

# APLICAÇÃO PRÁTICA DAS DIRETRIZES DA ACV NA ARQUITETURA: AVALIAÇÃO PILOTO DO USO DE FERRAMENTA BIM ASSOCIADA A ACV NAS TOMADAS DE DECISÕES DE PROJETO<sup>1</sup>

CARVALHO, T., Universidade Federal do Rio de Janeiro, email: tnc.mestrado.2016@gmail.com  
SILVOSO, M., Universidade Federal do Rio de Janeiro, email: silvoso@fau.ufrj.br

## ABSTRACT

*The intense growth of construction has caused impacts on the economy and the environment, mobilizing the development of applicable tools in projects. The Life Cycle Assessment (LCA), when applied to the technical specification stage can contribute to the identification of opportunities for improvement and assistance in decision making, evaluating environmental indicators of the materials. The increasing use of digital tools in construction stimulates its association with LCA, given that the BIM platform proposes to facilitate and speed up the sharing of information, facilitating decision making. The objective of this article, a partial result of research in an academic master's degree, is to present the results of the development of pilot evaluation of single-family housing in Minha Casa Minha Vida, using the software Autodesk Revit® and Simapro® (Ecoinvent® base). Although the information in Ecoinvent 3.3 is not adapted to the Brazilian reality, it was possible to simulate and verify how the analyzes are carried out and which inputs would most impact the habitation. For the next phase will be used data from the national literature, verifying the possibility of insertion in 3D modeling, as well as to deepen knowledge of the contribution of transport from the industry to the construction site.*

**Keywords:** Life Cycle Assessment, Architecture, BIM, Decision Making.

## 1 INTRODUÇÃO

Responsável pelo intenso consumo de recursos naturais, produtos industrializados e geração de resíduos, a construção civil ainda é diretamente responsável pelo intenso consumo de energia em processos ao longo de sua vida útil (HEYWOOD, 2012). Em busca de ferramentas que auxiliem a produção de edifícios com desempenho ambiental, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), normatizada pela NBR 14040/14044, tem como objetivo identificar melhorias através da avaliação de indicadores ambientais ao longo do ciclo de vida do produto/edificação. Contudo, desafios permeiam o campo da Arquitetura e Engenharia, da implementação de ferramentas digitais à interface de informações através da plataforma BIM, possibilitando “a modelagem, o armazenamento, a troca, a consolidação e o fácil acesso aos vários grupos de informações sobre uma edificação ou instalação que se deseja construir, usar e manter” (CBIC, 2016). Segundo Barros e Gomes (2016), o uso de softwares BIM tem a “capacidade de otimizar o processo, auxiliar a tomada de decisão durante toda a evolução do projeto e a

<sup>1</sup> CARVALHO, T., SILVOSO, M. Aplicação Prática das Diretrizes da ACV na Arquitetura: Avaliação Piloto do Uso de Ferramenta BIM associada a ACV nas Tomadas de Decisões de Projeto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

convergência para uma solução otimizada". Embora existam *plug-ins* voltados para o BIM, como Tally®, tais instrumentos ainda não são voltados para o mercado nacional, apresentando restrições principalmente quanto ao banco de dados.

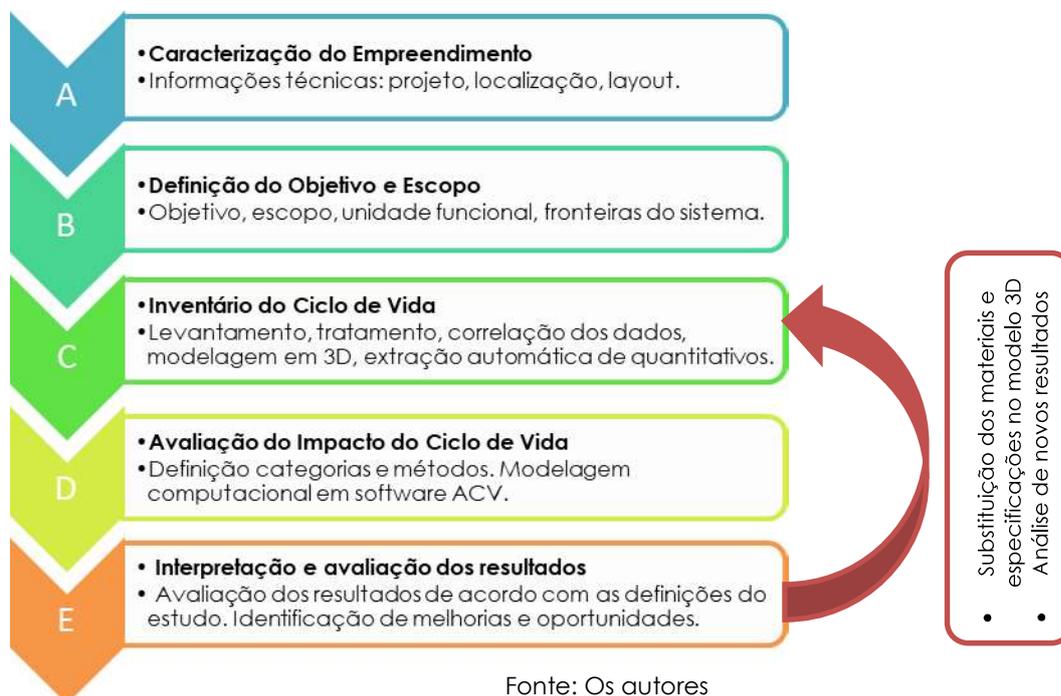
## 2 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é examinar, através de avaliação piloto, o uso de *softwares* de modelagem 3D e ACV como ferramenta auxiliar nas tomadas de decisões na fase de estudos preliminares de projeto. Como objeto foi selecionada edificação unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), tendo em vista ser modelo reproduzido na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (total de 3.127 unidades).

