p.7).

Alcoforado e Silva (2009) sugerem que um cenário ideal englobará mudanças tecnológicas e culturais simultaneamente, onde a produção eficiente andarão lado a lado a uma redução de produção que resultará em menos desperdício. Assim, eficiência e suficiência aliadas resultam em eficácia. Em complemento a isso, a Comissão da Carta da Terra (2000, p.1) também confirma que “Temos o conhecimento e a tecnologia necessários para abastecer a todos e reduzir nossos impactos ao meio ambiente”. Sendo assim, fica evidente que uma

abordagem tecnológica fundamenta o desenvolvimento de estratégias e alternativas que possamos implementar no nosso cotidiano para que o progresso da humanidade avance aliado ao equilíbrio do meio ambiente.

Uma das ferramentas para a sustentabilidade ambiental de projetos, produtos e sistemas, é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Como demonstra Ginzburg (2016), qualquer objeto físico passa por diferentes estágios em sua existência, e nomeia-se “ciclo de vida” ao incluir todos estes estágios, desde a concepção projetual até sua obsolescência.

Avaliação de Ciclo de Vida é um campo interdisciplinar que demanda informações específicas de diversas áreas, como por exemplo, engenharia, química, ciências ambientais, toxicologia, etc. Essa interdisciplinaridade é desafiadora principalmente devido a variação de vocabulário nos diversos campos de estudo (INGWERSEN *et al.*, 2015). Assim, se justifica a demanda por metodologias que promovam a equivalência de dados a fim de possibilitar a comparação dos mesmos. Por isso, a metodologia vem progredindo também fundamentada por conceitos de tecnologia da informação.

Estudos como ACV, de modo geral, atualmente são elaborados partindo de softwares e bases de dados, ratificam essas previsões onde a tecnologia será aliada do progresso humano e do equilíbrio ambiental. ACV trata do ciclo de vida de processos, projetos e produtos de modo holístico, resultando em dados quantitativos que incentivam diretamente à tomada de decisões projetuais de arquitetos e designers.

Para obter esses resultados quantitativos e passíveis de comparação, faz-se necessário analisar processos de produção, transportes, uso, reciclagem e descarte, logística de distribuição e alternativas de fim de vida. As emissões de poluentes e de gases de efeito estufa da industrialização e do transporte incorporados nesses processos, podem consumir tanta energia quanto será gerada pelo produto em toda sua vida útil (HEYWOOD, 2017), principalmente quando consideramos casos de produtos transportados por longas distâncias e meios de transporte altamente poluentes. Essa análise quantitativa pode ser feita por meio da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

Este artigo versa sobre a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) como forma de promover o desenvolvimento do setor da construção civil aliado aos princípios de sustentabilidade ambiental. Visa uma breve revisão bibliográfica atualizada tratando do ciclo de vida da

arquitetura, englobando discussões acerca de projeto, uso e reuso de objetos arquitetônicos, e a aplicação prática de softwares de ACV a fim de incentivar uma produção e arquitetura aliada ao desenvolvimento do meio ambiente. A metodologia de pesquisa envolve a fundamentação por livros importantes na área e busca por artigos atualizados publicados em anais de eventos da área ou por meio de palavras-chave em bases de dados (Portal de Periódicos CAPES).

Avaliação do Ciclo de Vida

A elaboração de Avaliação de Ciclo de Vida é regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a série ISO 14040 (2009), a qual define o termo “Avaliação de Ciclo de Vida” como uma compilação e avaliação de entradas, saídas e impactos ambientais potenciais de um sistema ao longo de seu ciclo de vida. Segundo a norma, ACV pode tratar de aspectos do ciclo de vida do produto como a aquisição das matérias-primas, processos produtivos, uso, obsolescência, tratamento pós-uso, reciclagem e disposição final.

Ao englobar todas estas etapas, é identificada como “do berço ao túmulo”, sendo considerado o “berço” as fases iniciais como a obtenção da matéria-prima, e o “túmulo” as fases finais, como o descarte ou tratamento de reciclagem, por exemplo (ABNT NBR ISO 14040, 2009). Em adição, usualmente ainda pode-se tratar da fase de final do processo produtivo, ou da saída da fábrica, chamado de “portão”. Assim, são atribuídas algumas variações de nomenclatura que definem os limites de cada ACV, que pode ser “do berço ao portão”, “do portão ao túmulo”, “do berço ao túmulo”, ou ainda “berço ao berço”, quando o material retorna para um novo ciclo como recurso para outro processo produtivo. Esses limites variam, afinal, como ratificam Nunberg e Eckleman (2017), a definição dos limites do sistema de uma ACV depende dos objetivos do estudo proposto.

