



Avaliação de Ciclo de Vida dos sistemas construtivos de uma unidade habitacional de interesse social

Marianne Di Domênico¹ Thaísa Leal da Silva² Lauro André Ribeiro³

¹ Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola Politécnica – IMED. Passo Fundo, RS – Brasil. mariannedidomenico@gmail.com

² Doutora em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores pela Universidade de Coimbra – Portugal. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola Politécnica – IMED. Passo Fundo, RS – Brasil. thaisa.silva@imed.edu.br

³ Doutor em Sistemas Sustentáveis de Energia pela Universidade de Coimbra – Portugal. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola Politécnica – IMED. Passo Fundo, RS – Brasil. lauro.ribeiro@imed.edu.br

Cite como
American Psychological Association (APA)

Domênico, M., Silva, T. L., & Ribeiro, L. A. (2021). Avaliação de Ciclo de Vida dos sistemas construtivos de uma unidade habitacional de interesse social. *Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS*, 10(1), 1-25, e20442. <https://doi.org/10.5585/geas.v10i1.20442>.

Resumo

Objetivo: O artigo tem como objetivo avaliar os sistemas construtivos de uma habitação de interesse social e apontar os impactos ambientais resultantes dos processos produtivos e de manutenção dos materiais de construção adotados.

Metodologia: A metodologia utilizada para atingir os resultados desejados, foi realizada seguindo as diretrizes da NBR 14040 (ABNT 2009a) e NBR 14044 (ABNT 2009b), adotando-se um estudo de caso para identificação e quantificação dos materiais. O escopo abrange os impactos incorporados nos materiais de construção, analisando as etapas de extração da matéria-prima, produção, transporte até a obra, manutenção e substituição de materiais.

Relevância: Devido à crescente conscientização acerca dos impactos ambientais resultantes das atividades humanas, torna-se evidente a importância de estudos para a avaliação da participação do setor da construção civil em relação a essa problemática. Neste contexto, é importante a adoção de novas ferramentas para analisar os materiais empregados em edificações, visando subsidiar a busca por estratégias de mitigação de impactos futuros.

Resultados: Os resultados demonstraram que a etapa de manutenção detém as maiores contribuições de impactos referentes aos sistemas analisados. Em relação aos sistemas construtivos, o sistema de paredes foi o elemento com a maior concentração dos impactos em comparação aos demais sistemas analisados.

Contribuições sociais / para a gestão: Por se tratar de uma ferramenta de gestão ambiental, a Avaliação de Ciclo de Vida permite que profissionais possam obter informações pertinentes acerca dos impactos de materiais e sistemas construtivos para desenvolver e gerenciar edificações menos impactantes ambientalmente.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Habitação de interesse social. Sistemas construtivos. Materiais de construção. Avaliação do Ciclo de Vida.

Life Cycle Assessment of building systems of a social interest housing unit

Abstract

Objective: The article aims to evaluate the constructive systems of a social interest housing unit and identify environmental impacts resulting from the production and maintenance processes of the adopted construction materials.

Methodology: To achieve the desired results, we followed the guidelines of NBR 14040 (ABNT 2009a) and NBR 14044 (ABNT 2009b), adopting a case study for the identification and quantification of materials. The scope covers the impacts incorporated in construction materials, analyzing the stages of raw material extraction, production, and transport to the construction site, maintenance, and material replacement.

Relevance: Growing awareness of environmental impacts resulting from human activities leads to the importance of studies to assess the participation of the civil construction sector concerning this issue. In this context, it is essential to adopt new tools to analyze the materials used in buildings, aiming to





support the search for mitigation strategies for future impacts.

Results: The results showed that the maintenance stage has the greatest impact on contributions referring to the analyzed systems. In relation to construction systems, the wall system was the element with the highest concentration of impacts compared to the other systems analyzed.

Social contributions / for management: As it is an environmental management tool, the Life Cycle Assessment allows professionals to obtain relevant information about the impacts of materials and construction systems to develop and manage buildings that are less environmentally impactful.

Keywords: Environmental impacts. Housing of social interest. Building systems. Construction Materials. Life Cycle Assessment.

Evaluación del Ciclo de Vida de los impactos incorporados de una unidad habitacional de interés social

Resumen

Objetivo: El artículo tiene como objetivo evaluar los sistemas constructivos de una vivienda de interés social y señalar los impactos ambientales derivados de los procesos de producción y mantenimiento de los materiales de construcción adoptados.

Metodología: La metodología utilizada para lograr los resultados deseados se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de NBR 14040 (ABNT 2009a) y NBR 14044 (ABNT 2009b), adoptando un caso de estudio para la identificación y cuantificación de materiales. El alcance cubre los impactos incorporados en los materiales de construcción, analizando los pasos de extracción de materia prima, producción, transporte a la obra, mantenimiento y reposición de material.

Relevancia: Debido a la creciente conciencia de los impactos ambientales derivados de las actividades humanas, se hace evidente la importancia de los estudios para evaluar la participación del sector de la construcción civil en este tema. En este contexto, es importante adoptar nuevas herramientas para analizar los materiales utilizados en las edificaciones, con el objetivo de apoyar la búsqueda de estrategias de mitigación de impactos futuros.

Resultados: Los resultados mostraron que la etapa de mantenimiento tiene las mayores contribuciones de impacto referidas a los sistemas analizados. En relación a los sistemas constructivos, el sistema de muros fue el elemento con mayor concentración de impactos en comparación con el resto de sistemas analizados.

Contribuciones sociales / para la gestión: Al ser una herramienta de gestión ambiental, el Análisis de Ciclo de Vida permite a los profesionales obtener información relevante sobre los impactos de los materiales y sistemas constructivos para desarrollar y gestionar edificaciones de menor impacto ambiental.

Palabras clave: Impactos ambientales. Vivienda de interés social. Sistemas constructivos. Materiales de construcción. Evaluación del Ciclo de Vida.

Introdução

Indispensável para o desenvolvimento de ambientes capazes de satisfazer as necessidades humanas, a construção civil demanda o uso de diversas técnicas e de diferentes processos de produção e transformação de seus produtos. O setor é conhecido pela relevante contribuição negativa que traz para os impactos ambientais gerados, estimulando discussões sobre o desenvolvimento sustentável na construção.

Entre os impactos gerados, pode-se destacar as emissões globais de gases de efeito estufa, a geração de resíduos e o consumo de energia e bens não renováveis. Em relação ao consumo de recursos naturais, para a produção e manutenção dos ambientes, a indústria de materiais de construção utiliza mais da metade dos recursos naturais extraídos no planeta (CNI, 2017). De acordo com Agopyan e John (2011), os efeitos da construção civil no meio



ambiente dependem de uma vasta cadeia produtiva, compreendendo as etapas de extração de matérias-primas, produção e transporte dos materiais, elaboração de projeto, execução, uso, manutenção e fim da vida útil.

Os autores salientam que a cadeia produtiva de materiais de construção, de forma isolada, influencia, inevitavelmente, os impactos gerados nas edificações. Porém, uma vez que o déficit habitacional ainda é um problema enfrentando no país, é importante que o setor da construção civil, aliado a programas habitacionais, continue se desenvolvendo. Pesquisas feitas pela Associação Brasileira de Incorporadoras e Imobiliárias (ABRAINC), em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV), para compor o relatório de Análise das Necessidades Habitacionais e suas Tendências para os Próximos Dez Anos, apontam que o déficit habitacional cresceu 7% em dez anos, e que, para solucionar esse problema, seria necessária a construção de um milhão de imóveis por ano (ABRAINC, 2018).

Frente à problemática enfrentada, com o incentivo do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), até 2019, foram construídas quatro milhões de unidades habitacionais, visando amenizar as dificuldades habitacionais do Brasil (CNM, 2019). Nesse contexto, de acordo com Tavares (2006), a grande demanda habitacional torna a construção civil um dos segmentos com maior geração de impactos negativos ao meio ambiente. Como resultado desses impactos, a prática construtiva habitacional tem sido submetida a mudanças em relação à sua responsabilidade ambiental.