## 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi dividida em 5 etapas, fundamentada na NBR 14040/14044, Evangelista (2017) e EN 15978 (CEN, 2011): (A) Caracterização do empreendimento; (B) Definição de Objetivo e Escopo; (C) Inventário do Ciclo de Vida (ICV); (D) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida e (E) Interpretação e avaliação dos resultados – Figura 1.

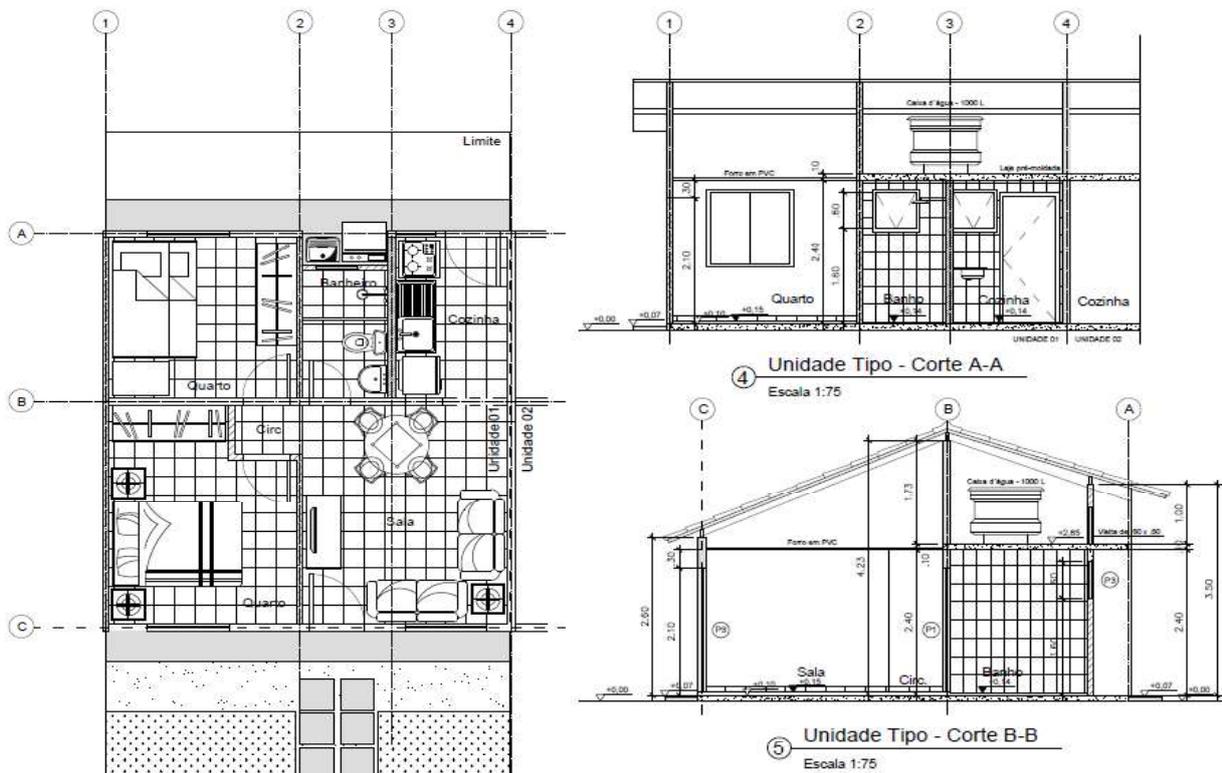
Figura 1 – Fluxograma da metodologia aplicada



### 3.1 Caracterização do Empreendimento

Na etapa A foi realizada a caracterização da edificação - Figura 2. A edificação térrea possui área de 38,85 m<sup>2</sup> (piso interno - 32,65 m<sup>2</sup>): sala, dois quartos, cozinha, banheiro e área de serviço externa – Tabela 1.