A ABNT NBR 14040 (2009) orienta quanto às etapas que o sistema pode englobar:

Ao se estabelecer a fronteira do sistema, convém que diversos estágios do ciclo de vida, processos elementares e fluxos sejam levados em consideração, tais como:

- aquisição de matérias-primas;
- entradas e saídas na cadeia principal de manufatura / processamento;
- distribuição/transporte;
- produção e uso de combustíveis, eletricidade e calor;

- uso e manutenção de produtos;
 - disposição final de resíduos de processos e de produtos;
 - recuperação de produtos usados (incluindo reuso, reciclagem e recuperação de energia);
 - manufatura de materiais auxiliares;
 - manufatura, manutenção e descomissionamento de equipamentos;
 - operações adicionais, como iluminação e aquecimento.
- Em muitas situações, a fronteira do sistema definida inicialmente terá que ser refinada posteriormente. (ABNT, p.13-14)

A elaboração da ACV engloba 4 fases básicas: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação (ABNT, 2009). Além das quatro fases básicas, a norma ainda engloba em seu escopo: a comunicação e a análise crítica da ACV, suas limitações, relação entre fases, e as condições para uso de escolhas de valores e elementos opcionais.

A norma (ABNT, 2009) especifica diferenças entre estudos de ACV e ICV (inventário do ciclo de vida), sendo que o primeiro engloba as 4 fases básicas, e o segundo exclui a fase de avaliação de impactos, tratando apenas do levantamento dos processos.

Segundo a norma (ABNT, 2009), são justificáveis possíveis imprecisões do estudo:

- 4.3 i) a ACV enfoca impactos ambientais potenciais; a ACV não prevê impactos ambientais absolutos ou precisos devido:
- à expressão dos impactos ambientais potenciais relativamente a uma unidade de referência,
 - à integração de dados ambientais nas dimensões espaço e tempo,
 - à incerteza inerente na modelagem de impactos ambientais, e
 - ao fato de que alguns impactos ambientais possíveis são claramente impactos futuros; (ABNT NBR 14040, p.9)

Deste modo, ratifica-se que o método de ACV, pode ser impreciso, porém, ainda assim é considerado pertinente. Isso porque os resultados obtidos são válidos para a comparação de alternativas graças a padronização da análise.

Atualmente, devido ao avanço tecnológico, essa metodologia pode ser facilmente implementada com o auxílio de softwares e bases de dados. Esse assunto será aprofundado na próxima seção.

Softwares e bases de dados

Além da metodologia orientada pelas normas da série ISO 14000, alguns softwares e bases de dados fundamentam a elaboração da ACV. Como demonstram Ingwersen *et al.* (2015), SimaPro, GaBi, OpenLCA são alguns dos softwares utilizados atualmente.

O processo de elaboração de uma ACV pode estar sujeito a um relevante número de dados incertos e grande período de tempo de levantamento de tais dados, além de incompatibilidade e variabilidade sensível, o que afere certa complexidade ao processo (KEELER; BURKE, 2010). Assim, se justifica a utilização de softwares, orientando e padronizando a metodologia do processo e as bases de dados, afinal, as principais conclusões desse tipo de estudo são comparativas e qualitativas, obtidas a partir de resultados quantitativos.

Para a utilização do software, o sistema é organizado em: fluxos, processos, sistemas de produto, projetos, resultado e relatório. Assim, posteriormente, é elaborada a análise, permitindo comparações, identificação de etapas que demandam melhorias, e proposição de soluções, por exemplo. A partir dessa organização dos fluxos e processos, é possível vincular a organização do inventário com as bases de dados, gerando o resultado. O relatório de resultado apresenta os valores de impacto organizado por etapas do ciclo de vida e o valor atribuído a cada categoria de impacto.

