

**Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e
Infraestrutura**

**Método para avaliação de impactos ambientais no processo de
projeto de edifícios públicos**

Juliano Libraga da Silva

Porto Alegre
2022

JULIANO LIBRAGA DA SILVA

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS
NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Prof. Dra. Ana Carolina Badalotti Passuello
Dra. pela Universidade Rovira i Virgili, Espanha
Orientadora

Porto Alegre
2022

CIP - Catalogação na Publicação

Silva, Juliano Libraga da
Método para avaliação de impactos ambientais no
processo de projeto de edifícios públicos / Juliano
Libraga da Silva. -- 2022.
172 f.
Orientadora: Ana Carolina Badalotti Passuello.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e
Infraestrutura, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Avaliação do ciclo de vida. 2. Avaliação de
desempenho ambiental. 3. Processo de projeto. 4.
Sustentabilidade na Administração Pública. I.
Badalotti Passuello, Ana Carolina, orient. II.
Título.

JULIANO LIBRAGA DA SILVA

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS
DO CICLO DE VIDA DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Sustentabilidade, e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 2022.

Prof. Dra. Ana Carolina Badalotti Passuello
Dra. pela Universidade Rovira i Virgili, Espanha
Orientadora

Prof. Dra. Ângela de Moura Ferreira Danilevicz
Coordenadora do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eduardo Luís Isatto (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Dra. Michele Ferreira Dias Morales (Univ. of Florida)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil

Prof. Dra. Vanessa Gomes da Silva (UNICAMP)
Dra. pela Universidade de São Paulo, USP, Brasil

À minha mãe e à memória de meu pai,
por todo o amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Elô, por ser minha base, amiga e parceira de todas as horas, fonte inesgotável de afeto. Aos meus demais familiares, pelo carinho e momentos de boas conversas.

Agradeço especialmente à minha orientadora, Prof. Ana Passuello, por sua generosidade, incentivo, paciência e sabedoria. Obrigado por acreditar no meu trabalho e por oferecer conhecimento sempre de forma leve e motivadora.

Aos demais professores do PPGCI pela atenção sempre recebida e por contribuírem direta ou indiretamente com o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores Eduardo Isatto, Michele Morales e Vanessa Gomes, por aceitarem participar da banca examinadora, pela sua disponibilidade e pelas importantes contribuições recebidas.

Aos colegas e amigos do grupo de pesquisa LIFE Sustainability, por compartilharem experiências, pelo auxílio nas dúvidas, e pelos momentos de apoio e descontração ao longo do mestrado.

Ao Ministério Público Federal, pela disponibilização dos dados utilizados do estudo de caso. Obrigado às colegas da Divisão de Engenharia e Arquitetura da PR/RS, pela compreensão e apoio para que eu conseguisse cumprir esta missão em paralelo às atividades laborais.

Agradeço também a todos os profissionais das instituições públicas que participaram dos grupos focais deste estudo, pela sua atenção e cooperação valiosas.

Aos meus amados amigos e amigas, que me acompanham ao longo da jornada da vida, pelos essenciais momentos de felicidade, motivação, força e escuta.

“O que eu faço é uma gota no meio de um oceano.
Mas sem ela, o oceano será menor.”

(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

SILVA, J. L. da. **Método para avaliação de impactos ambientais no processo de projeto de edifícios públicos**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

