

O USO DE BIM NA AVALIAÇÃO DA ENERGIA INCORPORADA E EMISSÕES DE CO² DE MATERIAIS RECICLADOS E CONVENCIONAIS¹

DEZEN-KEMPTER, E., Universidade Estadual de Campinas email: elo@ft.unicamp.br;
AMARAL, E.S., Universidade Estadual de Campinas, email: elter.amaral@gmail.com;
GOMES, A., Universidade Estadual de Campinas, email: hadriana51@hotmail.com;
VILHENA, M., Universidade Estadual de Campinas, email: matheusaugvilhena@gmail.com;
OLIVEIRA, L.V.N., Universidade Estadual de Campinas, email: lucasnabarrette@hotmail.com;
ROSSI, B.C.A., Universidade Estadual de Campinas, email: arqbrunarossi@gmail.com.

ABSTRACT

Buildings life cycle (from construction to deconstruction) consume approximately half of global energy each year, and most of them come from fossil fuels. The construction activities also account for the most significant share of total raw material extraction, waste production, and greenhouse gas (GHG) emissions. A building consumes embodied and operating energy over its life cycle. Embodied Energy is the sum of primary energy (construction materials, products, and processes) and the energy-related with transportation, management, and administration, consumed in the building construction. To quantify environmental impacts of a building, researchers have concentrated more endeavors on operating energy than embodied energy. Few efforts have been undertaken to minimize embodied energy. To address these issues, this paper presents a framework to integrate embodied energy and GHG data into a BIM authoring tool (Autodesk Revit). A comparative analysis was performed between five models of construction with different finishes and specifications, especially with regard to the embodied energy and GHG emissions by the different construction materials. The Results show that a building's energy use and carbon footprint can be reduced during the design phase by accounting the impact of individual material in the supply chain.

Keywords: Building Information Modeling (BIM). Environmental Impacts. Embodied Energy. Greenhouse Gas (GHG) emissions. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, considerada a maior geradora de impactos ambientais relativos à emissão de gases poluentes e consumo de energia, utiliza quantidades maciças de energia para extrair e transformar a matéria prima, transportar o produto final até a obra, na execução, manutenção e desconstrução de edifícios (GRAF et al., 2012).

Um edifício consome energia incorporada e operacional durante seu ciclo de vida. Energia incorporada é a soma da energia primária (materiais de construção, produtos e processos) e da energia relacionada com transporte, gestão e administração, consumida durante a construção do edifício.

Os materiais de construção que mais consomem energia e emitem gases de efeito estufa (GEE) são: cimento, cal, aço, brita, areia e materiais cerâmicos. A indústria de cimento gera aproximadamente 5% das emissões mundiais

¹ DEZEN-KEMPTER, E. , AMARAL, E. S., GOMES, A., VILHENA, M., OLIVEIRA, L.V.N., ROSSI, B.C.A. O uso de BIM na avaliação da energia incorporada e emissões de CO² de materiais reciclados e convencionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu.

Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

antropogênicas de CO₂ (DAMINELI, 2010). Esta indústria também consome cerca 5,5Gj de energia e libera, aproximadamente, 1ton de CO₂ por tonelada de clínquer, correspondendo entre 5 e 8% do total emitido anualmente para atmosfera (ISAIA; GASTALDINI, 2004).

Segundo o Relatório das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2016) a contribuição nas emissões de CO₂ dos subsetores de produção brasileira de ferro gusa e aço, cimento, e cal correspondem respectivamente com 52%, 28,5% e 6,7%.

A indústria cerâmica utiliza na produção a queima de combustíveis oriundos da biomassa como lenha e serragem, sendo considerada uma das indústrias com maior consumo energético e que mais emite gases, como o CO₂, em torno de 20% menos que a indústria cimentícia.

Com relação aos agregados, como areia e brita, o maior impacto está em sua extração, pois são recursos não renováveis. Além do consumo de energia e a emissão de CO₂ durante o processo de extração, há de se considerar o transporte desses agregados, que são feitos na maioria das vezes por veículos movidos a combustíveis fósseis.

Pensando neste cenário, ações para alcançar o desenvolvimento sustentável vêm sendo abordadas nos diversos setores da economia, buscando mitigar os impactos causados pela interferência humana no meio ambiente, e promover a redução do consumo energético e emissões de CO₂.