Um dos softwares de acesso livre e gratuito é o OpenLCA, com grande volume de estudos já elaborados por empresas como a EnCiclo, no Brasil. O OpenLCA disponibiliza de algumas bases de dados gratuitas, e outras pagas. O website do programa fornece tutoriais e a EnCiclo promove diversos cursos de capacitação para a utilização do programa. (ENCICLO, 2019)

O software OpenLCA em sua versão atualizada de 2019 organiza as categorias de impacto em: acidificação (chuva ácida); mudanças climáticas; ecotoxicidade de água doce; eutrofização de água doce; toxicidade humana por agentes cancerígenos; toxicidade humana por agentes não cancerígenos; uso da terra; radiação ionizante em relação aos ecossistemas; radiação ionizante em relação a saúde humana; eutrofização marinha; depleção da camada de ozônio; material particulado / inorgânicos respiratórios; formação fotoquímica de ozônio; esgotamento de recursos renováveis, minerais e fósseis;

esgotamento de recursos de água; eutrofização terrestre. É a partir destas categorias de impacto que será elaborada a análise final e a interpretação dos resultados. Deste modo, será possível identificar em quais etapas do ciclo de vida e em quais categorias de impacto o sistema é mais agressivo, e assim, propor soluções alternativa de mitigação de impacto.

Os softwares são abastecidos por bases de dados que fornecem informações quantitativas quanto aos impactos ambientais dos materiais, produtos e também alguns processos. Esses dados variam quanto a localização, distâncias, fontes de energia, consumo de água, combustíveis, entre outros, adaptando-se de modo específico a cada análise proposta.

Algumas dessas bases de dados podem vir a ampliar o acesso gratuito quando contatada e justificada para fins acadêmicos. Por fim, em casos de maiores dificuldades de acesso a dados ou dados inexistentes ou ainda não elaborados, fica-se suscetível a utilização de referências bibliográficas ou estimativas a fim de completar os dados necessários para o estudo.

Aqui vale explicar, que devido às especificidades dos objetivos de cada ACV, seus resultados podem ser obtidos de diferentes maneiras. Os softwares possibilitam resultados por meio de gráficos, dados quantitativos e referente a diferentes categorias de impacto. Além disso, ACV é uma análise completamente suscetível às interpretações do responsável por ela. Por isso se confirma a ideia de que a metodologia parte de dados quantitativos para um resultado de análise crítica qualitativa.

Ingwersen *et al.* (2015) abordam ACV pela visão da tecnologia da informação, envolvendo conceitos de ontologia e interoperabilidade de dados. Para os autores, a atual carência de interoperabilidade entre os conjuntos e as bases de dados é o fator determinante para a ampliação do uso da metodologia.

Porém, ainda que possa existir certa incompatibilidade entre softwares de ACV, para a arquitetura, isso vêm mudando. Para projeto arquitetônico elaborado em programas BIM (Building Information Modeling), já existem plug-ins ou aplicações, que absorvem os dados inseridos no programa de modelagem e elaboram a ACV dos materiais de modo específico ao projeto. Os resultados da ACV nesta tipologia de plug-in, também são dados por categorias de impacto. (CAYS, 2017)

Ginzburg (2016) discute sobre a utilização da tecnologia BIM como ferramenta para arquitetura ao longo de diversas fases do ciclo de vida da edificação. Como demonstra o autor, tecnologias para a gestão do ciclo de vida em edificações modernas se baseiam em projetos fundamentados por BIM (*Building Information Model*), garantindo uma base única de informação para o projeto de edificações. Porém atualmente, o emprego da tecnologia demanda certo investimento financeiro e capacitação de equipe técnica, isso devido ao fato de que sua implementação ainda não é utilizada pelos escritórios de projeto de modo geral.

Para o autor (GINZBURG, 2016), a verdadeira vantagem da tecnologia BIM surge quando os modelos 3D são complementados com os parâmetros técnicos de estrutura, dados materiais de construção, preços, curvas de carga, tempo de entregas, contato de terceiros, etc. Na fase de uso, toda essa informação pode ser complementada com dados técnicos como o estado atual, reparos, melhorias, investimentos, substituições, custos, e responsáveis técnicos.

Desde 2013, a Autodesk que propõe facilitar a ACV para arquitetos por meio do software Tally, que é considerado um bom primeiro passo para a integração de dados de ciclo de vida e fluxos de projetos arquitetônicos. O software importa os materiais e quantidades a partir da modelagem em BIM, no caso, o Revit, a fim de se obter informações sobre como os diferentes materiais de construção e processos construtivos atuam nas diferentes fases do ciclo de vida. (CAYS, 2017)

Moura, Nascimento e Caldas (2018) justificam em estudo de caso, algumas das dificuldades de utilização do plug-in no Brasil, como por exemplo a imprecisão de dados aplicados à realidade brasileira. Ainda assim, os autores ratificam o impacto positivo na avaliação dos impactos ambientais dos possíveis materiais empregados no projeto para a tomada de decisão. Os autores concluem que o plug-in ainda demanda aperfeiçoamento para o contexto brasileiro, mas ainda assim é válido.

