



UTILIZAÇÃO DE BIM E ACV, CONSIDERANDO O CÁLCULO DA ENERGIA E CARBONO EMBUTIDO, PARA REUSO DE AÇO ESTRUTURAL

MENDONÇA, Catarina Campelo de (1); SOTELINO, Elisa Dominguez (2)

(1) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, catarina.campelo@gmail.com

(2) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, sotelino@puc-rio.br

RESUMO

A reutilização de materiais com alto índice de energia incorporada, como os elementos estruturais de aço, é considerada uma prática válida para diminuir os impactos ambientais provenientes da indústria da construção civil. Sendo mais eficiente ambientalmente do que a reciclagem do aço em termos de emissão de dióxido de carbono, energia incorporada, processamentos e, em alguns casos, transporte. Além disso, o BIM fornece um ambiente promissor para a troca de informações durante todo o ciclo de vida da construção quanto a vida útil, qualidade e características dos seus elementos, assim como um novo fluxo de trabalho e informações na fase de concepção de projetos que promove melhoras nas tomadas de decisão no contexto de construções sustentáveis. O estudo ACV (Avaliação do Ciclo de Vida) de cenários de uma edificação foi desenvolvido para simular as tarefas de análise e interpretação na fase de desenvolvimento de projetos. Os resultados obtidos indicam que o desenvolvimento de um projeto sustentável não interfere significativamente com os interesses econômicos, práticos, estéticos e que a inclusão da ACV é um fator importante nas tomadas de decisões na fase de projeto para melhorar o desempenho ambiental dos materiais utilizados.

Palavras-chave: BIM, reutilização de aço, ACV, projeto sustentável.

ABSTRACT

Reusing materials with a high index of embodied energy, such as structural steel elements, is considered a valid practice to reduce environmental impacts caused by the construction industry. Steel reuse is more sustainable than recycling in terms of carbon dioxide emissions, embodied energy, processing and, in some cases, transportation. Moreover, BIM provides a promising environment for the exchange of information throughout the building's life cycle in terms of its elements' useful life, quality and characteristics, as well as a new workflow in the conceptual design phase, which improves the decision making process in the context of sustainable constructions. A building's LCA (Life Cycle Assessment) study was developed to simulate the tasks in the analysis and interpretation in the project phase. The results indicate that the development of a sustainable project does not significantly interfere with the economic, practical and aesthetic interests and that including LCA is an important parameter in decision-making at the design stage to improve the environmental performance of the materials used.

Keywords: BIM, steel reuse, LCA, sustainable project.

1 INTRODUÇÃO

O setor de construção civil gera grandes volumes de resíduos sólidos devido ao processo construtivo de demolição, escavação ou reformas. O descarte destes resíduos em aterros é uma prática popular de

gerenciamento de resíduos de construção e demolição (RCD) da maioria dos países em desenvolvimento, bem como em alguns países europeus. Recursos limitados do aterro, o esgotamento de recursos naturais e a degradação ecológica causados pela crescente extração de matérias-primas estão forçando estas práticas convencionais a serem revisitadas (Iacovidou & Purnell, 2016; Koutamanis et al., 2018).

Tratados e acordos foram firmados ao redor do mundo com objetivo de reduzir a emissão de gases do efeito estufa e emissão de carbono como o *Climate Change Act* (2008), *Green Construction Board* (2013) e o IPCC Além de leis como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/10) no Brasil (Densley Tingley et al., 2017).

O reuso de elementos estruturais, e dos demais RCD, aproveitam elementos que seriam descartados em aterros ou reciclados diminuindo os impactos ambientais gerados pela construção. Neste cenário a utilização do BIM para desenvolver e acompanhar projetos durante o seu ciclo de vida, aliado as metas de gerenciamento de RCD e utilizações de materiais com menores impactos ambientais cria um cenário promissor para o desenvolvimento e modernização do setor da construção civil.

Este artigo tem como objetivo propor um processo para melhorar a integração da metodologia BIM com projetos sustentáveis que visam diminuir o impacto ambiental causado pelos materiais empregados na construção a partir da análise de um estudo de caso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações nas fases iniciais de projeto em BIM