Com a intenção de promover o desenvolvimento sustentável no setor da construção de habitações de interesse social e de baixa renda, a Caixa Econômica Federal (CEF) criou o Selo Casa Azul. O Selo Casa Azul é o primeiro sistema de certificação que leva em consideração a realidade habitacional brasileira. O sistema consiste em uma classificação socioambiental de empreendimentos habitacionais, construído por meio dos programas da CEF. O programa visa estimular o desenvolvimento sustentável, incentivando o uso racional de recursos naturais, além de reduzir as despesas de uso e de manutenção das edificações (GRÜNBERG *et al.*, 2014). Para se ter direito ao Selo Casa Azul, 53 critérios são analisados, os quais são divididos em seis categorias, sendo elas: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos naturais, gestão da água e práticas sociais (CEF, 2010).

Dessa forma, destaca-se a importância de analisar os produtos disponíveis no mercado e amplamente utilizados nesse setor, para contribuir com a concepção de materiais com menores índices de impactos ambientais, colaborando com o desenvolvimento sustentável. Uma forma de mensurar os impactos ambientais de determinado produto ou processo é por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta capaz de auxiliar no entendimento dos impactos de produtos gerados no ambiente e na sua quantificação em diferentes itens. A ACV adota uma abordagem



abrangente e sistêmica de avaliação ambiental, que possibilita analisar cada etapa do ciclo de vida de um produto. Assim, é possível visualizar um aumento no interesse em incorporar a ACV para avaliação de métodos para construção e de tomada de decisão na seleção de produtos ambientalmente preferíveis, bem como para avaliação e otimização dos processos de construção (MORALES *et al.*, 2019).

Nessa conjuntura, o presente artigo tem como objetivo avaliar os sistemas construtivos de uma habitação de interesse social e apontar os impactos ambientais resultantes dos processos produtivos e de manutenção dos materiais de construção adotados. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em uma unidade habitacional do Residencial Canaã, localizado no município de Passo Fundo. A unidade habitacional faz parte de um conjunto habitacional com 210 habitações. Ademais, destaca-se a importância de analisar seus materiais, já que o projeto compreende um modelo evolutivo, visando melhorias e ampliações futuras. Analisar esses materiais proporciona a possibilidade de desenvolver alternativas menos impactantes ao meio, para a manutenção dessas habitações ou para a aplicação em projetos futuros.

Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método que analisa todo o ciclo de vida de um produto ou serviço, sendo que esta ferramenta auxilia na quantificação e avaliação dos impactos causados pelos produtos sobre o meio ambiente. Os primeiros estudos conceituados como ACVs foram desenvolvidos no início dos anos 1970 (KLÖPFFER, 2012). A partir do ano de 1990, pode-se perceber o crescimento da ferramenta e das atividades científicas relacionadas ao tema, sendo produzidos, posteriormente, guias e manuais relativos à ACV, visando guiar os processos para sua realização (BENTO, 2016).

No Brasil, as primeiras iniciativas para o uso da metodologia de ACV iniciaram no ano de 1994, com a implantação do subcomitê do Grupo de Apoio à Normalização Ambiental desenvolvendo, de acordo com o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT, 2014) e análises sobre as normas ISO 14000 sobre gestão ambiental (SEO e KULAY, 2006).

A Avaliação do Ciclo de Vida possibilita analisar produtos e insumos para melhor compreender seus ciclos e, assim, contribuir para propor soluções que diminuam seus impactos negativos ao meio ambiente. Silva *et al.* (2015, p.11) definem a avaliação do ciclo de vida como: “Avaliação utilizada para quantificar a carga ambiental de um produto desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) à disposição do produto final (túmulo)”.

De acordo com Saade *et al.* (2014), o objetivo de uma ACV é analisar os fluxos provenientes da natureza e que são direcionados a ela, para atenuar o consumo de recursos



naturais e as emissões derivadas das atividades exercidas durante o processo de produção, uso e descarte de produtos. Por se tratar de análise com abordagem holística, conforme Tavares (2006), as aplicações de uma ACV são abrangentes e permitem diversas possibilidades de estudos.

Orientada pela NBR 14.040 (2009) Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, e pela NBR 14.044 (2009) Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações, a ACV é executada mediante: a compilação de um inventário, as entradas e saídas associadas ao produto, e a avaliação e interpretação dos impactos ambientais relacionadas a essas entradas e saídas (NBR ISO 14040, 2009).

A NBR 14.040 descreve alguns requisitos mínimos, os princípios e a estrutura para nortear os estudos de ACV. A NBR 14.044 abrange dois tipos de pesquisa: o estudo de avaliação do ciclo de vida e estudos de inventário do ciclo de vida. Esta norma fornece diversas orientações e recomendações para garantir a transparência desses estudos. De acordo com as recomendações descritas na NBR ISO 14.040, uma ACV deve estar estruturada em quatro etapas, sendo elas: 1) definição do objetivo e escopo; 2) análise de inventário; 3) avaliação de impactos; e 4) interpretação de resultados.

A etapa de objetivo e escopo é considerada a fase principal, pois, é neste momento que o estudo é definido. No objetivo da ACV, deve ser descrita a aplicação pretendida, bem como as razões para a execução do estudo (ABNT,2009). No Escopo da ACV deve ser definido o sistema de produto analisado, a unidade funcional, a metodologia de avaliação de impacto e os tipos de impactos ambientais levados em consideração no estudo, a qualidade de dados e as limitações da pesquisa (SILVA *et al.*, 2015).

A análise do inventário compreende a segunda fase de uma ACV, sendo essa etapa definida por Silva *et al.* (2015, p.10) como: “Fase da ACV que envolve a compilação e a quantificação de entradas e saídas de matéria e energia ao longo do ciclo de vida de um produto”. De acordo com Chehebe (1997), a segunda etapa da ACV corresponde à fase de coleta e quantificação das variáveis envolvidas no ciclo de vida do produto analisado.

Por sua vez, a avaliação de impactos tem como objetivo proporcionar o entendimento da significância dos impactos ambientais abordados no estudo ao longo do ciclo de vida do produto. Por fim, a etapa de interpretação dos resultados compreende a identificação dos resultados significativos encontrados nas fases de análise de inventário e avaliação de impactos. As constatações dessa etapa devem estar relacionadas ao objetivo e escopo definidos nas etapas iniciais da estrutura da ACV (ABNT, 2009).

Quando adotada para estudos relacionados à indústria brasileira de construção civil, conforme Passuelo *et al.* (2014), a ACV permite maior acesso ao mercado interno e externo, devido a sua metodologia internacionalmente conhecida. Sua aplicação também tende a satisfazer as expectativas dos consumidores, que, atualmente, caracterizam-se



gradativamente pela preocupação com o perfil ambiental dos materiais e sistemas construtivos utilizados.

Avaliação do ciclo de vida na construção civil

No setor da construção civil, o ciclo de vida de uma edificação, geralmente, é dividido em etapas para viabilizar o levantamento necessário para aplicar a ACV. Tavares (2006) define essa subdivisão em três fases: etapa pré-operacional, operacional e pós-operacional. A fase pré-operacional de uma edificação, como é descrita por Sposto e Paulsen (2014), compreende os impactos gerados até a fase de execução da edificação, incluindo as etapas de extração da matéria-prima, fabricação dos materiais e componentes, transporte desses materiais e insumos até o canteiro de obras, incluindo a geração de resíduos e desperdícios durante a fase de execução.

A fase operacional é composta pelas etapas de reposição de materiais, manutenção e pelos impactos resultantes do uso da edificação. A fase pós-operacional é o fim do ciclo de vida de uma edificação e leva em consideração os impactos ambientais produzidos nas etapas de demolição e transporte dos resíduos gerados nesse processo (TAVARES, 2006).

Na construção civil, a ACV pode ser aplicada em diferentes esferas, que podem estar relacionadas aos materiais de construção, impactos relacionados à manutenção de edificações, consumo de energia, impactos pós-ocupacionais, até à avaliação completa do edifício. Em relação à ACV aplicada a materiais de construção, Bribián *et al.* (2011), em um estudo na Espanha, comparam os materiais de construção mais utilizados na construção civil e materiais ecologicamente corretos. Os autores concluem que a utilização de técnicasecoinovadoras podem reduzir os impactos ambientais gerados ao longo do ciclo de vida de uma edificação, orientando, assim, a substituição de materiais que utilizem matérias-primas não renováveis em demasia.