Witicovski e Tavares (2018) também promovem um estudo acerca da integração das ferramentas BIM e ACV, ratificando algumas das mesmas dificuldades demonstradas por Moura, Nascimento e Caldas (2018). Em adição, Witicovski e Tavares (2018) confirmam a eficiência dos resultados de impacto ambiental encontrados por meio do Tally para uma ACV simplificada. Porém, destacam que para operações mais complexas, demanda-se a vinculação com outras ferramentas e aprimoramento da interoperabilidade entre elas.

Como mostra Ginzburg (2016), para a prática projetual, a utilização de BIM representa um drástico ganho no quesito tempo de trabalho. A partir da modelagem por meio esta tipologia de softwares, é possível substituir automaticamente e em toda a documentação do projeto de modo completo qualquer alteração como unidade, material, sistema de montagem, otimizando o processo de projeto, evitando possíveis falhas comuns quando situações de mudanças drásticas, e permitindo a comparação de alternativas por meio de simulações antes da implementação na prática. Esse benefício que permite fácil substituição de materiais, também pode ser considerada uma das justificativas pela relação bem sucedida entre as ferramentas BIM e ACV.

A análise elaborada pelo autor (GINZBURG, 2016), mostra que a implementação desta tecnologia é bem sucedida quando a modelagem foi criada ainda em fase de projeto e é subsidiada por dados fornecidos pelos projetistas levando em consideração o uso e o processo de construção.

Para Ginzburg (2016), a principal etapa do ciclo de vida de uma edificação é a fase de uso e considera que a tecnologia BIM (*Building Information Model*) apresenta seu retorno máximo no estágio operacional a edificação. Segundo o autor, a utilização do software pode ser questionável se utilizada apenas em fase projetual devido a demanda de investimentos iniciais e capacitação. O autor considera que há maior eficiência e retorno dos investimentos para as demandas das demais etapas do ciclo de vida da edificação.

Em fase de obra, ou construção da edificação, BIM pode ser utilizado como ferramenta de gestão. Permitindo acesso digital ao projeto, exportar e manipular dados, coordenar obra, estrutura, materiais e produtos assim como a coordenação do período tempo destinado para cada fase. Vale ressaltar, a eficiência da tecnologia BIM para as fases de desmontagem ou remoção de edificações, uma vez que é fonte de informações sobre a estrutura, materiais e dimensões (GINZBURG, 2016). Assim, torna-se possível análise dos impactos em todas as fases do ciclo de vida das edificações por meio da interoperabilidade entre softwares.

Como demonstram Jobim *et al.* (2017), no Brasil, muitos escritórios de projeto ainda enfrentam algumas dificuldades para modernização de seus sistemas de projeto, assim como a implementação de softwares BIM. Ainda que sua eficiência esteja mais do que garantida, a implementação do software nas empresas é complexa, principalmente devido a dificuldades como por exemplo a falta de conhecimento técnico dos profissionais ou mesmo

atividades de capacitação. Em adição a isso, custos de investimento em capacitação ou mesmo aquisição de licença para o software também podem ser considerados obstáculos para a modernização dos sistemas de projeto.

Como pode-se perceber, no Brasil, a utilização de softwares BIM como o Autodesk Revit por exemplo, se dissemina lentamente no mercado, o que condiciona a utilização de plug-ins como o Autodesk Tally por exemplo. Deste modo, pode-se considerar a dificuldade de implementação de novas tecnologias como um dos entraves para a implementação e consolidação de novas técnicas e tecnologias para ACV no mercado e setor da construção civil.

Ciclo de vida em arquitetura

A avaliação de ciclo de vida é de extrema relevância para o projeto de edificações sustentáveis. Como confirmam Keeler e Burke (2010), a construção sustentável é uma área de estudo multifacetada, que inclui a preocupação com o ciclo de vida, resíduos de construção, conservação do solo e da água, qualidade do ar e do ambiente interno e redução do consumo de energia.