O ambiente construído possui grande contribuição para os impactos ambientais globais, a partir dos substanciais níveis de emissões de gases de efeito estufa, da extração de matérias-primas e pela densificação de áreas urbanas. No contexto brasileiro, os edifícios públicos compõem uma parcela significativa do setor da construção e há legislação impondo a necessidade de critérios de sustentabilidade nos projetos dessas edificações. Porém, a sustentabilidade ainda é tratada com limitação no âmbito das obras públicas. Além disso, o processo de projeto de edificações públicas possui uma série de procedimentos a serem cumpridos, diversos atores envolvidos, e com especificidades que o tornam diferenciado em relação ao setor privado. Neste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode auxiliar na consideração do desempenho ambiental nas etapas de projeto, pois é reconhecida internacionalmente como técnica científica, com potencial de subsidiar o processo de tomada de decisão. Assim, o objetivo desta pesquisa é desenvolver um procedimento metodológico para estimar potenciais impactos ambientais do ciclo de vida de edifícios públicos brasileiros, utilizando a ACV na comparação de soluções construtivas, para consideração do desempenho ambiental no processo de projeto. Uma revisão sistemática identificou que os métodos existentes possuem diferentes abordagens e aplicações voltadas a determinados contextos, com destaque à integração entre o BIM e a ACV no processo de projeto. A etapa de projeto básico foi identificada como mais adequada para executar a avaliação de desempenho ambiental, por possuir os elementos mínimos para a modelagem de ACV. Como resultado deste estudo, é apresentada estrutura metodológica composta por um *framework* dividido em 7 etapas, além de 4 ferramentas auxiliares, que contemplam um roteiro de aplicação, uma matriz de partes interessadas, a relação de especificações para inserção nas contratações públicas, e uma tabela com detalhamento da estrutura metodológica. O instrumento proposto foi testado em estudo de caso de edifício público, com área total de 830 m², vida útil de 50 anos, com uma abordagem do berço ao túmulo. Os sistemas construtivos com maior representatividade nos impactos ambientais foram os de pisos, instalações elétricas e correlatas, esquadrias e revestimentos de vedações e fachadas. As estruturas de concreto armado se destacaram nos impactos do estágio de produção dos materiais de construção. Na avaliação de cenários alternativos, a partir de *hotspots* dos impactos, os cenários com pisos e esquadrias de madeira apresentaram melhor desempenho ambiental, com reduções variando de 6 a 40% dos impactos das soluções do cenário base de projeto. Uma análise de sensibilidade foi conduzida, ampliando a robustez dos resultados, os quais mostraram aderência às conclusões obtidas por outros estudos de ACV no contexto nacional. A estrutura metodológica foi avaliada por engenheiros civis e arquitetos de 4 instituições públicas. As contribuições foram significativas para obter a versão final do método, identificando-se que, com o suporte de especialistas da área ambiental, o mesmo pode contribuir para a inclusão da avaliação de desempenho ambiental nos projetos de edificações públicas, de forma sistemática e padronizada.

Palavras-chave: Avaliação do ciclo de vida. Avaliação de desempenho ambiental. Processo de projeto. Sustentabilidade na administração pública.

ABSTRACT

SILVA, J. L. da. **Method for assessing environmental impacts in the design process of public buildings**. 2022. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

The built environment has a major contribution to global environmental impacts, from the substantial levels of greenhouse gas emissions, the extraction of raw materials and the densification of urban areas. In the Brazilian context, public buildings represent a significant portion of the construction sector and the legislation imposes the need for sustainability criteria in these buildings projects. However, sustainability is still limited in the scope of public works. In addition, the design process of public buildings requires compliance with a series of procedures, several actors are involved, and has specificities that make it different from the private sector. In this context, the Life Cycle Assessment (LCA) can help to consider environmental performance in the design stages, with international recognition as a scientific technique, with the potential to support the decision-making process. Thus, the objective of this research is to develop a methodological procedure to estimate potential environmental impacts of the life cycle of Brazilian public buildings, using LCA in the comparison of constructive solutions, to consider the environmental performance in the design process. A systematic review identified that the existing methods have different approaches and applications aimed at certain contexts, with emphasis on the integration between BIM and LCA in the design process. The basic design stage was identified as the most adequate to carry out the environmental performance assessment, because it has the minimum elements for LCA modeling. As a result of this study, a methodological structure is presented consisting of a framework divided into 7 stages, in addition to 4 auxiliary tools, which includes an application guide, a matrix of interested parts, the list of specifications for insertion in public contracts, and a table detailing the methodological structure. The proposed instrument was tested in a case study of a public building, with a total area of 830 m², a service life of 50 years, with a cradle-to-grave approach. The building systems with the greatest representation in terms of environmental impacts were floorings, electrical and related installations, windows and coverings for walls and facades. The reinforced concrete structures highlighted the impacts of the production stage of the materials used in the construction. In the evaluation of alternative scenarios, from impact hotspots, the scenarios with wooden floors and windows presented better environmental performance, with reductions ranging from 6 to 40% of the impacts of the solutions provided for in the project base scenario. A sensitivity analysis increased the robustness of the results, which showed adherence to the conclusions obtained by other LCA studies in the national context. The methodological framework was evaluated by civil engineers and architects of 4 public institutions. The contributions were significant to obtain the final version of the method, identifying that, with the support of experts in the environmental area, the method can contribute to the inclusion of environmental performance assessment in public building projects, in a systematic and standardized way.