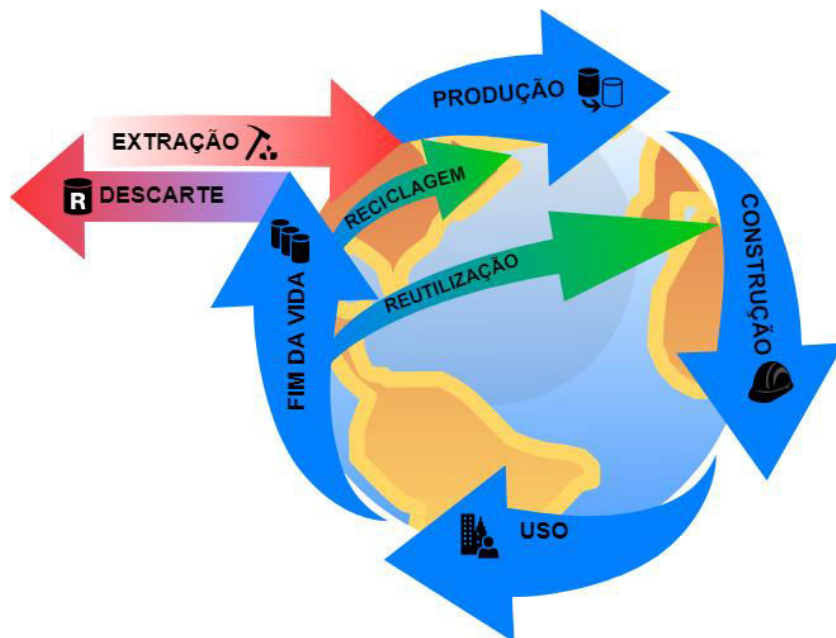
Os materiais utilizados na construção civil possuem alta demanda energética na sua fase de produção. Por este motivo são incentivados novas metodologias e técnicas de desenvolvimento de projeto com o objetivo de reduzir a energia embutida inicial, de manutenção e ao longo de todo o ciclo de vida da edificação (De Oliveira et al., 2015). Portanto, nas fases de planejamento e desenvolvimento de projeto é de fundamental importância introduzir conceitos e práticas sustentáveis, como a reuso de materiais, o design para desmontar, a utilização de materiais com alto desempenho ambiental e a utilização da metodologia BIM (Cavalliere et al., 2019; Najjar et al., 2017).

O uso conjunto de BIM e ACV nas fases iniciais de projeto auxilia nas tomadas de decisão principalmente nas escolhas de materiais, tecnologias e sistemas construtivos, convergindo para uma solução otimizada com a participação de diversos atores importantes para o processo (Barros & Silva, 2017; Cavalliere et al., 2018).

2.2 Ciclo de vida

O ciclo de vida dos materiais empregados na construção civil é um conjunto de fases marcadas pelas entradas de materiais e energias e saídas de resíduos e emissões como ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Fases do ciclo de vida dos materiais da construção civil.



Fonte: Autores.

O ciclo de vida de um produto da construção civil pode ser dividido em quatro fases, produção, construção, uso ou operação e fim da vida. A fase de produção engloba a extração de matéria prima, transporte até a fábrica, e o processamento da matéria prima que irá ocorrer dentro da fábrica. A fase de construção que considera o transporte do material da fábrica até o canteiro de obra e a construção em si. A fase de uso avalia o próprio uso da edificação, manutenção, reparo e reformas que ocorrem durante a sua vida útil, além da utilização de água e energia operacional. A fase do fim da vida caracteriza o fim da utilização da construção. Nesta fase ocorre a demolição ou desmonte do prédio e o transporte dos materiais que podem seguir caminhos diferentes. Elementos ainda em boas condições de uso podem ser reutilizados e, portanto, serem incorporados à fase de construção de um outro ciclo. Elementos que não estejam em boas condições, mas bem separados dos demais resíduos podem ser reciclados, sendo incorporados na fase de produção de um outro ciclo de vida dispensando em parte a extração de novos materiais. Elementos que não forem reutilizados nem descartados são chamados de resíduos e acabam sendo descartados em aterros.

2.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Os estudos de ACV são geralmente utilizados para auxiliar comparações entre diferentes elementos com funções semelhantes ou entre diferentes sistemas com serviços semelhantes. Esta etapa é uma oportunidade promissora para cobrir os três pilares do desenvolvimento sustentável (meio ambiente, social e econômico) em um estágio inicial de projeto, além de maximizar a possibilidade de identificar melhorias no desempenho ambiental de produtos em várias fases do ciclo de vida, auxiliando os tomadores de decisão na indústria, governo ou demais organizações. A avaliação do ciclo de vida é normatizada por várias normas, tais como a ISO 14040 e a ISO 14044).

Figura 2 – As quatro fases do estudo de ACV.



Fonte: Adaptado de ISO 14010.