Quanto a produção arquitetônica, para Araújo (2008, não paginado), a moderna construção sustentável, aliada a tecnologia, propõe soluções aos problemas ambientais atuais a fim de atender às necessidades dos usuários. O autor orienta que a obra sustentável deve ser responsável por tudo que “consome, gera, processa e descarta” e é capaz de “planejar e prever todos os impactos que pode provocar, antes, durante e depois do fim de sua vida útil”. O autor destaca a relevância da autossuficiência da edificação, pois ao se buscar intervenções ou novas construções passivas, é imprescindível visar alternativas que atendam às necessidades de recursos da própria edificação.

A moderna construção sustentável, num ideal de perfeição, deve visar sua auto-suficiência e até sua auto-sustentabilidade, como o estágio mais elevado da construção sustentável. Auto-sustentabilidade é a capacidade de manter-se a si mesmo, atendendo a suas próprias necessidades, gerando e reciclando seus próprios recursos a partir do seu sítio de implantação. (ARAÚJO, 2008, não paginado)

Acerca desse conceito de autossuficiência, quando relacionado ao progresso tecnológico da construção civil atual, algumas estratégias já vêm sendo implementadas a fim de garantir essa autonomia da edificação. Sistemas de geração de energia distribuída, recolhimento e aproveitamento da água da chuva, sistemas de compostagem e reciclagem *in loco* e hortas comunitárias por exemplo, são alternativas que aferem certa independência ao funcionamento das edificações e ao atendimento das necessidades básicas dos usuários. Porém, são estratégias como estas que merecem ser submetidas a análises de ACV, a fim de se obter dados quantitativos desse impacto, para uma comparação mais próxima da realidade de sua sustentabilidade. Assim, se faz necessário avaliar tais sistemas a fim de não cair em senso comum e quantificar os impactos ambientais destas alternativas. Sendo assim, elaborar Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) desses sistemas e projetos, específicos para cada situação e localidade, é uma metodologia que vêm sendo desenvolvida a fim de trazer a discussão o impacto ambiental da produção, instalação, uso e fim de vida desses sistemas por meio de resultados mais próximos da realidade.

Vale destacar que não existem materiais que não gerem impactos: tudo causa impacto ambiental de alguma maneira, por menor que seja. A ACV envolve examinar os impactos ambientais dos elementos mais específicos. Considera-se que toda manufatura usa ou produz energia, o que significa que todo material ou produto incorpora energia. Sendo assim, fica evidente que para equilibrar energia, emissões e fluxos de água, é necessário examinar recursos, materiais, produtos e sistemas, incluindo suas vidas úteis, para um projeto mais sustentável e integrado completamente. (KEELER; BURKE, 2010)

Ao se tratar de sistema de geração de energia distribuída por exemplo, ainda cabem estudos que avaliem o impacto ambiental dessa descentralização, mesmo que esta utilize de fontes renováveis. A geração de energia solar fotovoltaica por exemplo, é uma fonte livre de combustíveis fósseis e em fase de uso, não emite gases de efeito estufa (RAHMAN; ALAM; AHSAN, 2019). Ainda assim, etapas de processo produtivo e tratamento posterior a sua obsolescência, fazem parte do tradicional sistema produtivo e de descarte de resíduos sólidos urbanos, que ainda demandam maior eficiência.

Como explica Ohta (2017), as emissões de gás carbônico pelo setor residencial devem continuar aumentando, considerando que o padrão de vida da população ainda não foi completamente atendido. Ou seja, ainda existem demandas para atender de forma mais

eficiente às necessidades básicas das pessoas, assim como ainda existe mercado para o desenvolvimento tecnológico de alternativas que promovam maior dinâmica ao cotidiano urbano. Isso é evidenciado pelos inúmeros aplicativos e sistemas que vêm a facilitar as atividades diárias, como por exemplo, compras online, compras de supermercado por aplicativo que entregam em casa, transporte por aplicativos, sistemas arquitetônicos inteligentes fundamentados por inteligência artificial como climatizadores automáticos, sensores de presença, adaptação de iluminação de acordo com a luz do dia, etc.