Figura 2 – Edificação unifamiliar (PMCMV)



Fonte: Adaptado de Caixa Econômica Federal

Tabela 1 – Características Técnicas do Empreendimento

Compartimentos	Descrição
Sala/quartos	Piso: cerâmica 30x30cm / Paredes: gesso + Pintura PVA/ Forro: PVC.
Cozinha/banheiro	Piso: cerâmica 30x30cm / Paredes: azulejo 20x30cm/ Teto: laje pré-moldada - Pintura Acrílica.
Área externa	Piso:cimentado liso desempenado / Paredes: cerâmica 20x30cm.
Esquadrias	Portas internas: madeira / Portas externas/ janelas: alumínio.
Cobertura	telha cerâmica – Tipo: romana
Pé-direito	2,40m - todos compartimentos
Sistema Construtivo	Alvenaria - blocos - cerâmica estrutural

Fonte: Caixa Econômica Federal

### 3.2 Definição de Objetivo e Escopo

Na etapa B foram definidos objetivo e escopo (unidade funcional, fluxo de referência e fronteiras do sistema). Definiu-se como objetivo avaliar o sistema construtivo em alvenaria estrutural em duas alternativas (blocos cerâmicos/ concreto) – Figura 3 e Tabela 2.

Figura 3 – Blocos cerâmico e de concreto



Fonte: Cerâmica Salema / Multiblocos®

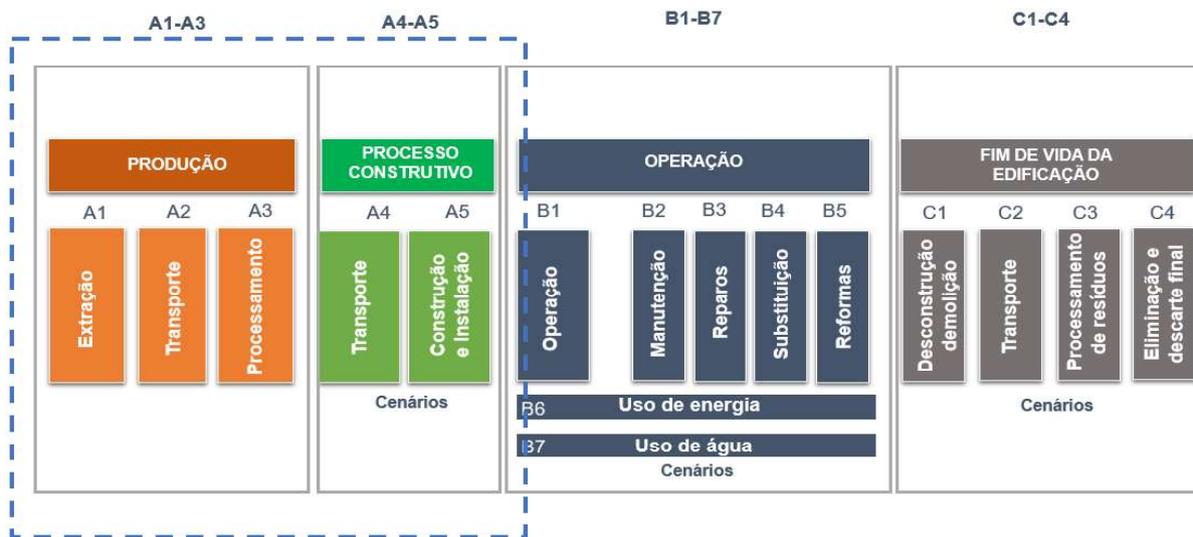
Tabela 2 – Informações sobre os blocos

Propriedades	Bloco cerâmico	Bloco concreto	Referência
Dimensões	14x19x39cm	14x19x39cm	SINAPI
Peças/m <sup>2</sup>	12,5	12,5	TCPO (2012)
Kg/peça	6,9	11,8	TCPO (2012)

Fonte: SINAPI / TCPO

Como unidade funcional (UF) foram adotadas a habitação, o metro quadrado dos blocos, assim como o méτρο cúbico da argamassa e graute utilizados. Foram considerados os componentes e insumos necessários a execução: blocos estruturais, argamassa de assentamento e graute (cimento, cal hidratada, areia e/ou brita 0) e armadura (aço CA-50). Substituindo as informações técnicas não identificadas, foram utilizadas referências do SINAPI e TCPO, considerando somente fornecedores do Estado do Rio de Janeiro.