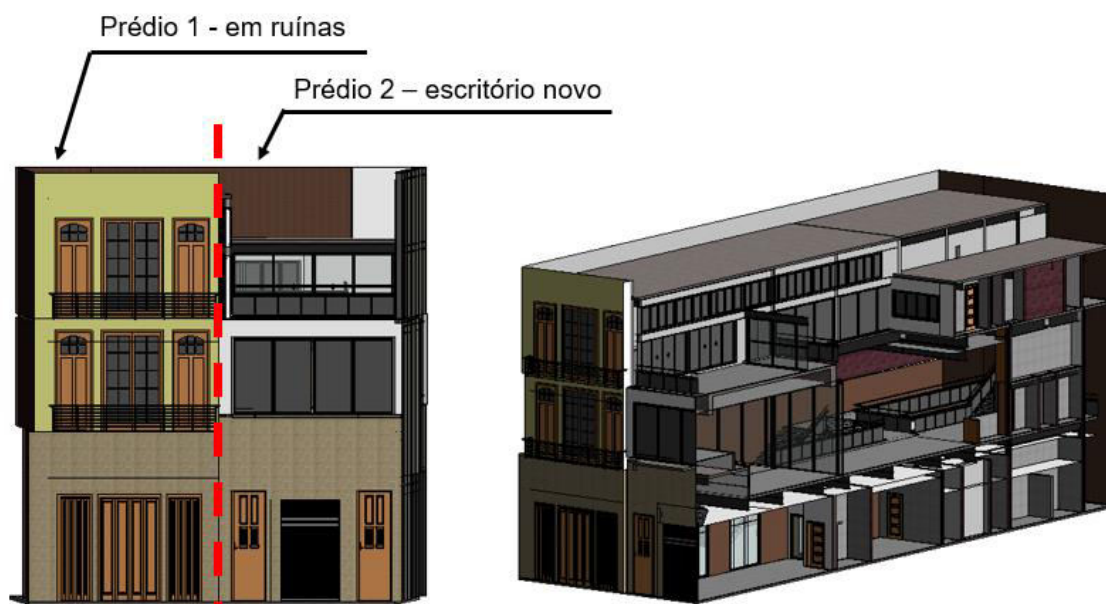
O objetivo e escopo do estudo de ACV devem ser claramente definidos e consistentes com a aplicação pretendida. Devido à natureza iterativa da ACV o escopo pode precisar ser redefinido ou refinado durante o estudo. Os impactos ambientais são obtidos através da avaliação do ciclo de vida (ACV), como o consumo de energia primária, potencial de aquecimento global, eutrofização, acidificação, entre outros. O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) consiste na identificação e quantificação de todas as entradas, como o consumo de energia e recursos naturais, e todas as saídas, como as emissões gases no ar e poluições em solos e águas, que ocorrem durante o ciclo de vida do produto. A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é um processo quantitativo e qualitativo para a avaliação dos riscos e impactos ambientais em potencial associados ao ICV (Machado & Moreira, 2015; ISO 14040). A interpretação do ciclo de vida é a fase onde as constatações da análise do ICV ou da AICV, ou de

ambas, são avaliadas com relação ao objetivo e escopo definidos, a fim de se chegar a conclusões e recomendações (ISO 14040; ISO 14044).

3 ESTUDO ACV

O conjunto de prédios abordados neste estudo estão localizados no centro da cidade do Rio de Janeiro, onde foram realizadas obras de restauração, ampliação e adaptação. O conjunto arquitetônico do início do século XIX é formado por três prédios tombados pelo patrimônio histórico. Um dos prédios do conjunto não será considerado no estudo, pois sua estrutura foi preservada e apenas reforçada. Os prédios 1 e 2 (Figura 3) foram reconstruídos com estrutura metálica e de concreto mantendo suas fachadas frontais preservadas. O interior do primeiro prédio se encontrava em ruínas e sem estrutura interna, o segundo prédio funcionava como escritório e havia sido construído com estrutura metálica havia não mais de 5 anos, este seria demolido ou desmontado. O projeto desenvolvido visava unir o espaço de convívio dos três prédios e não utilizou a metodologia BIM, de modo que os projetistas tinham pouca troca de informações e pouco contato uns com os outros. Os projetos das diversas disciplinas só foram compatibilizados durante a fase da construção, gerando muitos impasses e solicitações de mudanças para adaptar os projetos.

Figura 3 – Arquitetura do conjunto de prédios no Autodesk Revit.



Fonte: Autores.