Cada vez mais os clientes querem saber como seus edifícios se comportarão quanto a sua performance em diferentes aspectos e ao impacto ambiental. Ferramentas de avaliação de ciclo de vida que quantificam o impacto ambiental são uma referência precisa para comparação de métodos e materiais e fundamentam a tomada de decisão para um projeto mais sustentável. Em prol de satisfazer essa demanda por projetos mais sustentáveis, tais estratégias podem vir a simplificar a tomada de decisão e a resolução de problemas complexos. Os benefícios dessas ferramentas emergentes, integradas e confiáveis se aplicam diretamente como embasamento para o trabalho dos arquitetos. (CAYS, 2017)

Inerentes à Avaliação de Ciclo de Vida, algumas alternativas devem ser consideradas, como o deslocamento de materiais. Por exemplo, optar por recursos de fontes próximas, pode ser justificável a utilização de materiais reaproveitados de fontes mais distantes, ou então, materiais com alta durabilidade levando em conta a saúde dos usuários e um ciclo de vida de baixo impacto. Afinal, todo material de construção possui energia incorporada e causa algum impacto, seja em etapas de extração, produção, transporte, instalação ou desmontagem. (HEYWOOD, 2017)

Ohta (2017) trata de conceitos de “zero LCCO₂” (*zero life cycle carbon dioxide*), o que significa um “ciclo de vida zero carbono”. Independente do quanto eficiente seja a relação anual de geração por consumo de energia da residência referente a redução e seu impacto ambiental, é incoerente se a energia consumida para a construção da unidade habitacional exceder a energia economizada. O autor (OHTA, 2017) considera que as definições conceituais de “energia zero” (*zero energy*) ou “zero emissão” (*zero emissions*) não são uniformes nos diferentes países. Independente disso, explica que um edifício “zero energia” normalmente é aquele que consome menos energia do que produz por fontes renováveis, como por exemplo, energia solar.

Ohta (2017) propõe uma avaliação de carbono incorporado ao ciclo de vida de uma residência em uma situação convencional e em outra onde escolhas foram feitas buscando reduzir as emissões de carbono ao longo do tempo. As conceituações de “zero LCCO₂” buscam essa redução anual aos poucos, onde eventualmente se chegará a zero. De acordo com o autor, o CO₂ incorporado foi analisado levando em consideração as entradas e saídas e os resultados sugeriram que os materiais utilizados para melhoria da eficiência energética e emissões de CO₂ gerados pelas fases de produção e construção impactam positivamente no impacto ambiental causado pela tipologia de habitação analisada.

Como conclui Ohta (2017), o carbono incorporado ao ciclo de vida de uma residência convencional aumenta a cada ano devido ao consumo de energia diário. Em oposição a isso, o carbono incorporado ao ciclo de vida de uma residência “ciclo de vida zero carbono”, diminui todo ano devido ao balanço menor que zero. Como mostra o autor, as emissões adicionais para a unidade ciclo de vida zero carbono durante as fases de produção e construção podem ser recuperados em dois anos.

Bocchi e Marini (2015) discutem o ciclo de vida em arquitetura a partir de uma visão de estratégias de “reciclagem” em arquitetura. Abordam a reciclagem do patrimônio existente, instigando uma relação entre ideias, regulamentação e prática. Para os autores, mais do que uma operação técnica de reutilizar materiais, reciclar seria uma reinvenção de importantes conceitos, a criação de novos ciclos de vida para objetos arquitetônicos e de infraestrutura existentes nas cidades contemporâneas. Os autores propõem uma reinterpretação de “camadas profundas” do território, englobando o patrimônio existente, mesmo que abandonado ou degradado, como recurso para o futuro e para o desenvolvimento urbano.

Os autores (BOCCHI; MARINI, 2015) enfatizam que reciclar arquitetura não significa apenas ações de intervenção no “corpo morto da cidade”, mas transformar elementos urbanos ainda ativos em verdadeiras partes da cidade. O que requer momentos de escolha, ou sejam, perceber objetos que ainda permitam um valor intrínseco diferente, seja este material ou social.

Assim, trata-se de reciclagem em arquitetura como uma diretriz de desenvolvimento urbano, almejando uma segunda visão para o objeto existente e um proveito mais eficiente do espaço (BOCCHI; MARINI, 2015). Ou seja, promover a dinâmica urbana utilizando como

principal recurso aquilo que já existe. Afinal, como demonstra Ginzburg (2016), ao longo de seu ciclo de vida, uma edificação pode vir a passar por reconstruções, reformas, e mesmo mudanças de uso.

Considerações Finais

Este artigo resulta em uma breve discussão acerca de conceitos iniciais para o emprego de ACV em arquitetura. Por meio de revisão bibliográfica atualizada, foi possível fundamentar a discussão acerca da visão do ciclo de vida em arquitetura, seja almejando a análise de materiais, sistemas, projetos ou edificações existentes.