Figura 4 – Informações - Ciclo de Vida da Construção



Fonte: Adaptado de EN 15978 (CEN, 2011)

Como referência para definição das fronteiras do sistema e respectivas atividades, foram utilizadas as normas internacionais EN 15978 (CEN, 2011) e EN 15804 (CEN, 2013), já que no Brasil ainda não há norma similar na construção civil. Desta forma, o sistema a ser estudado foi definido como “berço ao portão” (pré-operacional): A1- Extração matéria-prima, A2 -

Transporte (até indústria), A3 - Processamento, A4 - Transporte (indústria-obra) e A5 – Construção/Instalação – Figura 4. Foram consideradas limitações do estudo utilização de informações de referências externas (SINAPI/TCPO), bem como *datasets* (Ecoinvent®) e métodos internacionais. Não foram consideradas embalagens, aditivos, grampos, telas de amarração nem água utilizada nas composições.

### 3.3 Inventário do Ciclo de Vida

Nas etapa C foi realizado o levantamento, tratamento e correlação de dados, critérios de corte e modelagem 3D. Foram levantadas e identificadas todas informações disponíveis: materiais, memoriais descritivos, processos construtivos, mão-de-obra, fornecedores, entre outros dados relevantes a composição do estudo da ACV.

Figura 5 – Modelo da unidade habitacional

Fonte: Os autores

A modelagem 3D foi realizada no Autodesk Revit® 2017 (Figura 5), com elementos estruturais (lajes radier; pré-moldada), paredes (alvenarias, revestimentos), pisos, forros, esquadrias, contra-vergas e cintas de amarração



da alvenaria (grautes,armadura). Traços, consumo de energia e distâncias percorridas também foram inseridos no modelo de forma que, ao extrair relatórios (formato .txt e posterior .xls), tais informações estivessem devidamente calculadas para inserção no *software* Simapro® - versão Faculty - Figura 6.

Figura 6 – Tabela gerada pelo Autodesk Revit®2017

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Família e tipo	Área	Quantidade de blocos (un)	Massa - blocos	Argamassa de assentamento/m²	Nota-chave	Cimento (kg)	Cal Hidratada (kg)	Areia (kg)	KWh	Transporte - Bloco
Parede básica: PA-1	5,25 m²	65 6235	393 741	0,074023	Traco 1:2:9	7 402331	20 973271	88 82797	0,494353	38 586618
Parede básica: PA-2	3,40 m²	42,5	255	0,04794	Traco 1:2:9	4 794	13 583	57 528	0,32016	24 99
Parede básica: PA-3	2,39 m²	29 925	179 55	0,033755	Traco 1:2:9	3 37554	9 56403	40 50648	0,22543	17 5959
Parede básica: PA-4	5,21 m²	65,1	390 6	0,073433	Traco 1:2:9	7 34328	20 80596	88 11936	0,490409	38 2788
Parede básica: PA-5	4,32 m²	54	324	0,060912	Traco 1:2:9	6 0912	17 2584	73 0094	0,406791	31 752
Parede básica: PA-7	11,01 m²	137 597	825 582	0,155209	Traco 1:2:9	15 520942	43 976001	186 251299	1,036541	80 907036
Parede básica: PA-8	16,24 m²	203 025	1218 15	0,229012	Traco 1:2:9	22 90122	64 88679	274 81464	1,529421	119 3787
Parede básica: PA-14	6,60 m²	82,5	495	0,09306	Traco 1:2:9	9 306	26 367	111 872	0,621486	48 51
Parede básica: PA-13	8,64 m²	108	648	0,121824	Traco 1:2:9	12 1824	34 5188	146 1888	0,813582	63 504
Parede básica: PA-11	6,43 m²	80,4	482,4	0,090691	Traco 1:2:9	9 06912	25 69584	108 82944	0,605667	47 2752
Parede básica: PA-10	6,50 m²	81 225	487 35	0,091622	Traco 1:2:9	9 16218	25 95951	109 94616	0,611882	47 7603
Parede básica: PA-6	1,36 m²	17 0375	102 225	0,019218	Traco 1:2:9	1 92183	5 445 185	23 06196	0,128346	10 01805
Parede básica: PA-9	2,14 m²	26 775	160 65	0,030202	Traco 1:2:9	3 02022	8 55729	36 24264	0,201701	15 7437
Parede básica: PA-12	6,60 m²	82,5	495	0,09306	Traco 1:2:9	9 306	26 367	111 872	0,621486	48 51
Parede básica: PS-10	3,81 m²	47 673155	286 038929	0,053775	Traco 1:2:9	5 377532	15 23634	64 530382	0,35913	28 031815
Parede básica: PS-3	1,59 m²	19 925777	119 554662	0,022476	Traco 1:2:9	2 247628	6 368278	26 971532	0,150104	11 716357
Parede básica: PS-2	1,41 m²	17 673719	106 042316	0,019936	Traco 1:2:9	1 993596	5 648521	23 923146	0,133139	10 392147
Parede básica: PS-4	10,56 m²	132 022655	792 135933	0,148922	Traco 1:2:9	14 892195	42 194441	178 705866	0,994549	77 629321
Parede básica: PS-7	2,96 m²	36 991885	221 951309	0,041727	Traco 1:2:9	4 172685	11 822606	50 072215	0,278666	21 751228
Parede básica: PS-8	0,97 m²	10 91387	65 483218	0,012311	Traco 1:2:9	1 231085	3 488073	14 773014	0,082216	6 417355
Parede básica: PS-9	0,63 m²	7 837638	47 025826	0,008841	Traco 1:2:9	0 884086	2 504909	10 609026	0,059042	4 608531
Parede básica: PS-6	9,36 m²	116 99193	701 951579	0,131967	Traco 1:2:9	13 19669	37 390621	158 360276	0,88132	68 791255
Parede básica: PS-10	4,81 m²	60 146201	360 877209	0,067845	Traco 1:2:9	6 784492	19 222726	81 413898	0,453091	35 365966
Parede básica: PS-1	2,66 m²	33 191903	199 151417	0,03744	Traco 1:2:9	3 744047	10 608132	44 92856	0,25004	19 516839
Parede básica: PS-5	4,55 m²	56 861653	341 16992	0,06414	Traco 1:2:9	6 413994	18 172984	76 967934	0,428348	33 434652
Total geral: 25	129,32 m²	1616 438386	9698 630318	1 823342		182 33425	516 613708	2188 011	12 176901	950 465771