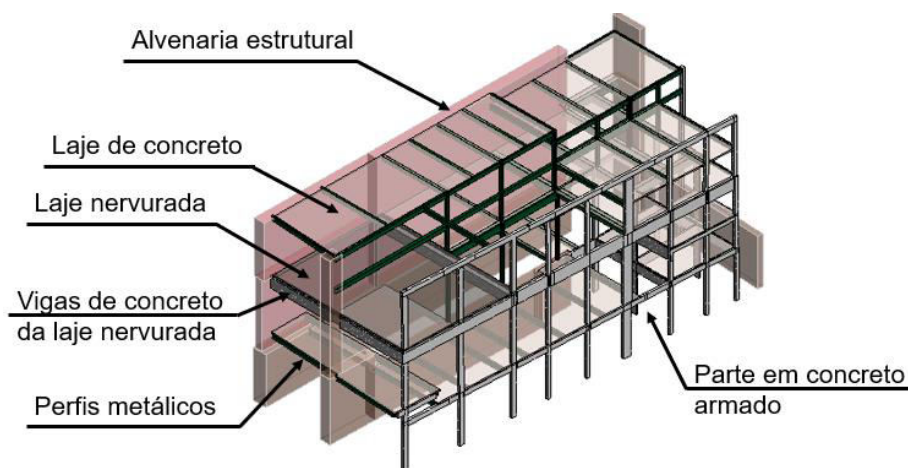
As solicitações de mudanças foram por motivos econômicos, estéticos, fiscais e de simplificação da execução. Grande parte das disciplinas de projeto foram impactadas por essas alterações, sendo os projetos arquitetônico e estrutural foram os mais impactados. Diversos atores foram

responsáveis pela solicitação e avaliação das alterações e corroboraram para o resultado final e o alinhamento dos interesses do cliente, projetistas e dos agentes de fiscalização do patrimônio histórico. Vale ressaltar que a sustentabilidade não foi um dos motivos que geraram alterações no projeto, tendo em vista que na época não havia sido feito um estudo da avaliação do ciclo de vida.

O projeto original de estrutura, Figura 4, previa a utilização de perfis novos de aço em sua maior parte e uma área com elementos de concreto moldado in loco. As lajes seriam de concreto armado lisa, com uma laje nervurada no 2º pavimento com vigas de concreto.

As solicitações de modificação de projeto após o início da obra foram: utilização de apenas um sistema estrutural (estrutura metálica) e a possibilidade da utilização dos perfis metálicos que estavam sendo desmontados do segundo prédio. Ambas as solicitações acarretaram retrabalho nos projetos e em campo, atrasos e alterações nos cronogramas físico e financeiro e no planejamento da obra. Ainda assim as alterações foram autorizadas por se constatar que eram as melhores soluções pelo corpo técnico responsável.

Figura 4 – Estrutura do conjunto de prédios.



Fonte: Autores.

3.1 Análise do ciclo de vida

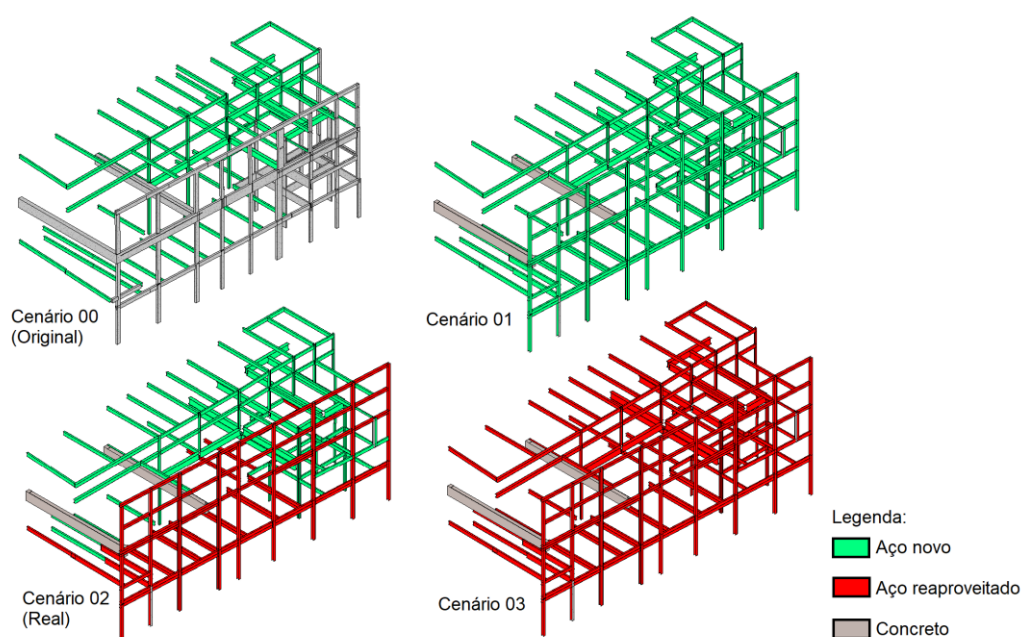
A avaliação do ciclo de vida do conjunto de prédios será baseada nas diretrizes das normas ISO14040 e ISO14044, e será realizada com os bancos de dados disponíveis para atingir o objetivo do estudo. O limite do sistema será do berço ao túmulo. No presente estudo foi dado foco aos impactos ambientais provenientes dos materiais que constituem as disciplinas de arquitetura e estrutura. A unidade funcional será considerada como o conjunto de prédios e a idade média da vida útil da construção foi considerada de 100 anos.