Saghafi e Teshnizi (2011) alertam que a seleção de materiais e produtos, visando um projeto de construção de alto desempenho ambiental, é uma das tarefas mais difíceis e desafiadoras para uma equipe de projeto. Afirmam que a falta de critérios precisos que determinem os méritos de sustentabilidade de materiais e produtos de construção é um problema não resolvido da construção verde. Citam o exemplo do material ou produto que poderia ser benéfico de acordo com muitos sistemas de avaliação, mas não ser reciclável e, portanto, sujeito a descarte após o uso.

Considerando o comportamento energético dos materiais de construção, diversos autores (THORMARK, 2002; BRIBIÁN et al., 2011; SAGHAFI e TESHNIZI, 2011) destacam a importância do uso de materiais reciclados substituindo os recursos materiais finitos.

Contudo, avaliar o valor relativo do uso de materiais reciclados versus materiais virgens é controverso. Segundo Saghafi e Teshnizi (2011), para a escola de pensamento ecológico, a manutenção de materiais em uso produtivo, como em um sistema ecológico, é de importância primordial, e a energia e outros recursos necessários para alimentar o sistema de reciclagem é secundária. Já na concepção da escola de pensamento de análise do ciclo de vida, a reciclagem é um meio e não um fim, assim, se a energia e as emissões são maiores para reciclagem do que para o uso de materiais virgens, então deve-se preferir o último. Esta escola acredita que o foco excessivo na reciclagem dá mais importância aos resíduos sólidos e às

questões de esgotamento de recursos do que ao aquecimento global.

Tecnologias de modelagem da informação, como o BIM, possuem ferramentas que contribuem para uma análise prévia de impactos relacionados com a escolha de materiais de construção para um projeto. A ferramenta possibilita agregar informações relativas ao desempenho ambiental dos materiais empregados nos diversos componentes da edificação e, assim, calcular o montante de energia incorporada (EE) e as emissões de CO₂.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a possibilidade de empregar a ferramenta BIM para determinar a escolha de materiais para aplicação no edifício nas fases iniciais de projeto, baseada em valores de EE e CO₂. Para isso foi realizada uma análise comparativa entre cinco cenários construtivos, a partir do montante de EE e emissões de CO₂. Os cenários foram modelados com ferramenta BIM, empregando-se materiais convencionais e reciclados em diferentes componentes do edifício.