Ainda em relação a materiais de construção, a ACV pode ser utilizada para comparar diferentes materiais usados durante o ciclo de vida de uma edificação e identificar de onde se originam as maiores contribuições para tais impactos. Nesse seguimento, a partir de um estudo de caso, Petrovic *et al.* (2019) analisaram e compararam os impactos dos sistemas construtivos de uma residência na Suécia. Os resultados encontrados nas análises demonstram que a laje de concreto é o elemento que mais contribui para os impactos totais da edificação. Já os sistemas à base de madeira, mostraram ter baixo impacto ambiental.

Algumas pesquisas avaliam os impactos ambientais em habitações de interesse social, como é o caso do estudo de Caldas *et al.* (2016), no qual aplicaram a ferramenta em quatro sistemas construtivos para fachadas. Por meio da ACV puderam constatar que o sistema de parede de concreto apresentou os menores impactos durante seus processos.



Além de estudar as emissões de CO₂ no ciclo de vida de duas habitações de interesse social, Azevedo *et al.* (2020), Morales *et al.* (2019) e Braga (2018) também aplicaram a ACV em habitações de interesse social.

Azevedo *et al.* (2020) comparam dois sistemas de paredes e dois sistemas de cobertura para habitações de interesse social na cidade de Florianópolis. Os sistemas de paredes analisados são compostos por tijolo cerâmico e tijolo de adobe. Para as coberturas, são comparados sistemas compostos por telha cerâmica com forro de madeira e telha cerâmica com laje maciça de concreto. Os resultados das simulações mostraram que a habitação com parede de tijolo de adobe e cobertura com laje maciça apresentaram os menores consumos energéticos, em relação aos impactos ambientais, sendo que o conjunto com os menores impactos foi o de tijolo de adobe com cobertura com forro de madeira. Morales *et al.* (2019) avaliaram os impactos a partir de um estudo de caso, contemplando a edificação inteira, identificando os maiores impactos em cada sistema construtivo analisado. Braga (2018) comparou diferentes sistemas de vedação vertical para essas habitações, concluindo que o sistema em concreto armado é mais vantajoso em relação ao sistema de vedação convencional em blocos cerâmicos.

No que diz respeito às etapas do ciclo de vida de edificações, de acordo com Oyarzo e Peuportier (2014) e Atmaca e Atmaca (2015), é na fase operacional que ocorrem os maiores impactos. Porém, Agopyan e John (2011) salientam que a cadeia produtiva e os componentes construtivos, mesmo analisados de forma isolada, apresentam impactos significativos, que devem ser mitigados, já que os materiais utilizados influenciam em todas as etapas de uma edificação, tanto nas manutenções ao longo do ciclo do seu ciclo de vida, no consumo de energia na fase operacional e nos impactos referentes à disposição desses componentes.

No Brasil, estudos de ACV no setor da construção civil encontram-se, ainda, em estágios iniciais. Segundo Castro *et al.* (2015), somente a partir dos anos 2000 ocorreu o aumento de publicações de estudos sobre ACV no país. Os autores citam também o estágio avançado de outros países a respeito de normativas relacionadas à ACV de produtos da construção civil.

Dois estudos relevantes de Avaliação do Ciclo de Vida foram realizados para a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER), sendo sobre a avaliação comparativa do ciclo de vida de telhas de cerâmica e telhas de concreto (Souza *et al.*, 2015) e a avaliação comparativa do ciclo de vida de paredes de tijolos cerâmicos, de concreto e de concreto armado fundido no local (Souza *et al.*, 2016). Os dados para ambos os estudos foram fornecidos pela ANICER e complementados com o inventário disponível na Ecoinvent 2.2. De forma geral, os dois estudos demonstraram que os materiais cerâmicos resultaram em impactos menores em relação aos elementos de concreto estudados.





Por ser a ACV uma ferramenta em desenvolvimento no Brasil, muitas vezes, são encontradas dificuldades para a aplicação dos estudos. Segundo Martínez-Rocamora *et al.* (2016), esses obstáculos estão relacionados, principalmente, aos bancos de dados disponíveis que, muitas vezes, não apresentam todas as informações necessárias para uma avaliação mais completa. Em suas análises, os autores concluíram que, apesar da considerável quantidade de banco de dados disponíveis, são poucos os que apresentam inventário para materiais de construção, citando Gabi Database e a Ecoinvent como fontes de inventários mais completas e com dados confiáveis, que disponibilizam inventários para materiais da construção civil.

Método

Para atingir os resultados desejados, foi realizada a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, seguindo as diretrizes da NBR 14040 (ABNT 2009a) e NBR 14044 (ABNT 2009b), adotando-se um estudo de caso para identificação e quantificação dos materiais. Desta forma, foi realizada a ACV dos sistemas construtivos de uma unidade residencial de um conjunto habitacional (Residencial Canaã), localizado em Passo Fundo/RS (Brasil). As unidades habitacionais do loteamento possuem área de 45,19m² cada, sendo que a planta baixa é composta por uma sala de estar, cozinha com área de serviço integrada, dois dormitórios, um banheiro e garagem aberta (Figura 1). O conjunto possui 210 unidades habitacionais. Por se tratarem de moradias de interesse social, o projeto foi desenvolvido com base nos critérios definidos pela CEF.



Figura 1

Planta baixa da unidade habitacional do Residencial Canaã



Fonte: Martins *et al.* (2013).

No presente estudo, como forma de delimitação, foram considerados os elementos da envoltória e piso da edificação. Os sistemas analisados foram divididos em cinco partes para melhor compreensão dos elementos, sendo elas: laje, cobertura, paredes, revestimentos e piso.

Objetivo e escopo

Esse artigo apresenta análises iniciais para a identificação e avaliação dos impactos gerados no projeto das unidades habitacionais do Residencial Canaã. Desta forma, foram analisados os impactos embutidos e de manutenção dos materiais de construção dos sistemas construtivos adotados.

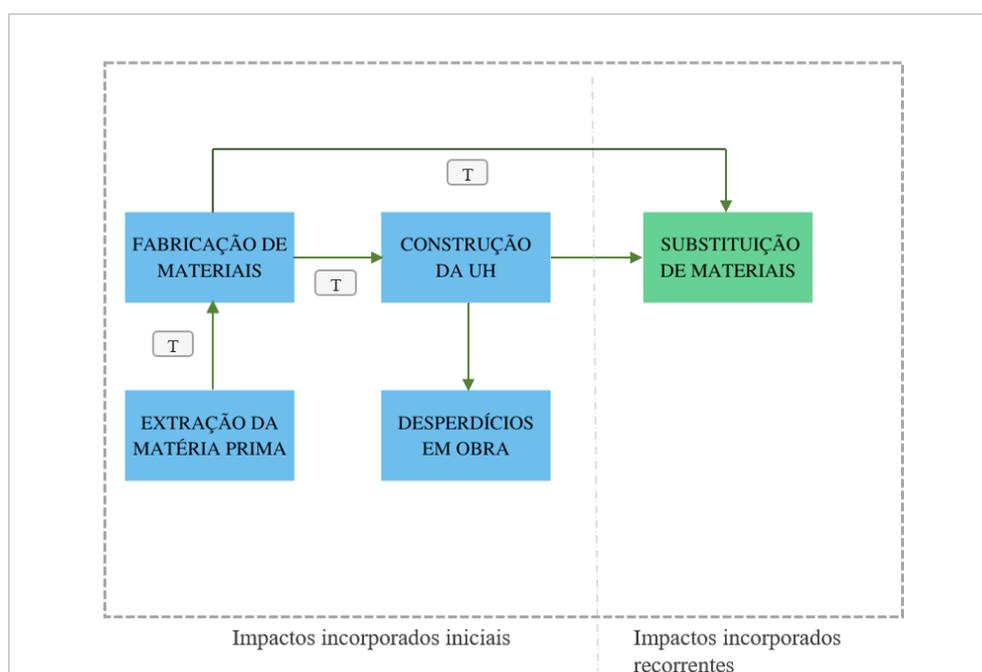
O sistema de produto adotado (Figura 2) é o ciclo de vida dos sistemas construtivos de uma habitação unifamiliar de interesse social, com 45,19m² de área. O período de estudo adotado para a edificação foi o ciclo de vida de 50 anos, levando em conta o tempo utilizado



em estudos relacionados encontrados na literatura (ATMACA; ATMACA, 2015; CALDAS *et al.*, 2016; MORALES *et al.*, 2019). O escopo adotado para o ciclo de vida compreende as etapas de extração da matéria-prima, produção dos materiais de construção (incluindo o transporte da fábrica até a distribuidora e, posteriormente, da distribuição até o canteiro de obras), construção da edificação, desperdícios de materiais durante a construção e manutenção dos sistemas construtivos.