Quatro cenários foram considerados, Figura 5, sendo eles:

- Cenário 00 - Estrutura metálica nova, com alguns elementos de concreto armado (Projeto original do caso real).
- Cenário 01 – Referente à primeira solicitação de mudança do projeto. Estrutura metálica nova, com exceção das duas vigas de concreto que sustentam a laje nervurada.
- Cenário 02 – Referente à segunda solicitação de mudança do projeto. A estrutura metálica nova em conjunto com perfis de aço reaproveitados da demolição que ocorreu no local, com as duas vigas de concreto que sustentam a laje nervurada (Projeto real executado).
- Cenário 03 – Estrutura metálica reaproveitada da demolição no local e de fornecedores externos (extrapolação do Cenário 02).

Além das diferenças do tipo e origem dos materiais os projetos dos cenários possuem diferenças quanto ao dimensionamento das peças. No caso da utilização dos perfis metálicos que foram reaproveitados no local ocorreu uma readaptação no projeto de estrutura para incluir um conjunto limitado de seções disponíveis.

Figura 5 – Ilustração das diferenças entre os cenários analisados.



Fonte: Autores.

4 RESULTADOS

4.1 Simulação da ACV com o aplicativo Tally

Para a avaliação dos impactos ambientais dos materiais da construção foi utilizado o aplicativo Tally, que trabalha diretamente com o modelo no Autodesk Revit. O conjunto de dados de ICV no Tally é modelado usando

o banco de dados GaBi e as fontes geográficas são adaptadas para representar a região dos EUA no ano de 2017 (KT Innovations, 2017). As fases do ciclo de vida analisados pelo Tally incluem as fases de produção, transporte, manutenção e reparação e fim da vida.

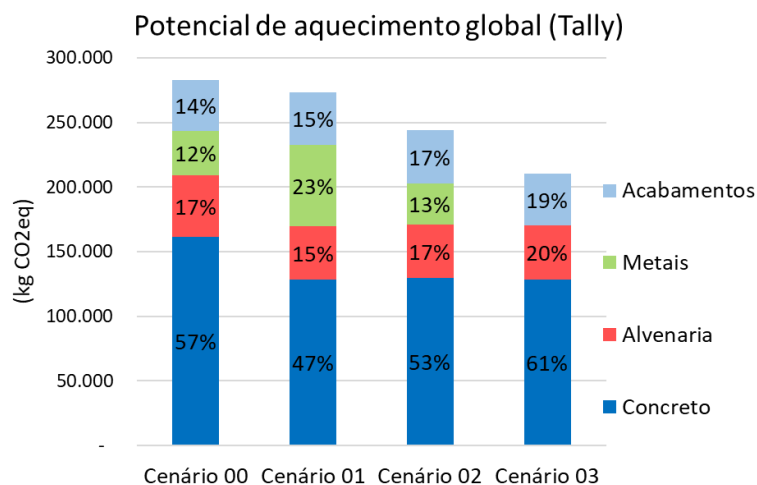
Foi dada maior atenção à métrica de equivalência em dióxido de carbono (kgCO₂eq), ou mais popularmente conhecido como potencial de aquecimento global, por ser uma métrica internacionalmente reconhecida e que expressa a quantidade dos gases de efeito estufa emitidos em termos equivalentes de dióxido de carbono (Marzouk et al., 2017).

A Figura 6 ilustra o resultado deste estudo. A parcela intitulada de “concreto” corresponde ao somatório das emissões no ciclo de vida do concreto estrutural e reforço em aço de lajes, vigas e pilares. A parcela de “alvenaria” corresponde ao tijolo, argamassa de assentamento, argamassa de revestimento de paredes (emboço e chapisco) e pisos (contrapiso). A parcela de “metais” corresponde aos perfis metálicos e a de “acabamentos” corresponde aos materiais de porcelanato e pintura de paredes e pisos.