2 METODOLOGIA

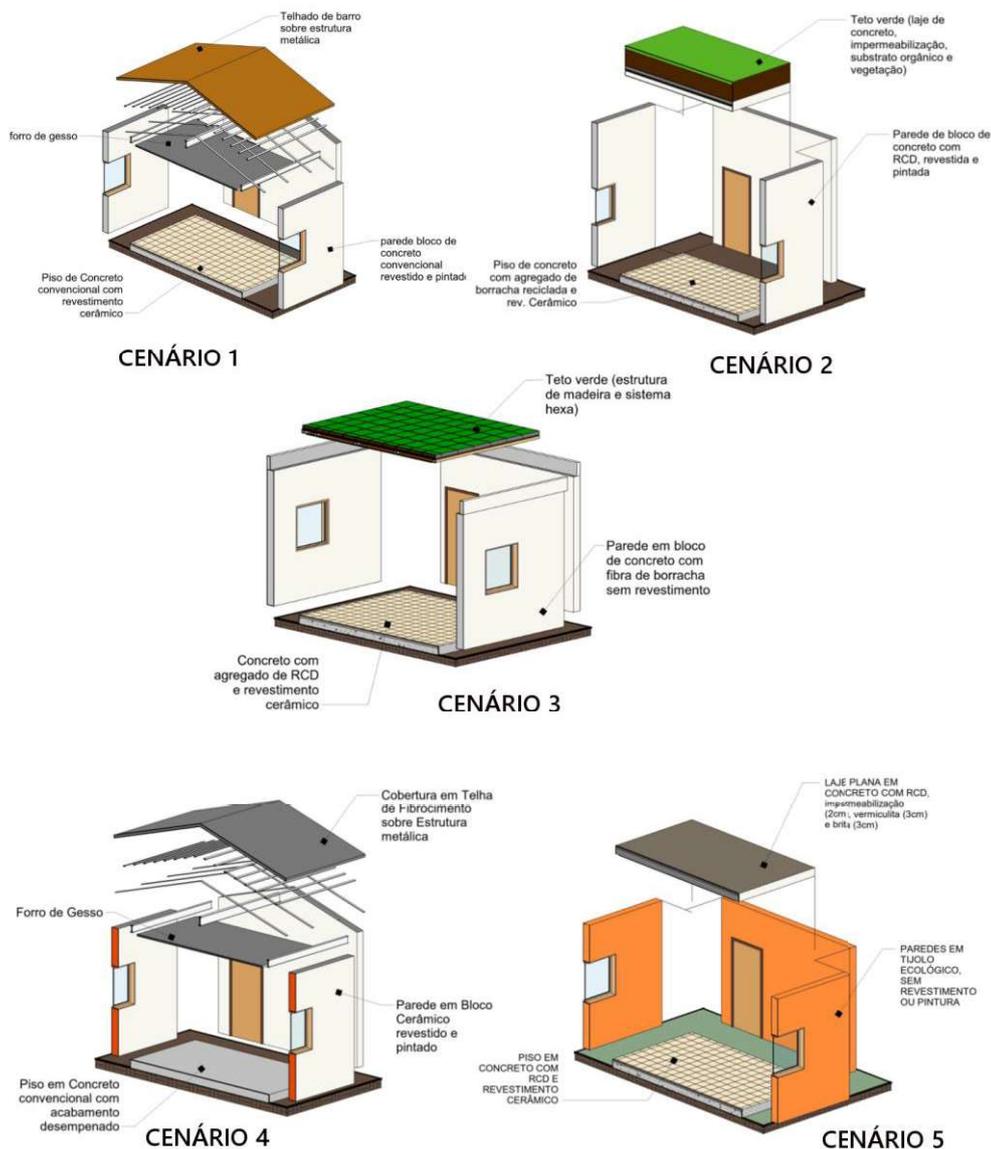
A estratégia da pesquisa foi a construção de cenários exploratórios, no qual os componentes variáveis foram os diferentes materiais propostos para cada elemento construtivo de um protótipo edificado composto por um único ambiente de 16m².

A aplicabilidade da ferramenta BIM no cálculo de EE e emissão de CO₂ foi testada a partir das características de cada material empregado nos componentes construtivos básicos, como paredes, forro, cobertura e piso.

Para mensurar os impactos ambientais foi usada a ferramenta Revit 2018 da Autodesk. O protótipo possui dimensão entre eixos de 4,00x4,00m e 3,00m de pé-direito, uma porta de 0,90x2,10m e duas janelas de 1,00x1,00m. A Figura 1 ilustra o protótipo em corte, com os materiais empregados em cada um dos cenários projetados.

Os cenários foram alvo de estudo comparativo e os respectivos acabamentos analisados. Foram comparados índices obtidos pelos elementos com materiais convencionais e com substituição de agregados por RCD (resíduos de construção e demolição) e borracha.

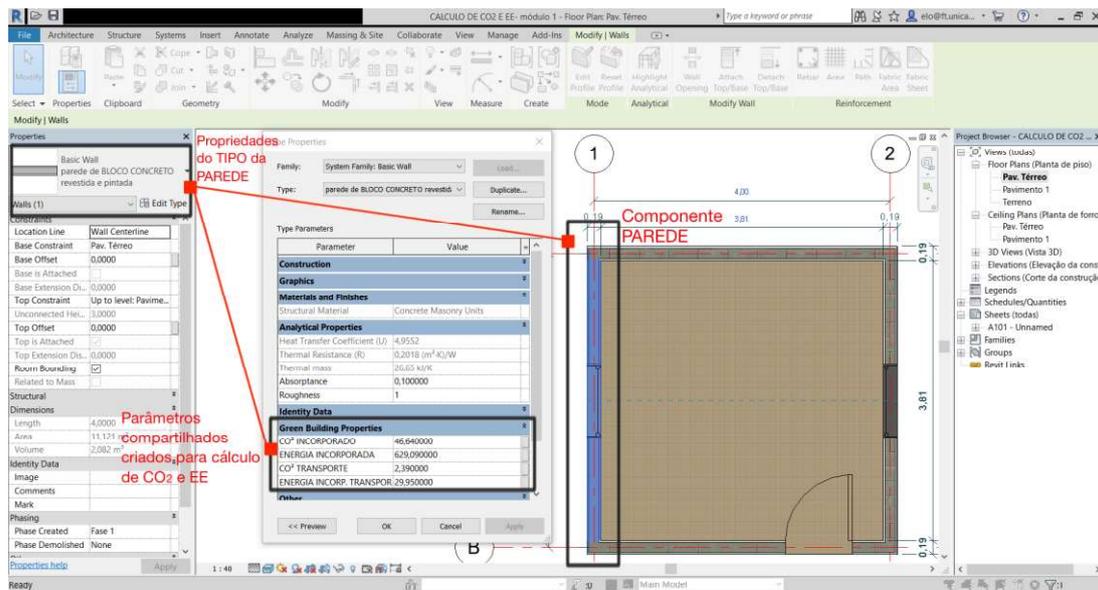
Figura 1 – Cenários Construtivos do Protótipo