Fonte: Os autores

### 3.4 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Na etapa D foram realizadas os ensaios no software de ACV Simapro®, identificando o método (Impact 2002+) utilizado e a análise em pontuação única (categorias de danos – Saúde Humana; Ecossistema; Mudanças Climáticas, Recursos).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados em duas etapas:(1) Modelagem em 3D no Autodesk Revit®2017 e (2) Modelagem no software Simapro® - versão Faculty.

A utilização do Autodesk Revit® 2017 mostrou-se eficiente pois possibilitou a modelagem de uma única edificação em 3D para duas alternativas (blocos cerâmicos/concreto), com a configuração dos componentes da edificação. Elementos como pisos, forros, esquadrias, paredes (incluindo acabamentos) foram modelados “tagueados” associados a informações como: áreas, massa, traços, etc.

A disponibilidade em criar tabelas em função de dados já calculados é outro diferencial. Uma vez modeladas as paredes, foi possível criar equações que quantificassem número de blocos (unidades/m²), argamassa (m³), graute (m³) e massa dos insumos, incluindo fator de perda.

Outro aspecto é a agilidade para a execução de modificações. Definido o projeto, a substituição por outros materiais é executada através do input de novas informações (atualizando automaticamente quantitativos) dando agilidade ao processo.

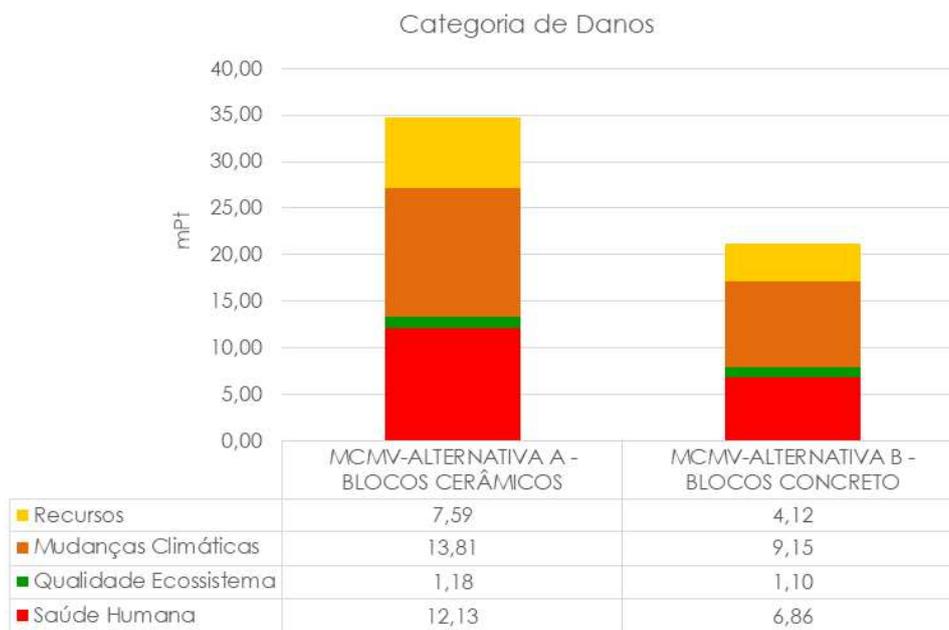
Outros fatores relacionados a ACV também foram inseridos, como energia (kWh) das betoneiras (execução das argamassas e grautes) e quantidade de material transportado por quilômetro (tkm), com distâncias calculadas através do Google Maps®. Uma vez parametrizadas as informações no modelo 3D, as tabelas são extraídas (em .txt e posterior .xls Excel®) para etapa seguinte.