No cenário 00 (original) a métrica do potencial de aquecimento global total do ciclo de vida é igual a 282.775,00 kg CO₂eq, 57% deste valor corresponde as emissões apenas do concreto armado, o que equivale a 161.181,75 kgCO₂eq. Comparando os quatro cenários é possível identificar a diminuição do total de emissões no ciclo de vida em cada um deles.

Entre os cenários 00 e 01 a parcela das emissões do potencial de aquecimento global para o ciclo de vida do concreto reduziu em 20%, valor que se manteve nos cenários 02 e 03 por não haver mais modificações nos elementos em concreto armado restantes. O aumento das emissões do ciclo de vida dos “metais” entre os cenários 00 e 01 é decorrente da substituição das vigas e pilares de concreto para perfis metálicos. No cenário 02 a quantidade de emissões reduz em 50,40% devido a utilização de materiais reaproveitados no local. No cenário 03 a parcela das emissões do ciclo de vida dos metais some, já que neste cenário todos os perfis metálicos são de reaproveitamento, necessitando avaliar apenas a parcela de transporte dos materiais provenientes de outros locais.

Figura 6 – Potencial de aquecimento global pelo aplicativo Tally.



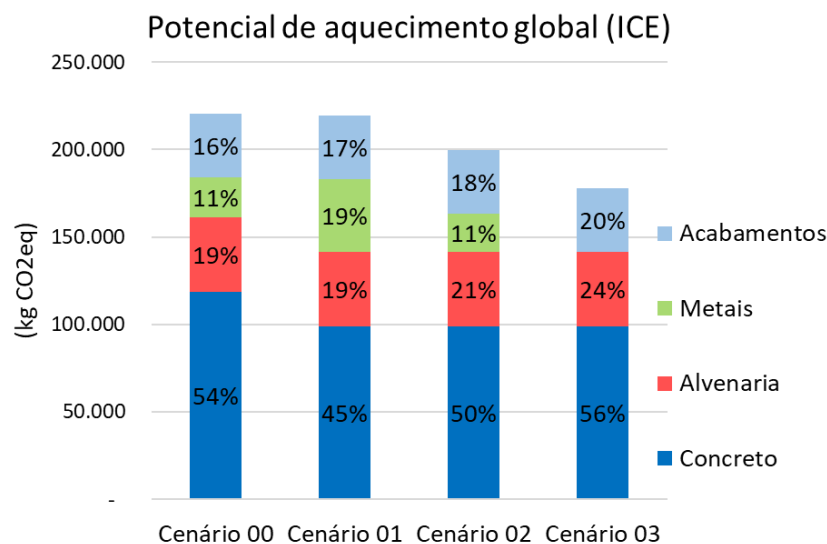
Fonte: Autores.

4.2 Simulação da ACV com o banco de dados ICE

O banco de dados ICE (Inventário de Carbono e Energia) é uma tabela para o programa Excel com informações de mais de 200 materiais, divididas em mais de 30 categorias, sobre a energia incorporada e o carbono incorporado na fase de produção do ciclo de vida. O banco de dados é um compilado de informações disponíveis na literatura, foi montado por um grupo de pesquisa da Universidade de Bath em 2005 e recebe atualizações em intervalos periódicos. As fontes utilizadas representam a região da União Europeia no ano de 2011 (Circular Ecology, 2019). O banco de dados ICE considera apenas a fase de produção do ciclo de vida.

Neste caso também é possível identificar a diminuição do total de emissões na fase de produção em cada cenário (Figura 7). No cenário 00 a métrica do potencial de aquecimento global total da fase de produção dos materiais é igual a 220.608,86 kg CO₂eq, 54% deste valor corresponde as emissões apenas do concreto armado. As demais variações entre os cenários são decorrentes das mesmas alterações de projeto que no caso anterior analisado pelo Tally, como a redução de 16,5% da parcela das emissões entre os cenários 00 e 01 na fase de produção do concreto, o aumento das emissões do ciclo de vida dos “metais” entre os cenários 00 e 01 e sua diminuição entre os cenários 01 e 02.

Figura 7 – Potencial de aquecimento global dos quatro cenários pelo banco de dados ICE.



Fonte: Autores.