Figura 2

Sistema do produto



Fonte: Os autores (2020)

Em um estudo de ACV, é comum a doção de critérios de cortes para delimitar e viabilizar o trabalho, sendo que esse critério pode ser a respeito da massa, energia ou relevância ambiental dos produtos. Neste artigo, foi adotado o critério de corte definido, de acordo com EN 15.804:2012+A1 (CEN, 2013), em que é aceitável utilizar o critério de corte em processos com massa inferior a 1%, porém, a soma destes fluxos não pode ser superior a 5% de massa e de energia total do sistema de produto. Dessa forma, dentro dos sistemas analisados, não foram considerados os componentes que apresentaram massa pouco participativa do total analisado e que não comprometeriam o desenvolvimento do estudo, como elementos do sistema elétrico, conexões e ferragens.

A unidade funcional, segundo Pedroso (2015), visa fornecer referências para o estudo da ACV, portanto, para garantir a compatibilidade, são adotadas unidades funcionais utilizadas na construção civil. Nesse setor, aquele autor indica que a unidade geralmente



utilizada é a área construída por metro quadrado (m²). Assim, a unidade funcional adotada neste estudo é a área construída por metro quadrado (m²). Para este estudo, como forma de delimitação e pela dificuldade de encontrar dados compatíveis, os sistemas estruturais não foram analisados. No presente estudo, as análises foram realizadas considerando 1m² de cada sistema construtivo executado.

Levantamento e análise de inventário

Para o levantamento quantitativo dos sistemas construtivos, foram utilizados dados primários referentes ao projeto da unidade habitacional, encontrados no memorial descritivo da obra. Dados ausentes foram calculados a partir de dados da SINAPI (2019) relativos aos materiais empregados na unidade habitacional do Residencial Canaã e os dados de rendimento dos materiais por m² foram encontrados nas especificações dos fabricantes. O inventário quantitativo dos materiais utilizados está representado na Tabela 1.

Tabela 1

Inventário quantitativo, para 1m² dos sistemas construtivos avaliados

Sistema	Itens	Kg/m ²	Vol m ³
Cobertura	Concreto	-	0,11
	Malha de aço	1,80	-
	Telhas cerâmicas colonial natural	38,4	-
Paredes	Blocos cerâmicos 8 furos 11,5x19x19 cm	82,5	-
	Cimento	2,45	-
	Cal	2,18	-
	Areia		0,01
	Concreto (cinta de amarração, vergas e contravergas)		0,09
	Aço (cinta de amarração, vergas e contravergas)	0,4	-
	Chapisco - cimento	3,60	-
	Chapisco - areia		0,02
	Emboço – cimento	13,50	-
	Emboço – areia		0,08
Revestimentos	Azulejos nas paredes hidráulicas da cozinha e box do banheiro a ½ parede, dimensões 30x30	13	-
	Argamassa colante ACI para cerâmicas	4,86	-
Piso	Contrapiso em concreto		0,055
	Piso cerâmico 30x30 PEI 4 comercial	13	-
	Argamassa colante ACI para cerâmicas	4,86	-

Fonte: Os autores (2020).

A laje para forro é executada com concreto usinado 20 MPa, na espessura total de 10 centímetros sobre o banheiro como apoio do reservatório superior. A cobertura é composta



por telhas cerâmicas tipo colonial. As paredes das unidades habitacionais são compostas por blocos cerâmicos furados na horizontal, nas dimensões de 11,5x19x19 cm, assentados com argamassa de assentamento, com preparo em betoneira no traço 1: 0,5: 8. O sistema de revestimentos é composto por revestimentos argamassados (externos e internos) e revestimentos cerâmicos de parede. Os revestimentos argamassados são compostos por chapisco na espessura de 5 mm, constituído de argamassa no traço 1:3, com preparo em betoneira e aplicado de forma manual com colher de pedreiro. O emboço, ou massa única, é executado em argamassa no traço 1:2:8, com preparo mecânico em betoneira e aplicado, manualmente, na espessura de 25 mm.

As paredes hidráulicas das unidades habitacionais possuem revestimento cerâmico de classe comercial nas dimensões de 30x30 cm assentados com argamassa colante ACI para cerâmicas. Esse elemento é executado nas paredes hidráulicas da cozinha e box do banheiro a ½ parede, ou seja, azulejos assentados até a metade da altura da parede. O sistema de pisos refere-se ao contrapiso executado em toda a extensão de piso para a recebimento dos elementos cerâmicos. O contrapiso é composto por concreto usinado, com espessura de 5 cm sob superfície limpa e compactada, mais lastro de 5cm de brita. O piso cerâmico utilizado possui dimensões de 30x30 cm e classe comercial PEI 4, assentado com argamassa colante ACI para cerâmicas.

Para a etapa de construção da edificação é considerado o consumo elétrico por equipamentos para a execução dos sistemas construtivos. Para a execução das áreas em concreto, laje e contrapiso é considerado o uso de concreto usinado. De acordo com a NBR 7212 (ABNT, 2012), o concreto usinado é dosado, misturado e transportado para a entrega antes da pega de concreto. O adensamento do concreto nas fôrmas é realizado por vibrador de imersão, com diâmetro da ponteira de 45 mm, com motor elétrico trifásico, como especificado pela SINAPI (2020). O preparo da argamassa de assentamento e argamassa para chapisco e emboço é realizado *in loco*, com betoneira com capacidade de mistura de 280 litros e motor elétrico trifásico 220/380, de acordo com especificações da SINAPI (2020).

Para a análise dos impactos ambientais, o levantamento do inventário foi realizado utilizando dados secundários disponíveis na base de dados Ecoinvent versão 3.6 e o modelo de sistema *cut-off*, com processos de mercado (Market). Dados Market representam aqueles referentes às atividades de transformação do produto acrescidas do transporte. Para auxiliar na organização dos dados do inventário, foi utilizado o *software* OpenLCA. Todos os dados disponíveis na Ecoinvent possuem uma localização geográfica e, dessa forma, no primeiro momento, foram priorizados dados de geografia BR, ou seja, com processos representativos para a realidade brasileira. Porém, alguns materiais aqui estudados não estão disponíveis nessa geografia, sendo necessário o uso de dados com as classificações geográficas GLO (Global) e RoW (*Rest of the World*).



Dados do tipo GLO representam atividades que consideram uma média válida para todos os países do mundo. Dados com geografia RoW são conjuntos de dados que foram calculados a partir de uma estimativa de diversos países, ou seja, é uma cópia dos dados GLO com incertezas ajustadas em relação à geografia (ECOINVENT, 2020).

A respeito da disponibilidade de informações sobre os sistemas construtivos do estudo de caso, como na base de dados adotada para o levantamento, não foram encontrados dados equivalentes ou similares às esquadrias adotadas, sendo que essas não foram consideradas no presente estudo. Ainda sobre os dados adotados, também não foram encontrados inventários referentes às tintas utilizadas no estudo de caso.