Na segunda parte, a modelagem no Simapro® foi realizada em duas etapas:

1. Formação de conjuntos que compõem o sistema construtivo de alvenaria estrutural: blocos (1m<sup>2</sup>), armadura (kg), argamassa e graute (m<sup>3</sup>);

2. Análise pelo *software* de qual sistema ou material possui maior potencial de impacto: (A) Entre alternativas A e B;(B) Em cada alternativa; (C) Entre opções de bloco; (D) Na composição da argamassa (traço 1:2:9)? (E) Na composição do graute (traço 1:0,04:1,6:1,9)?

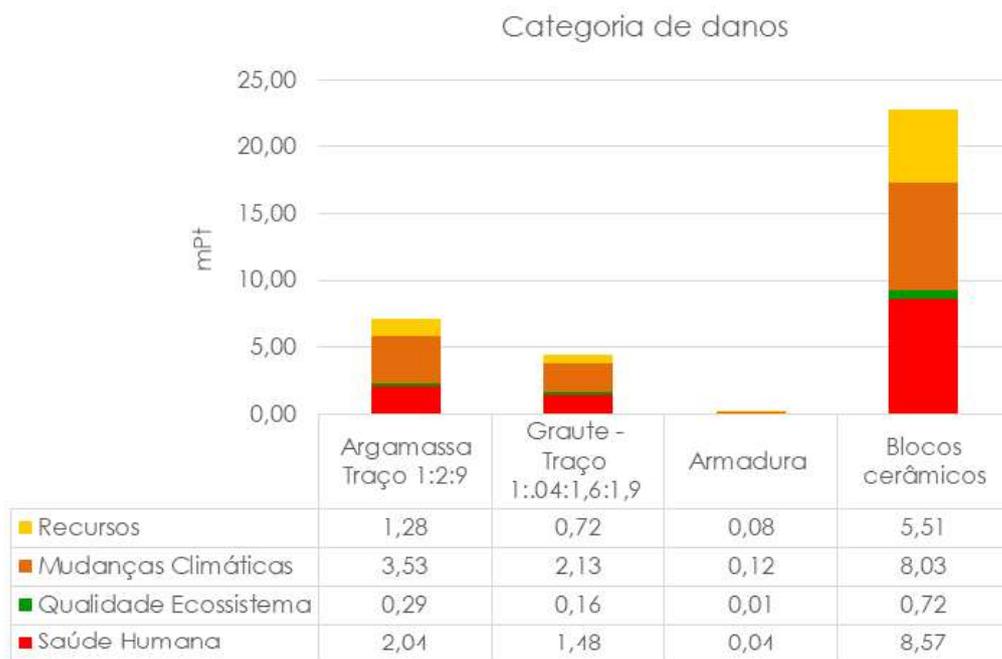
Figura 7 – Potenciais impactos - Alternativas A e B (1m<sup>2</sup>).



Fonte: Os autores

Na questão A, ao analisar 1m<sup>2</sup> da habitação (alvenaria estrutural e seus componentes) em cada alternativa (Figura 7), constatou-se que a habitação em blocos cerâmicos (34,71 mPt) possui maior potencial de impacto que a de blocos de concreto (21,23 mPt), com diferença de 39%. Observou-se que as categorias de Mudanças Climáticas e Saúde Humana são as que possuem maior pontuação em ambas as alternativas.

Figura 8 – Potenciais impactos - Alternativa A



Fonte: Os autores

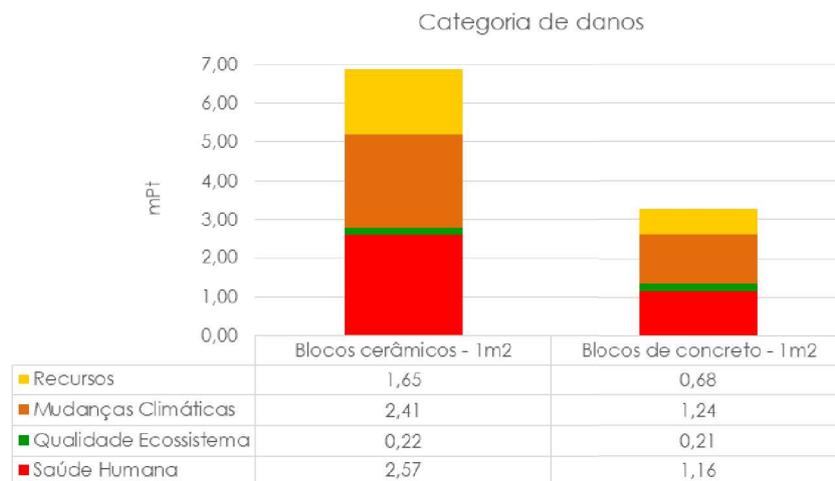
Figura 9 – Potenciais impactos - Alternativa B