Fonte: Os autores

Através da ferramenta BIM foram criados parâmetros compartilhados para CO₂ e EE, cujos valores unitários foram inseridos como propriedades dos elementos construtivos e compartilhados na forma de parâmetros do sistema. Esses parâmetros foram associados aos componentes paredes, piso, forro e cobertura e calculados para a composição dos materiais de cada um deles (Fig.2). Assim, tem-se um arquivo configurado para receber inputs de EE e CO₂ por área do componente. Partindo-se da condição que cada elemento construtivo tem suas características físicas e mecânicas bem definidas (espessuras, densidades, etc.), e agora valores de EE (MJ/m³) e CO₂ (kg/m³), efetuou-se a conversão para obtenção de valores por área de superfície (m²), seguindo a metodologia de Graf et. al. (2012).

Figura 2 - Parâmetros criados para o cálculo de CO² e EE de cada componente



Fonte: o autor

A tabela 1 apresenta os valores de densidade, EE e CO² por material empregado em cada elemento construtivo.

Tabela 1 - Valores de Densidade, EE e CO₂ por material e elemento construtivo

| ELEMENTO CONSTRUTIVO | MATERIAL | DENSIDADE (KG/M ³) | Energia MJ/KG ⁽³⁾ | CO ² /KG |
|------------------------|--|--------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Piso/laje | Concreto com RCD ⁽⁴⁾ | 1443 ¹ | 5,47 | 0,87 |
| | Concreto com borracha ⁽⁵⁾ | 1910 ¹ | 101,7 | 3,18 |
| | Concreto comum | 2300 | 1,2 | 0,074 |
| Acabamento piso/parede | Cerâmica | 2000 | 26,04 | 0,052 |
| | Argamassa | 1860 | 2,1 | 0,077 |
| | Tinta acrílica | 208 | 381,25 | 0,074 |
| Parede | bloco de concreto | 2000 | 1 | 0,074 |
| | bloco de concreto com RCD ⁽⁴⁾ | 1443 ¹ | 5,47 | 0,087 |
| | bloco de concreto com fibra de borracha ⁽⁶⁾ | 1459 ¹ | 56,15 | 2,65 |
| | bloco cerâmico | 1400 | 2,9 | 0,078 |
| Forro | Tijolo de solo cimento (ecológico) | 1387 | 0,85 | 0,14 |
| | Placa de gesso acartonado | 1000 | 4,5 | 0,076 |
| Cobertura | Alumínio reciclado [estrutura do forro] | 2700 | 17,3 | 0,042 |
| | Aço [estrutura da cobertura] | 7850 | 30 | 0,071 |
| | Telhado verde vernacular | 480,88 kg/m ² | 21,52 | 0,36 |
| | Telhado verde (pré-fabricado) | 167,98 kg/m ² | 26,05 | 1,02 |
| | Telha de fibrocimento | 1600 | 6 | 0,071 |
| | Telha de barro | 2050 | 5 | 0,078 |
| | Vermiculita (argila) Expandida | 122 | 1,37 | 0,52 |
| Impermeabilização | Impermeabilização | 52,4 ² | 51 | 4,2 |
| | Brita para proteção da laje | 1650 | 0,15 | 0,071 |