5 DISCUSSÕES

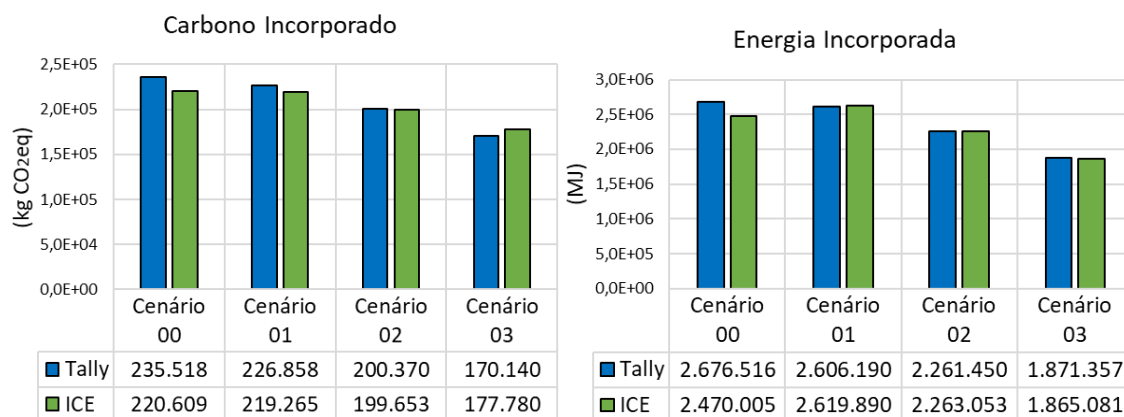
As ferramentas utilizadas no desenvolvimento do estudo ACV possuem diferenças quanto as métricas de impactos ambientais analisados, e ainda assim tanto o estudo ACV com o Tally quanto o com o banco de dados ICE mostram um alto valor nas emissões do concreto armado. Logo, independentemente da ferramenta usada no desenvolvimento do ACV seria buscado a melhoria no desempenho do material concreto armado, justificando a substituição de vigas e pilares de concreto por perfis de aço e por elementos reaproveitados nos demais cenários. Essencialmente essas diferenças estão associadas a questões geográficas e de tempo, pois isto impacta severamente na quantificação das emissões pela produção de materiais em cada país por causa das técnicas utilizadas e distâncias características.

As diferenças entre os valores de carbono incorporado e energia incorporada foram pequenas, chegando no máximo a 7,7% no caso da energia incorporada no cenário 00 e 6,3% no caso do carbono incorporado também do cenário 00, as demais diferenças permaneceram abaixo de 3% (Figura 8-a e 8-b).

A estudo ACV dos cenários mostrou que as decisões tomadas pelos responsáveis do projeto real resultaram em uma diminuição do impacto ambiental causado pela construção, mesmo essa não tendo sido uma questão considerada e nem analisada. Além disso, a redução das

emissões do ciclo de vida do concreto armado poderia ser ainda mais profundamente analisada incluindo alternativas para a laje de concreto armado, como laje em steel deck e laje com materiais de enchimento como elementos em cerâmica e isopor.

**Figura 8(a) - Carbono incorporado na fase de produção. /
8(b) - Energia incorporada na fase de produção.**

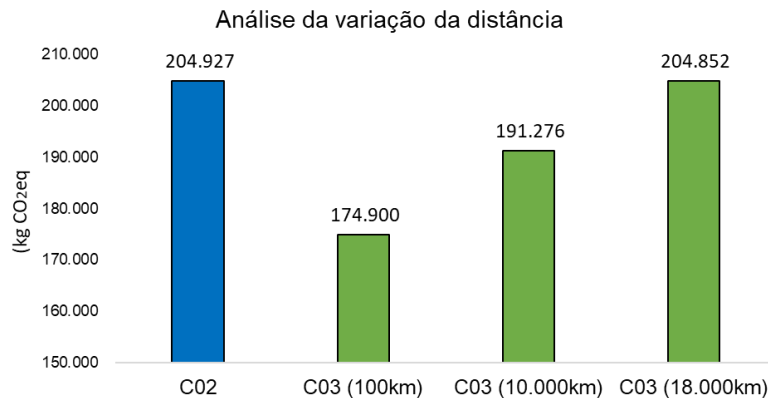


Fonte: Autores.

A ACV executada no aplicativo Tally mostrou que o cenário 03 é o de menor impacto ambiental, com a estrutura com elementos metálicos reaproveitados no local e de locais externos. A Figura 9 mostra a análise da variação da distância do transporte dos elementos metálicos de outros locais. As emissões do potencial de aquecimento global das fases de produção e transporte de todos os materiais, mostra que a emissão do cenário 02 é de 204.927 kg CO₂eq. As emissões do cenário 03, considerando que os perfis metálicos reaproveitados de outro local estão a uma distância de 100km e sendo transportados por caminhões é de 174.900 kg CO₂eq. Variando a distância dos perfis metálicos transportados para 10.000km chegamos a uma emissão de 191.276 kg CO₂eq, e só se aproxima a emissão causada pelo cenário 02 quando a distância do transporte passa a ser 18.000km, com 204.852 kg CO₂eq.