Fonte: Os autores

Já na questão B, notou-se que os blocos possuem maior potencial de impacto nas duas alternativas, sendo o material de maior massa entre os componentes (Figuras 8 e 9), seguidos da argamassa e graute. Nota-se que a categoria com maior impacto é novamente o de Mudanças Climáticas, seguido de Saúde Humana.

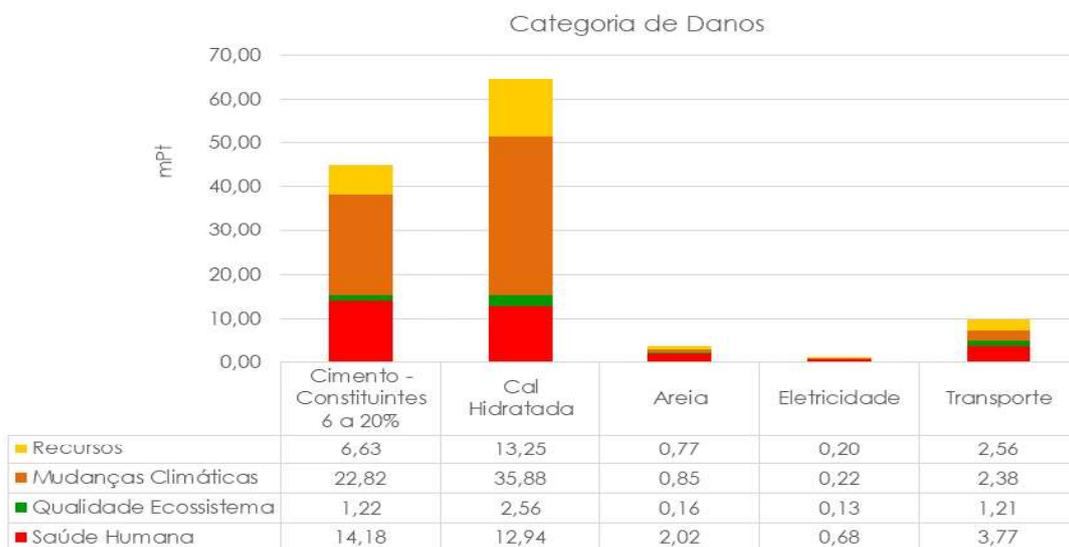
Figura 10 – Potenciais impactos - Blocos estruturais (1m<sup>2</sup>)



Fonte: Os autores

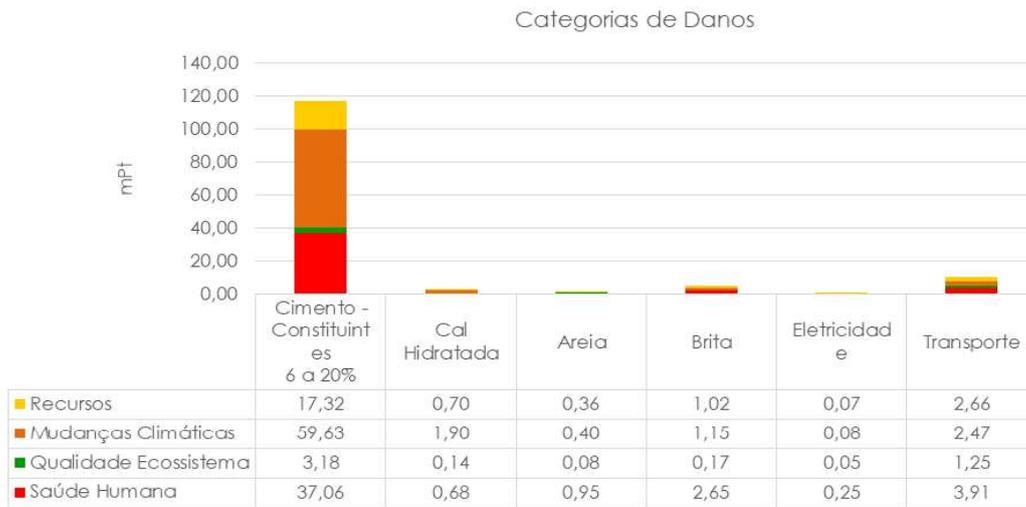
Na questão C verificou-se que os blocos cerâmicos possuem maior potencial de impacto, apresentando o dobro da pontuação (6,86 mPt x 3,29mPt) - Figura 10. Porém, vale ressaltar que é necessário avaliar as informações contidas em cada *dataset* (ambos *Rest of the World – RoW* no Ecoinvent®). Enquanto os blocos cerâmicos tem origem em dados relacionados a produção da Suíça, Alemanha e Áustria (considerando todo o processo de extração de argila até o produto pronto/embalado), os blocos de concreto incluem o concreto normal da matéria-prima despejado em molde, secado ao ar e embalado, com tecnologia alemã. Tais informações podem determinar a escolha final do material a ser empregado. Outro ponto é que os blocos cerâmicos possuem maior impacto na categoria de Saúde Humana (2,57mPt) enquanto que os de concreto na categoria de Mudanças Climáticas (1,24mPt).