Manutenção e substituições de materiais

Para definir o cenário de manutenção e substituições dos materiais de construção analisados, ao longo da vida útil de 50 anos da edificação, foram levadas em consideração as diretrizes estabelecidas na NBR 15.575-1: edificações habitacionais: desempenho: Parte 1: Requisitos gerais (ABNT,2013) e a vida útil de projeto (VUP) mínima. Na Tabela 2, é definida a VUP mínima dos sistemas construtivos estudados e o número de substituições necessárias durante o ciclo de vida de 50 anos da edificação.

Tabela 2

Vida útil de projeto (VUP) e número de substituições dos elementos analisados

Descrição dos materiais	VUP mínima (NBR 15.575-1)	Substituições
Telhas cerâmicas	13	3
Argamassa de revestimento interna	13	3
Argamassa de revestimento externa	20	2
Azulejos de parede	13	3
Piso cerâmico	13	3

Fonte: Adaptada da NBR 15.575-1 (2013).

Avaliação de Impacto do Ciclo de vida

Para a etapa de avaliação dos impactos do ciclo de vida, foi utilizado o *software* OpenLCA 1.9, para o cálculo de avaliação de impactos. O método de impacto selecionado segue a abordagem do *Institute of Environmental Sciences* (CML, 2001). As categorias de impacto utilizadas são as recomendadas pela EN 15804 (CEN, 2013). Essa norma contém indicadores a serem usados na descrição dos impactos ambientais de produtos da construção civil e também fornece regras para o cálculo de avaliação de impactos, incluindo indicações de avaliação daqueles a serem levados em consideração para estudos de produtos da



construção civil (CEN, 2013). As categorias de impactos analisadas estão especificadas no Quadro 1 e todas são calculadas com referência ao método CML 2001.

Quadro 1

Categorias de impacto utilizadas

Categoria de impacto	Unidade
Potencial de depleção de recursos abióticos – não fósseis (ADP)	kg Sb eq.
Potencial de depleção de recursos abióticos – fósseis (ADP f)	MJ
Potencial de acidificação do solo e água (AP)	kg SO ₂ eq.
Potencial de eutrofização (EP)	kg (PO ₄) ³ eq.
Potencial de aquecimento global – 100 (GWP)	kg CO ₂ eq.
Potencial de depleção da camada de ozônio estratosférico (ODP)	kg CFC-11 eq.
Potencial de oxidação fotoquímica (POCP)	kg C ₂ H ₄ eq.

Fonte: Adaptado da EN 15804 (CEN,2013).

Resultados e discussões

Com a ACV, buscou-se indicar os impactos de cada sistema para as categorias de impacto analisadas. Para melhor compreensão, os resultados foram divididos em duas etapas. Inicialmente, foram gerados os impactos totais dos sistemas e as contribuições de cada sistema para os impactos ambientais considerados no estudo. Posteriormente, os sistemas foram analisados separadamente, por meio da comparação entre os impactos embutidos e impactos de manutenção dos sistemas.

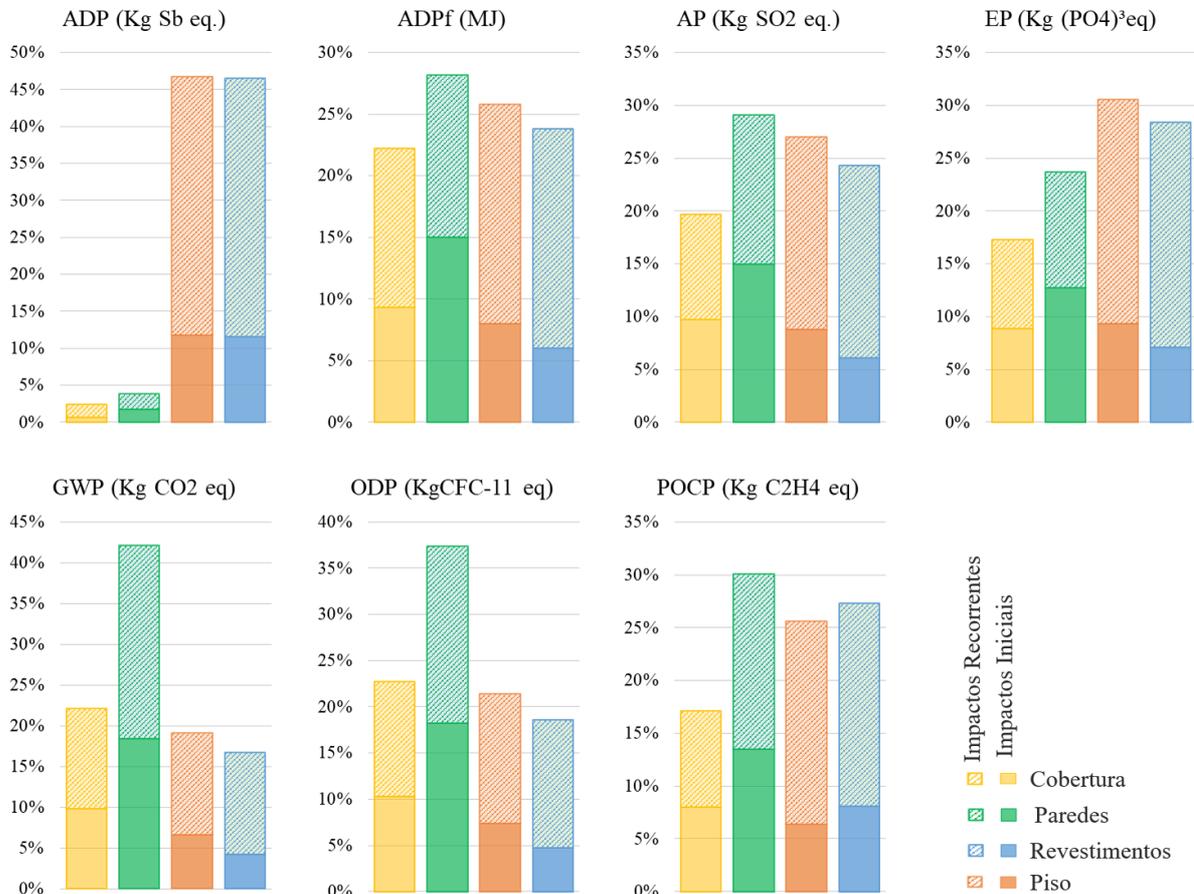
Impactos dos sistemas construtivos analisados

A análise inicial buscou identificar a contribuição total de cada sistema estudado para cada uma das oito categorias de impactos selecionadas para o estudo. Na Figura 3, são representados os resultados para as sete categorias em cada sistema analisado e o total de impactos em cada categoria. Foram interpretados os resultados para 1m² de cada um dos sistemas construtivos, sendo eles: cobertura, paredes, piso e revestimentos.



Figura 3

Participação de cada sistema nos impactos embutidos iniciais e embutidos recorrentes



Fonte: Os autores (2020).

Em relação aos sistemas construtivos, os resultados evidenciam que o conjunto de dados referente às paredes apresentam as maiores contribuições de impactos para cinco das sete categorias analisadas. Esse sistema revelou ser o principal agravante dos impactos totais analisados, tornando-se o foco de análises mais detalhadas. Observando a Figura 3, é possível apontar que, entre as categorias de impacto, o sistema de paredes não apresenta os maiores resultados, sendo estes observados apenas no potencial de depleção de recursos abióticos (ADP) e no potencial de eutrofização (EP). Porém, a respeito dos impactos embutidos iniciais, esse sistema não resulta nos maiores impactos, com exceção da categoria de ADP.

Nesse sentido, na categoria de ADP, os impactos embutidos iniciais do sistema de paredes participam em apenas 2% dos impactos totais, e os impactos embutidos recorrentes também resultaram em 2% da porcentagem total de impactos. Nesta categoria, a maior parcela de impactos foi encontrada, igualmente, nos sistemas de piso e revestimento, sendo que ambos apresentaram contribuições de 12% nos impactos embutidos iniciais e 35% nos



impactos embutidos recorrentes. O sistema de cobertura apresentou o menor potencial de impactos na categoria, sendo que participa de apenas 1% nos impactos iniciais e 2% nos recorrentes.