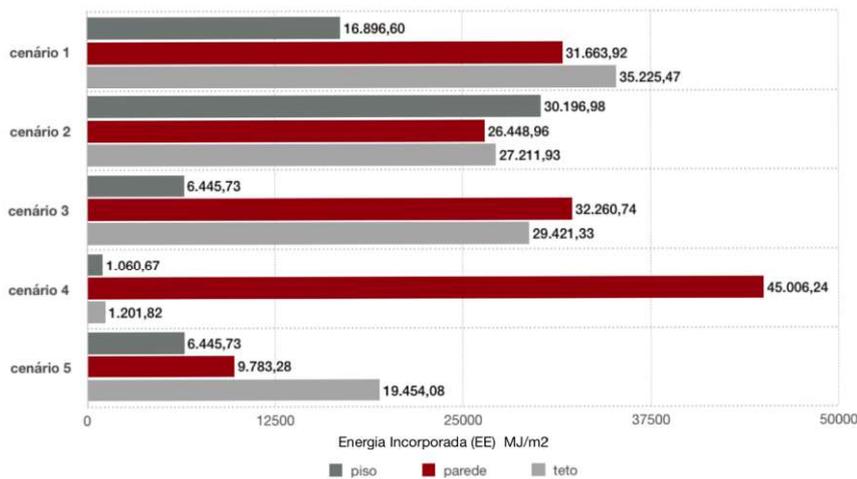
Fonte: os autores

Notas: (1) média ponderada dos materiais; (2) baseado no cálculo total dos materiais de impermeabilização descritos em Lopes (2014) para o cenário 2; (3) valores de TAVARES (2006), HAMMOND e JONES (2008); (4) LINTZ et al. (2012); (5) SILVA et al. (2017) ; (6) BRAVO (2014).

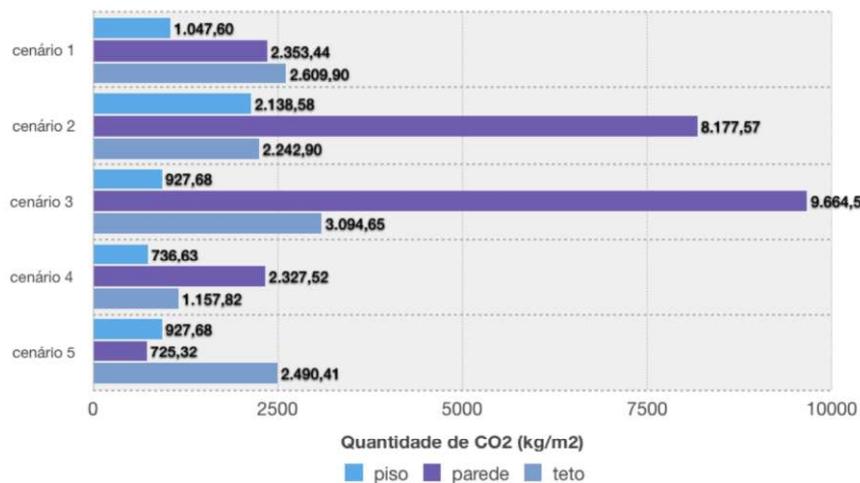
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Partindo-se dos modelos elaborados no REVIT e das planilhas geradas pelo software, foram calculados os parâmetros relativos a Energia Incorporada e CO₂ por área dos componentes construtivos de cada cenário. A Figura 3 apresenta esses resultados.

Figura 3 – Quantidades de EE (MJ/m²) e CO₂ (kg/m²) por componente e cenário



(a)