Figura 11 – Potenciais impactos - Argamassa 1:2:9 (1m<sup>3</sup>)



Fonte: Os autores

Figura 12 – Potenciais impactos - Graute 1:0,04:1,6:1,9 (1m<sup>2</sup>)



Fonte: Os autores

Tendo em vista que são utilizados nas duas alternativas (mesmo traço), nas questões D e E foram analisados separadamente 1 m<sup>3</sup> de argamassa e de graute respectivamente. Constatou-se que a cal hidratada (64,63 mPt) e o cimento (117,19 mPt), insumos conhecidos por serem produtos de processos industrializados que emitem grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, possuem a maior contribuição entre os componentes da argamassa e graute (Mudanças Climáticas), todavia não sejam os maiores insumos utilizados na composição dos traços – Figuras 11 e 12. Outro ponto importante é a participação do transporte nas duas composições, com contribuições maiores que a areia e brita. Tais análises permitem a possibilidade de simulação da substituição de materiais, insumos e traços que mais impactariam por outras soluções técnicas correspondentes e de menor impacto.

## 5 CONCLUSÕES

A modelagem e parametrização de dados possuem forte potencial como ferramenta de auxílio dentro do contexto das pesquisas de ACV. A avaliação piloto permitiu constatar as possibilidades que o Autodesk Revit® 2017 dispõe para automatização e cálculo de dados a serem utilizados no SimaPro®, bem como resultados rápidos nas alterações, mesmo não havendo transferência de dados diretamente. Embora as informações do Ecoinvent® 3.3 não sejam adaptadas à realidade brasileira (somente matriz energética), devem ser observadas as informações de cada *dataset* na avaliação. Foi possível simular e verificar como as análises são realizadas no *software* de ACV e quais os insumos mais impactariam na habitação. Para a próxima fase da pesquisa serão utilizados dados de literatura nacional, verificando a possibilidade de inserção na modelagem 3D, assim como aprofundar a questão do potencial impacto do transporte da indústria até o canteiro de obras.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Caixa Econômica Federal, ACV Brasil (SimaPro® Faculty) e toda equipe do LEMC (Professores, funcionários e alunos) da FAU-UFRJ.

## REFERÊNCIAS

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

BARROS, Natalia Nakamura; DA SILVA, Vanessa Gomes. **BIM na avaliação do ciclo de vida de edificações: revisão da literatura e estudo comparativo**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 7, n. 2, p. 89-101, 2016.

CBIC. **Implantação do Bim para Construtoras e Incorporadoras**. Disponível em [http://cbic.org.br/arquivos/CBIC\\_Disseminacao\\_BIM\\_parte\\_1.pdf](http://cbic.org.br/arquivos/CBIC_Disseminacao_BIM_parte_1.pdf) - Acesso em 05-05-2017 – Acesso em 05-05-2017

EVANGELISTA, Patrícia Pereira de Abreu Evangelista. **Desempenho Ambiental na Construção Civil: Parâmetros para aplicação na Avaliação do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais Brasileiras**. Tese de doutorado. Universidade Federal da Bahia. 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN EN 15804: sustainability of construction works: environmental product declarations: core rules for the product category of construction products**. Brussels, 2013.

\_\_\_\_\_. **CEN EN 15978: sustainability of construction works: assessment of environmental performance of buildings – calculation method**. Brussels, 2011.

FEDERAL, Caixa Econômica. **SINAPI-Índices da construção civil**. Brasil, Gov. Federal, 2010.

HEYWOOD, Huw. 101 **Regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. Gustavo Gili, 2012.

TABELA DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS (TCPO). **TCPO 14**. 14ª ed. São Paulo: Pini. 2012.