Na categoria de Potencial de Eutrofização (EP), o sistema de piso apresenta o maior impacto total. Neste sistema, os impactos embutidos recorrentes (ER) são responsáveis pelo agravamento dos resultados, pois, os impactos embutidos iniciais (EI) do sistema para a categoria representam 9% do total; já os recorrentes, contribuem com 21% no total de impactos. Essa tendência se repete no sistema de revestimentos, no qual o EI resulta em 7% dos impactos e o ER, em 21% do total. O conjunto de dados de paredes resulta em 13% de EI e 8% de ER. Nessa categoria, os impactos da cobertura foram os menos graves, resultando em 9% de EI e 8% de ER.

Os resultados de ADPf revelam que o sistema de cobertura possui a menor parcela de impactos entre os demais sistemas, porém, as diferenças entre cada elemento não são discrepantes. Esta categoria de impacto relaciona-se diretamente ao consumo de combustíveis fósseis. Dessa forma, os impactos totais (EI+ER), referentes à cobertura, representam 22% de participação nos impactos totais. Já os impactos totais de paredes, sistema com a maior contribuição de impactos na categoria aqui analisada, apresentam participação de 28% nos impactos totais de ADPf. O sistema de revestimentos e piso expressa resultados de 24% e 26% de participação respectivamente.

Seguindo essa tendência, na categoria de AP, os resultados não sofreram grandes diferenças entre cada sistema analisado. O sistema de paredes com maior participação nos impactos totais apresentou 29% de contribuição. Já o sistema de cobertura, elemento que demonstrou os menores resultados de impactos, participa em 20% dos impactos totais da categoria. Assim como na categoria anterior, os impactos referentes ao revestimento e piso foram similares, com parcelas de 24% e 27% respectivamente. A aproximação do resultado desses sistemas associa-se, principalmente, pela similaridade dos dados utilizados, pois ambos são formados por argamassa colante e revestimento cerâmico (piso cerâmico e azulejo cerâmico). É importante pontuar que a diferença substancial entre os sistemas é que, no sistema de piso, existe o acréscimo do contrapiso, porém, por ser considerado de pequena porção, esse elemento não apresentou grandes participações nos impactos.

De acordo com Pedroso (2015), o potencial de aquecimento global (GWP) é considerado um dos principais impactos ambientais na construção civil. Nesta categoria, é possível observar a importância do sistema de paredes (Figura 3). Esse elemento concentra 42% dos impactos totais. Dessa parcela, o EI participa em 18% e o ER em 24% dos resultados. O sistema de cobertura é o conjunto com a segunda maior contribuição, resultando em 10% de EI e 12% de ER. Os sistemas de piso e revestimentos apresentaram resultados



similares, ambos com 13% de ER. No entanto, os impactos iniciais para o conjunto de piso foram menores, com apenas 4% da parcela total dos resultados.

Na categoria de depleção da camada de ozônio estratosférico (ODP), os resultados seguem a mesma tendência dos impactos referentes ao GWP, no qual o sistema de revestimentos e pisos apresentam as menores contribuições de impactos totais. Neste caso, os resultados do conjunto referentes à cobertura não diferem muito dos citados. O revestimento é o elemento menos impactante, resultando em 7% de EI e 14% de participação referente ao ER. O sistema de piso possui participação de 7% para EI e 14% para ER, e os impactos iniciais da cobertura possuem contribuição de 10% nos impactos totais e 12% nos recorrentes. O sistema de paredes, que possui a maior participação nos impactos, detém 18% de EI e 10% de ER. Percebe-se que, para os sistemas de piso e revestimentos, as substituições (ER) influenciam diretamente nos impactos totais destes elementos.

A última categoria de impactos considerada corresponde ao potencial de oxidação fotoquímica (POCP). Neste grupo, os impactos embutidos iniciais do sistema de paredes apontaram participação de 14%, e os embutidos recorrentes, 17% do total. Os sistemas de revestimentos e piso dividem a segunda maior participação nos impactos, sendo que o primeiro apresenta 8% de EI e 19% para ER. O piso contribui com 6% de impactos iniciais e 19% de recorrentes. O sistema de cobertura com a menor parcela nos impactos participa em 8% de EI e 9% de ER.

De forma geral, é possível identificar que os impactos recorrentes influenciam, decisivamente, a parcela de cada sistema. Outro ponto a ser considerado é que sistemas com maior massa total apresentaram também resultados maiores de impacto. Desta forma, a partir das análises e interpretações realizadas neste item, na próxima seção, são analisados os elementos que compõem os sistemas construtivos para identificar agravantes de impactos em cada conjunto.

Impactos embutidos e de manutenção dos sistemas construtivos analisados

Esta etapa deste estudo compreende as análises dos impactos embutidos e de manutenção em cada sistema construtivo para 1m² executado, nos quais são analisados os impactos dos materiais que compõem estes sistemas (Figura 4).

A partir das análises, percebe-se, de forma geral, principalmente no sistema de paredes, a expressiva participação dos elementos argamassados nos impactos estudados, havendo destaque para os impactos referentes à manutenção e à substituição desses elementos. As argamassas utilizadas no estudo são compostas por cimento, cal, areia e água. Essa composição é dosada e misturada em obra com o uso de betoneiras, sendo que a execução é aplicada manualmente por profissionais da área com o uso de pá de pedreiro.



Dessa forma, assim como identificado por Crivelaro e Pinheiro (2016), os impactos nesses elementos estão concentrados, principalmente, no uso de cimento, uma vez que a produção do clínquer está diretamente ligada a esse agravante, liberando altas quantidade de CO₂ em seus processos de transformação.

É possível identificar que, na categoria de GWP, com destaque no sistema de paredes em que o uso de cimento é mais expressivo, os elementos de argamassa concentram os resultados também mais expressivos. No entanto, por possuir pouca massa total em relação ao conjunto mássico do sistema de paredes e não possuir a necessidade de manutenções, a argamassa de assentamento apresenta impactos menores, sendo que, apenas na categoria de POCP, revela impactos mais relevantes. Entretanto, é importante observar que os maiores impactos dos elementos de argamassa de revestimento (chapisco e emboço) são concentrados na argamassa de revestimento recorrente, ou seja, os maiores resultados estão nas manutenções deste elemento.