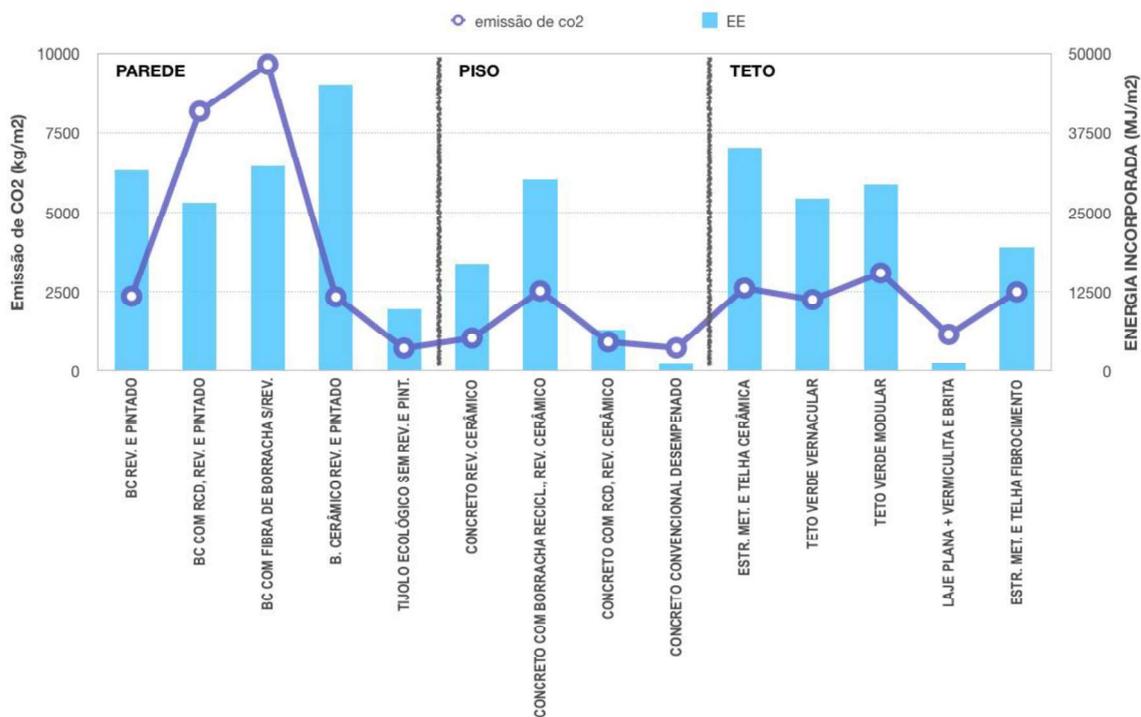
(b)

Fonte: os autores

Os resultados demonstram que os materiais usuais de construção civil (bloco de concreto, bloco cerâmico, piso de concreto com revestimento cerâmico, telhas cerâmicas com estrutura metálica) apresentam geração média a alta de CO₂ e EE. Os materiais que apresentaram menores índices de EE e CO₂ foram o Tijolo de Solo Cimento, que não sofre queima e utiliza saibro e cimento, a laje plana com camada de vermiculita e brita, e o concreto convencional desempenado, sem revestimento.

Os materiais que utilizaram resíduos de borracha em sua composição, como os blocos e o concreto, tiveram índices superiores aos mesmos elementos convencionais ou com adição de RCD, isso se deve principalmente à energia e emissões originais e as oriundas do processo de reciclagem. O mesmo não acontece com o RCD, que tem emissões inferiores ao concreto convencional. Contudo, esses materiais completaram seu ciclo de vida e um novo se inicia como substituto de uma matéria prima virgem, evitando a extração desse material da natureza. Esses resultados corroboram com a visão de Saghafi e Teshnizi (2011) sobre a dicotomia referente à sustentabilidade defendidas pela corrente ecológica (favorável à reciclagem) e pela corrente do ciclo de vida (favorável ao baixo índice de emissões). A figura 3 mostra graficamente os valores dos parâmetros de EE e CO₂ dos materiais empregados nos cenários.

Figura 4 – Comparativo dos índices de CO₂ e EE de todos os materiais dos cenários



Fonte: os autores

Diante desta análise chega-se a novos cenários, cuja soma da EE e CO₂ compreendem os menores e maiores impactos ambientais dentre os materiais de construção estudados (Quadro 1).

Nota-se que a diferença entre os cenários é enorme. Em termos de CO₂ chega-se a 6 vezes menos emissões. Quanto à Energia Incorporada, a diferença é maior ficando em mais de 9 vezes superior.