Ou seja, qualquer peça incluída no projeto a uma distância menor ou igual a 18.000km traria redução dos impactos ambientais da construção, sendo limitado pelo preço das peças e do próprio frete, além do prazo para recebimento na obra.

Figura 9 - Análise da variação da distância dos perfis metálicos reaproveitados de outros locais no cenário 03.



Fonte: Autores.

6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A consideração das questões ambientais nem sempre vai contra os interesses econômicos, práticos, estéticos e de prazo, visto que a solução utilizada no caso real trouxe mitigações nas emissões de dióxido de carbono equivalente e de outros no ciclo de vida da construção;
- A ACV incluída como mais um parâmetro nas tomadas de decisão aprimoraria a identificação de oportunidades de melhoria no desempenho ambiental dos materiais empregados no projeto em várias fases do ciclo de vida. É importante notar que fatores sociais não foram considerados no projeto real nem no estudo de caso aqui desenvolvido;
- Independentemente da ferramenta usada no desenvolvimento do estudo ACV seria buscado a melhoria no desempenho do material concreto armado, justificando a substituição de vigas e pilares de concreto por perfis de aço e por elementos reaproveitados nos demais cenários;
- A análise da distância de transporte dos elementos metálicos reaproveitados indicou que qualquer inclusão destes elementos a uma distância menor ou igual a 18.000 km traria uma redução do impacto ambiental causado pela construção. Neste caso o limitador passaria a ser a questão financeira e de tempo do frete. Além da existência do elemento desejado no mercado;
- A interação entre os atores durante o desenvolvimento do projeto utilizando a metodologia BIM reduziria a necessidade de modificações de projeto e serviços durante a fase de construção.

REFERÊNCIAS

- Barros, N. N., & Silva, V. G. da. (2017). BIM na avaliação do ciclo de vida de edificações: revisão da literatura e estudo comparativo. **PARC Pesquisa Em Arquitetura e Construção**, 7(2), 89.
- Cavalliere, C., Dell'Osso, G. R., Pierucci, A., & Iannone, F. (2018). Life cycle assessment data structure for building information modelling. **Journal of Cleaner Production**, 199, 193–204.
- Cavalliere, C., Habert, G., Dell'Osso, G. R., & Hollberg, A. (2019). Continuous BIM-based assessment of embodied environmental impacts throughout the design process. **Journal of Cleaner Production**, 211, 941–952.
- De Oliveira, E., Scheer, S., & Tavares, S. F. (2015). Avaliação de impactos ambientais pré-operacionais em projetos de edificações e a modelagem da informação da construção. ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7(August 2016), 179–191.
- Densley Tingley, D., Cooper, S., & Cullen, J. (2017). Understanding and overcoming the barriers to structural steel reuse, a UK perspective. **Journal of Cleaner Production**, 148, 642–652.
- Iacovidou, E., & Purnell, P. (2016). Mining the physical infrastructure: Opportunities, barriers and interventions in promoting structural components reuse. **Science of the Total Environment**, 557–558, 791–807.
- ICE Database. **Embodied Energy and Carbon**. Disponível em: <<http://www.circularecology.com>>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- International Standard Organisation, ISO, (2006a). **ISO 14040** - Environmental management—Life cycle assessment: Principles and framework.
- International Standard Organisation, ISO, (2006b). **ISO 14044** - Environmental management—Life cycle assessment: Requirements and Guidelines.
- Koutamanis, A., van Reijn, B., & van Bueren, E. (2018). Urban mining and buildings: A review of possibilities and limitations. **Resources, Conservation and Recycling**, 138(April), 32–39.
- KT Innovations, **Tally, Methods**, 2016. Disponível em: <<http://choosetally.com/methods/>>. Acesso em: 7 fev. 2019.
- Machado, F., & Moreira, L. (2015). O uso de ferramentas BIM na otimização do método de avaliação do ciclo de vida da edificação. ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7.
- Marzouk, M., Abdelkader, E. M., & Al-Gahtani, K. (2017). Building information

modeling-based model for calculating direct and indirect emissions in construction projects. **Journal of Cleaner Production**, 152, 351–363.

Najjar, M., Figueiredo, K., Palumbo, M., & Haddad, A. (2017). Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. **Journal of Building Engineering**, 14(March), 115–126.