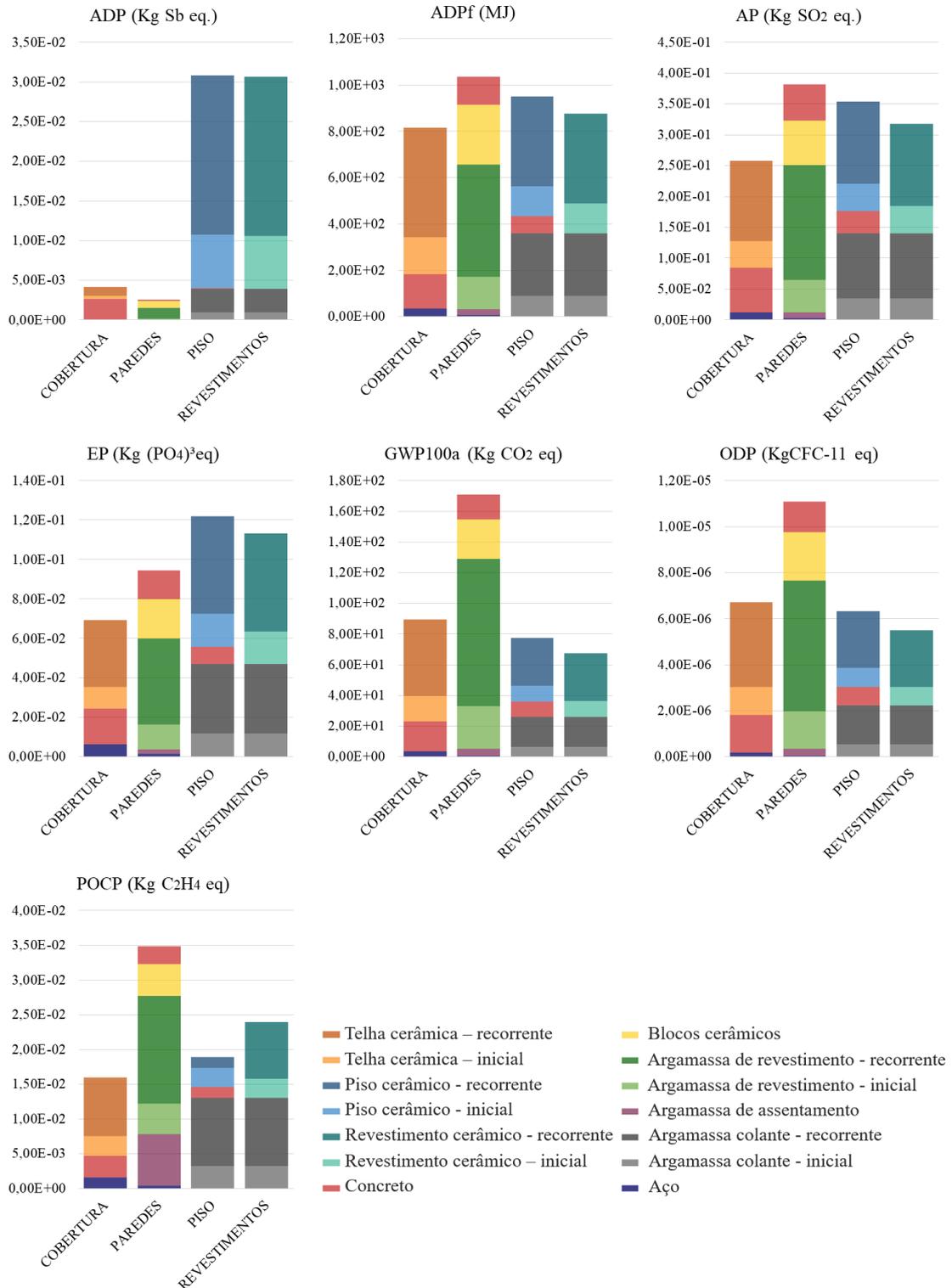
Ainda referente ao sistema de paredes, os blocos cerâmicos também participam de forma expressiva nos impactos. Como esse material não é passível de substituições, os impactos analisados na Figura 4 referem-se apenas àqueles embutidos iniciais. Esse elemento agrega expressivamente no total de massa do sistema, sendo que a sua participação nos impactos está relacionada, principalmente, a esse aspecto. Crivelaro e Pinheiro (2016) destacam que os processos de queima do bloco influenciam diretamente os impactos referentes às emissões de gases poluentes – ressaltando a categoria de GWP – podendo ser a etapa com maior potencial de impactos no material.

No conjunto referente à cobertura, os maiores impactos são encontrados no elemento de telhas cerâmicas recorrentes, ou seja, nas substituições deste elemento para atender a VUP mínima definida pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013). Os impactos embutidos iniciais para telhas cerâmicas também foram significativos, porém, inferiores aos resultados do conjunto referente ao concreto para a execução da laje do reservatório superior. Levando em consideração somente os impactos iniciais do sistema de cobertura, o concreto participa com os maiores resultados em todas as categorias de impacto consideradas. Por sua vez, nos sistemas de piso e revestimentos, os maiores impactos foram encontrados nos elementos suscetíveis a substituições, argamassa colante e revestimentos cerâmicos.



Figura 4

Resultados, por m², dos impactos ambientais nos sistemas construtivos



Fonte: Os autores (2020).

Em relação aos elementos compostos por cimento, analisando o levantamento quantitativo dos materiais, observa-se que o elemento é utilizado em pequenas quantidades



nos sistemas de paredes e piso, nos quais é empregado na execução de cintas de amarração, vergas e contravergas para 1m² de alvenaria e para 1m² de contrapiso, resultando em impactos menores. No sistema de cobertura, o concreto é utilizado na execução da laje para o recebimento do reservatório superior, possuindo assim maior participação no quantitativo de materiais e, conseqüentemente, apresentando expressiva participação nos impactos desse conjunto.

Nos sistemas utilizados, o concreto não exige substituições. Dessa forma, os resultados encontrados para o concreto remetem somente aos impactos embutidos iniciais do material. Portanto, como observado na Figura 4, no sistema de cobertura em que o uso de concreto é mais expressivo, quando comparados somente os impactos embutidos iniciais, este elemento participa com os maiores resultados. Porém, analisando os impactos totais dos materiais utilizados (EI + ER), as telhas cerâmicas passam a concentrar os maiores resultados em seis das sete categorias analisadas, resultado do número de substituições que atendem a vida útil da telha cerâmica.

Do mesmo modo, a pouca participação do aço nos impactos explica-se, principalmente, pela pouca quantidade utilizada, tanto no sistema de cobertura quanto no de paredes, resultando assim em pouca massa total, já que, para a execução de 1m² de alvenaria, são quantificados 0,4kg de aço para a execução de vergas e contravergas e para a cinta de amarração. No sistema de cobertura, o aço é considerado para a execução de 1m² de laje de cobertura para reservatório superior, sendo necessário somente 1,80 kg de aço. Nesta etapa deste estudo, foram utilizados dados Market, ou seja, os impactos gerados pelo transporte desses elementos já estão contabilizados no próprio material.

Em concordância com os resultados encontrados nas análises realizadas no presente estudo, a avaliação realizada por Braga (2018) indica o cimento e o bloco cerâmico como materiais que mais influenciam no percentual de emissões de CO₂. Em relação aos agravantes para os maiores resultados nestes materiais, a autora cita, principalmente, a representatividade em massa destes elementos e o uso de altas temperaturas em seus processos de produção. Nesse sentido, Azevedo *et al.* (2020) também reforçam que o cimento é um importante fator nos impactos ambientais de sistemas construtivos.

No estudo de Morales *et al.* (2019), também se percebem resultados similares aos encontrados neste artigo, pois, quando levadas em consideração as etapas do ciclo de vida até a construção do edifício, o sistema de alvenaria também apresentou impactos ambientais significativos. Os materiais cimentícios também apresentaram as maiores contribuições no potencial de aquecimento global. Para os resultados referentes à etapa de manutenção, os achados dos autores estão alinhados aos encontrados nesta pesquisa, na qual identificou-se que, quanto maior for a necessidade de substituições de um material, maior serão os impactos embutidos recorrentes de uma edificação. Porém, é importante levar em consideração que a



ACV realizada no estudo Morales et al. (2019) utiliza dados adaptados para a realidade brasileira, o que pode acarretar algumas diferenças nos resultados. No entanto, as tendências dos resultados estão em conformidade.

Neste contexto, é possível reafirmar o que foi encontrado na interpretação dos resultados da ACV deste estudo de caso no Residencial Canaã, no qual a massa total de um sistema é um ponto agravante que contribui diretamente em seus impactos embutidos iniciais. Reitera-se, também, que os impactos referentes à manutenção podem ser muito superiores aos impactos iniciais, resultando no agravamento dos impactos totais do sistema construtivo.

Considerações finais

Diante das constantes discussões relacionadas ao desenvolvimento sustentável na construção civil e aos impactos ambientais dos processos de fabricação dos materiais de construção, este artigo teve como objetivo quantificar e comparar, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida, os impactos dos sistemas de alvenaria, cobertura, revestimento e piso de uma unidade habitacional do Residencial Canaã, compreendendo as etapas de extração e transporte da matéria-prima, manufatura, transporte, distribuição, transporte até a obra, construção e manutenções. Os resultados referentes às etapas de extração da matéria-prima, transporte até a fábrica, manufatura, transporte dos materiais e produtos necessários para a construção até o canteiro de obras e a construção da edificação foram denominados impactos embutidos iniciais; já os impactos referentes à manutenção e substituições de materiais, foram denominados impactos embutidos recorrentes. Os fatores de substituições foram determinados a partir das recomendações de VUP mínima definida pela NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) para o ciclo de vida de 50 anos.

Desta forma, conclui-se que, entre as etapas consideradas neste estudo, os maiores impactos ambientais foram encontrados nas etapas de manutenções e substituições, constatando que o número de manutenções influencia decisivamente os impactos ambientais de um sistema. Isto ocorre porque, a cada substituição, seus impactos são acumulados, sendo que, ao final dos 50 anos do ciclo de vida, os impactos recorrentes, na maioria das vezes, tornam-se maiores que os impactos embutidos iniciais.