Quadro 1- Elementos Construtivos com mínimo e máximo impacto de CO₂ e EE

| REFERENCIAIS | | PISO | PAREDE | TETO | TOTAL |
|----------------|----------------------|-----------------------------------|--|--|-------------------|
| Mínimo impacto | CO ₂ [kg] | Concreto convencional desempenado | Tijolo de solo-cimento | Laje plana com proteção térmica de brita e vermiculita | 2.619,77 |
| | EE [MJ] | | | | 12.045,77 |
| Máximo impacto | CO ₂ [kg] | Concreto com fibras de borracha | Bloco de concreto com fibras de borracha | Telhado verde modular | 15.377,81 |
| | EE [MJ] | | Bloco cerâmico | Telhas cerâmicas e estrutura metálica | 110.428,69 |

Fonte: os autores

4 CONCLUSÕES

A sociedade atual está cada vez mais em busca de métodos produtivos alinhados com o desenvolvimento sustentável, ou seja, que causem os menores impactos ambientais e sociais, com maior rendimento econômico possível. Este trabalho possibilitou um exercício de reflexão, validando a utilização do software REVIT para análise de impactos ambientais e comparações entre materiais de construção distintos, incluindo aqueles com percentual de resíduos.

A difusão do uso de BIM no cálculo de impactos ambientais, por empresas de projetos, construção e incorporação de empreendimentos na área de AEC, pode aumentar os resultados em termos de sustentabilidade e direcionar melhor as futuras inovações na utilização de materiais e métodos construtivos que minimizem as emissões de CO₂ e o consumo de energia.

REFERÊNCIAS

Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. **Relatório das Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Brasil**, 2016, 3ª edição. Disponível em <http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>. Acessado em 10/01/2018.

BRAVO, Rafael S. **Análise de blocos de concreto com resíduo de borracha pneu e metacaulim**. 2014. Dissertação (mestrado) – UNESP Faculdade de Engenharia, 2014.

BRIBIÁN, I. Z., CAPILLA, A. V., USÓN, A. A. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. **Building and Environment**, v. 46, n.5, pp.1133-1140, 2011. ISSN 0360-1323. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>>. Acesso em 15 ago.2017

DAMINELI, B. L.; KEMEID, F. M.; AGUIAR, P. S.; JOHN, V. M. Measuring the eco-efficiency of cement use. **Cement and Concrete Composites**, v. 32, n. 8, p. 555-562, 2010.

GRAF, H.F.; MARCOS, M.H.C.; TAVARES, S.F.; SCHEER, S. Estudo de viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO2 incorporado. **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Juiz de Fora, 29 a 31 Outubro, 2012.

HAMMOND, G.P.; JONES, C.I. **Inventory of Carbon & Energy (ICE)**. Department of Mechanical Engineering. University of Bath. UK, 2008. Disponível em: <www.bath.ac.uk/mech-eng/serf/embodied/>. Acesso em 15 set. 2017

ISAIA, G.; GASTALDINI, A. Concreto "verde" com teores muito elevados de adições minerais: um estudo de sustentabilidade. In I Conferência Latino-americana de Construções Sustentáveis; **X Encontro Nacional de Tecnologias do Ambiente Construído**. São Paulo SP, julho de 2004.

LINTZ, R. C. C. et al . Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.**, São Paulo ,v. 5,n. 2,p. 166-181, Apr.2012 .

LOPES, T. V. **Telhado verde, energia embutida e emissão de CO2: uma análise comparativa a sistemas de cobertura convencionais**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MYRANS, Katharine. **Comparative energy and carbon assessment of three green technologies of a Toronto Roof**. Master's Theses. University of Toronto, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1807/18905>. Acesso em 09 nov.2017

SAGHAFI M.D. TESHNIZI, Z.S.H. Recycling value of building materials in building assessment systems. **Energy Buildings**, v.43, n.11, 2011, pp. 3181-3188. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.016>>. Acesso em: 20.nov.2017

SHADRAM, Farshid; JOHANSSON, Tim David; LU, Weizhuo; SCHADE, Jutta; OLOFSSON, Thomas. An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design. **Energy and Buildings**, V. 128, 2016, p. 592-604, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.007>.

SILVA, Fabiana Maria da et al. Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis(PICS). **Matéria (RioJ.)**, Rio de Janeiro, v.22, n.1, e11778, 2017.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.

THORMARK, C. A low energy building in a life cycle – its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. **Building and Environment**, v.37, 2002, pp. 429-435. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00033-6). Acesso em 15.ago.2017