Além disso, a discussão acerca de conceitos introdutórios para a implementação de ACV em arquitetura promove a divulgação da metodologia no setor. Assim, é possível instigar e incentivar seu uso como estratégia de sustentabilidade ambiental.

Com isso, fica evidente o desenvolvimento tecnológico do setor da construção civil e o espaço para a implementação de metodologias que promovam a eficiência, a otimização de recursos e o menor impacto ambiental da produção arquitetônica. Ainda que algumas dificuldades como a complexidade dos softwares e capacitação de profissionais, condicionem a consolidação dessas tecnologias nos setores de projeto, é evidente o espaço para o avanço da metodologia de ACV vinculada a arquitetura.

Referências Bibliográficas

ALCOFORADO, Manoel Guedes; SILVA, Paulo Roberto. **Reflexão sobre o estilo de vida e o padrão de consumo em numa sociedade sustentável**. Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Design Sustentável (II SBDS). São Paulo, Brasil, 2009.

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável**. 26 maio 2008. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel_589. Acesso em: 23 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040/2009**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Versão Corrigida: 21.07.2014. Rio de Janeiro, 2014. 22p.

BOCCHI, Renato; MARINI, Sara. Re-cycle Italy: In search of new life-cycles for the territories of waste and abandonment. **Techne**, v. 10, p. 16-18, 2015. ISSN online: 2239-0243. DOI: 10.13128/Techne-17495.

CAYS, John. Life Cycle Assessment: Reducing Environmental Impact Risk with Workflow Data You Can Trust. **Architectural Design**, v. 87, n. 3, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary-wiley.ez27.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1002/ad.2179>. Acesso em: 11 ago. 2019. p. 96-103.

Comissão da Carta da Terra. **A carta da Terra**. 2000. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/carta_terra.pdf. Acesso em: 30 ago. 2018.

ENCICLO. **Soluções Sustentáveis**. 2019. Disponível em: <https://www.enciclo.com.br/>. Acesso em: 19 set. 2019.

GINZBURG, Alexander. Sustainable Building Design. **MATEC Web of Conferences**, v.73, n. 02018, p. 1-7, 2016.

HEYWOOD, Huw. **101 regras básicas para edifícios e cidades sustentáveis**. São Paulo: Editorial Gustavo Gili, 2017

INGWERSEN, Wesley M. *et al.* A new data architecture for advancing in life cycle assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 520-526, 2015. DOI 10.1007/s11367-015-0850-6.

JOBIM C. *et al.* Analysis of the implementation of BIM technology in project and building firms in 2015 in a Brazilian city. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 32, n. 3, p. 185-194, 2017.

KEELER, Marian. BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

LOVELOCK, James. **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo: Cultrix, 2006. Cap 1: reconhecendo gaia. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=Tx-pMj_Z_OUC&oi=fnd&pg=PA6&dq=James+Lovelock+&ots=DaK9XVvCta&sig=E7im3hORw4gNGnubk5Gjhrög6x8#v=onepage&q&f=true. Acesso em: 15 ago. 2018.

MOURA, Leonardo Vinicius Oliveira de; NASCIMENTO, Matheus Leoni Martins; CALDAS, Lucas Rosse. BIM e a Avaliação do Ciclo de Vida no projeto de edificações: Estudo de caso para o plug-in Tally. *In*: VI CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 2018, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, 2018, p. 991-996.

NEBBIA, Tom. **Integração entre o meio ambiente e o desenvolvimento: 1972-2002**. Ecuador, 2002. UNEP. cap. 1, p.1-28.

NUNBERG, Sarah; ECKLEMAN, Matthew. **Long term thinking for conservation planning.** Managing Collection Environments: Preserving Collections in the Age of Sustainability. Pennsylvania Academy of the Fine Arts, Philadelphia. 2017.

RAHMAN, Mustafizur; ALAM, Chowdhury Sadid; AHSAN, Abir. A Life Cycle Assessment Model for Quantification of Environmental Footprints of a 3.6kWp Photovoltaic System in Bangladesh. **International Journal of Renewable Energy Development**, v. 8, n. 2, p. 113-118, 2019.

WITICOVSKI, Lilian; TAVARES, Sergio. Integração da modelagem da informação da construção (BIM) e a Avaliação do ciclo de Vida (ACV). *In*: VI CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 2018, Brasília. **Anais [...]**. Brasília, 2018, p. 862-870.