Os maiores resultados nos impactos embutidos recorrentes já eram esperados e identificou-se que estes apresentaram entre 59% e 73% de participação, enquanto os impactos embutidos iniciais resultaram em participações que variam entre 27% e 40%. Outro fator encontrado foi que a participação em massa do sistema para o total da edificação, principalmente nos impactos referentes aos transportes dos materiais, influencia diretamente o agravamento de seus impactos ambientais. Também pôde-se identificar que determinados



materiais predominam nos impactos ambientais do sistema, como os elementos cimentícios e blocos cerâmicos.

Desta forma, a partir das análises realizadas, cabe destacar a necessidade de utilizar produtos que tenham sua produção mais limpa e que privilegiem matérias-primas renováveis ou certificadas ambientalmente. Outro ponto de destaque é a necessidade de diminuir o uso de materiais cimentícios, além de priorizar o uso de materiais locais ou com fabricação próxima ao canteiro de obras, optando por elementos com tecnologias menos agressivas ao meio ambiente ou que utilizem elementos alternativos e/ou elementos reciclados em sua composição. Em relação às etapas de manutenções e substituições, é de extrema importância analisar a vida útil dos materiais empregados nos projetos, verificando os números necessários de manutenções e substituições ao longo do ciclo de vida da edificação, optando por materiais e sistemas construtivos com maior vida útil e, conseqüentemente, menor fator de substituições.

Constata-se, então, a importância da definição e escolha dos sistemas construtivos e materiais para a edificação, uma vez que os elementos podem contribuir para diminuir ou alavancar os impactos gerados. Logo, os resultados demonstram que a ACV permite que profissionais da área obtenham as informações necessárias para desenvolverem e gerenciarem edificações menos impactantes ambientalmente.

A partir das conclusões discutidas, como estudo futuro, recomenda-se a realização da adaptação dos dados de inventário, abrangendo maior escopo para o estudo, com a inserção de novos materiais e considerando todo o ciclo de vida da edificação, com a análise do consumo de energia e impactos operacionais das edificações, bem como do fim de vida da habitação. Recomenda-se, também, como estudo futuro, a comparação entre diferentes cenários de manutenções e substituições e a verificação prática da aplicação das recomendações em norma.

Referências

- Agopyan, V., & Jonh, V. M. (2011). *O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil*. Série Sustentabilidade (Vol. 5). São Paulo: Ed. Blucher.
- Anicer, (2012). Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto armado moldado in loco. Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575-1: edificações habitacionais: desempenho*: Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009). *NBR 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro, 2009.



- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014). *NBR 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro.
- Atmaca, A., & Atmaca, N. (2015). Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO₂A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. *Energy And Buildings*, 102, 417-431.
- Bento, R. C. (2016). *Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da avaliação do ciclo de vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento*. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- Braga, N. K. M. (2018). *Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida*. (Dissertação de Mestrado) Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Bribián, I. Z., Capilla, A. V., & Usón, A. A. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building And Environment*, 46(5), 1133-1140.
- Caixa Econômica Federal (CEF). Selo Casa Azul: Boas práticas para habitação mais sustentável. São Paulo: Páginas e Letras Editora e Gráfica, 2010. Disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/manual-selo-casa-azul-caixa>. Acesso em: 8 Out. 2021.
- Caldas, L.R., Spoto, R.M., Pires, A.C., & Paulsen J.S. (2016). Sustentabilidade na Construção Civil. *Sustentabilidade em Debate*, 7(2), 238-256, 2016.
- Castro, A. L., Silva, F. B., Arduin, R.H., Oliveira, L. A de., & Becere, O.H. (2015). Análise da viabilidade técnica da adaptação de dados internacionais de inventário de ciclo de vida para o contexto brasileiro: um estudo de caso do concreto para paredes moldadas no local. Anais... Bonito, MS: IBRACON.
- CEN - European Committee for Standardization. (2013). *EN 15.804:2012+A1:2013 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*. Luxemburg: Publications Office of the European Union.
- Chehebe, J. R. (1997). *Análise do Ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI.
- CNI - Confederação Nacional de Indústrias. (2017). *Construção Sustentável: A mudança em curso*. Brasília.
- Crivelaro, M., & Pinheiro, A. C. F. B. (2016). *Materiais de Construção – Série Eixo*. 2ªed. São Paulo: Editora Érica.
- ECOINVENT. (2020) *Glossary of Ecoinvent Terminology*. Disponível em: <https://www.ecoinvent.org/support/glossary/glossary.html> Acesso em: 20 Mai. 2020.
- Grünberg, P. R. M., Medeiros, M. H. F., & Tavares, S. Fernando. (2014). Certificação ambiental de habitações: comparação entre leed for homes, processo aqua e selo casa azul. *Ambiente & Sociedade*, 17, 195-214.



- Klöpffer, W. (2012). The critical review of life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044: origin, purpose and practical performance. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, Heidelberg, 1-7.
- ILCD - Institute for Environment and Sustainability - European Commission Joint Research Centre. (2011). *International Reference Life Cycle Data System (ILCD)*.
- Martins, M. S., Romanini, A., Mussi, A. Q., & Folle, D. (2013). Projeto de habitações flexíveis de interesse social. *Oculum Ensaio – Revista de Arquitetura e Urbanismo PUC*. Campinas.
- Montes, M. A. T. (2016). *Abordagem integrada no ciclo de vida de habitações de interesse social considerando mudanças climáticas*. (Tese doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Morales, M., Moraga, G., Kirchheim, A. P., & Passuello, A. (2019). Regionalized inventory data in LCA of public housing: a comparison between two conventional typologies in southern Brazil. *Journal Of Cleaner Production*, 238.
- OPENLCA. Disponível em: <https://www.openlca.org>. Acesso em: 10 Mai. 2020.
- Oyarzo, J., & Peuportier, B. (2014). Life cycle assessment model applied to housing in Chile. *Journal of Cleaner Production*, 69, 109-116.
- Pedroso, G. M. (2015). *Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações*. (Tese de doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Passuello, A.C.B., Oliveira, A. F. de., Costa, E. B. fa., & Kirchheim, A. P. (2014). Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. *Ambiente Construído*, 14(4), 7-20.
- Petrovic, B., Myhren, Jonn A., Zhang, X., Wallhagen, M., & Eriksson, O. (2019). Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden. *Energy Procedia*, 158, 3547-3552.
- Saade, M. R. M., Silva, M. G da., Silva, V. G., Franco, H. G., Schwambach, D., & Lavor, B. (2014). Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. *Smart And Sustainable Built Environment*, 3(1), 54-71.
- SEO, E.S.M., KULAY, L. A. (2006). Avaliação do ciclo de vida: Ferramenta gerencial para tomada de decisão. *InterfacEHS. Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente*.
- Silva, G. A., Bräscher, M., Lima, J. A. O., & Lamb, C.R. (2015). Avaliação do ciclo de vida: ontologia terminológica. *Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - Ibict*, Brasília.
- SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), 2017. *Caixa Econômica Federal*, Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/> Acesso em: 19 Nov. 2019.
- Souza, D.M., Lanfontaine, M., Charron-Doucet, F., Bengoa, X., Chappert, B., Duarte, F., & Lima, L. (2015). Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context. *Journal of Cleaner Production*, 89, 165-173.



- Souza, D.M., Lanfontaine, M., Charron-Doucet, F., Chappert, B., Kicak, K., Duarte, F., & Lima, L. (2016). Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. *Journal of Cleaner Production*, 137, 70-82.
- Sposto, R. M., & Paulsen, J. S. (2014). Energia Incorporada em Habitações de Interesse Social na fase de pré-uso: O caso do programa minha casa minha vida no Brasil. *Oculum Ensaios. Revista de Arquitetura e Urbanismo*, Campinas, 11 (2), p. 39-50.
- Tavares, S. F. (2006). *Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residências brasileiras*. 2006. (Tese de Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- WMO. World Meteorological Organization (2011). *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010*. Geneva: World Meteorological Organization.