Keywords: Life cycle assessment. Environmental performance assessment. Design process. Sustainability in public administration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Participação do setor público na indústria da construção no Brasil em 2019	19
Figura 2 - Estágios do ciclo de vida de uma edificação conforme a EN 15978:2011	31
Figura 3 - Procedimentos para a concepção de um edifício público	39
Figura 4 - Fluxograma simplificado do processo de projeto de edificações em uma instituição pública.....	41
Figura 5 - Distribuição temporal dos estudos selecionados de acordo com a abordagem temática, conforme pesquisa realizada em 26/05/2021	47
Figura 6 - Síntese do protocolo adotado para a revisão de estudos sobre a ACV nas fases iniciais de projeto de edificações.....	48
Figura 7 - Abordagem sugerida para integração de ACV e BIM no ciclo de vida de uma edificação	58
Figura 8 - Níveis de integração entre ACV e BIM.....	61
Figura 9 - Fluxo das ações adotadas para o desenvolvimento da estrutura metodológica de avaliação de desempenho ambiental	70
Figura 10 - Perspectiva frontal do projeto padrão de edifício público adotado como estudo de caso	71
Figura 11 – Perspectivas lateral e posterior do projeto padrão de edifício público adotado como estudo de caso	71
Figura 12 - Fluxograma de seleção de dados e aplicação dos critérios de corte no estudo de caso analisado.....	74
Figura 13 - Relação das instituições públicas e qualificação dos profissionais que participaram do processo de avaliação da estrutura metodológica.....	80
Figura 14 - Framework de avaliação de desempenho ambiental para aplicação no projeto básico de edifícios públicos	83
Figura 15 - Roteiro para aplicação da avaliação de desempenho ambiental de acordo com os cenários de projeto	86
Figura 16 - Distribuição dos resultados totais de impactos ambientais do cenário base de projeto entre os módulos do ciclo de vida.....	89
Figura 17 - Contribuição dos diferentes sistemas nos impactos ambientais do cenário base de projeto, nos módulos A1-A3 do ciclo de vida.....	90
Figura 18 - Contribuição dos diferentes sistemas nos impactos ambientais do cenário base de projeto, no módulo B4 do ciclo de vida.....	91
Figura 19 - Comparação dos resultados de impactos ambientais dos cenários alternativos A, B e C em relação ao cenário base, para os módulos A1-A3 e B4 do ciclo de vida	95
Figura 20 - Comparação dos resultados de impactos ambientais dos cenários alternativos D, E e F em relação ao cenário base, para os módulos A1-A3 e B4 do ciclo de vida	99
Figura 21 - Comparação dos resultados de impactos ambientais totais do ciclo de vida entre o cenário base e a configuração de projeto com melhor desempenho ambiental (Cenários C e F)	100
Figura 22 - Análise de sensibilidade 1, considerando 2 trocas das esquadrias no cenário base e 3 trocas nos cenários A, B e C, para os módulos A1-A3 e B4	102
Figura 23 - Análise de sensibilidade 2, considerando 1 troca das esquadrias no cenário base e 3 trocas nos cenários A, B e C, para os módulos A1-A3 e B4	103
Figura 24 - Análise de sensibilidade 3, considerando 2 trocas dos pisos no cenário base, 4 trocas no cenário D, 3 trocas no cenário E e 2 trocas no cenário F, para os módulos A1-A3 e B4.....	104
Figura 25 - Análise de sensibilidade 4, considerando 2 trocas dos pisos no cenário base, 5 trocas no cenário D, 4 trocas no cenário E e 3 trocas no cenário F, para os módulos A1-A3 e B4.....	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de impacto midpoint conforme o método CML	33
Quadro 2 - Comparação entre definições das categorias de LOD	62
Quadro 3 - Matriz de responsabilidades para a aplicação da avaliação de desempenho ambiental.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Adaptação de dados para os itens de maior massa nos módulos A1-A3 e B4.....	78
Tabela 2 - Identificação de hotspots nos resultados de impactos do cenário base para as esquadrias da edificação	94
Tabela 3 - Descrição dos cenários alternativos definidos para as esquadrias do estudo de caso	95
Tabela 4 - Identificação de hotspots nos resultados de impactos do cenário base para os pisos da edificação	97
Tabela 5 - Descrição dos cenários alternativos definidos para os pisos do estudo de caso	98
Tabela 6 - Estrutura da análise de sensibilidade conduzida para os cenários base e alternativos das esquadrias	102
Tabela 7 - Estrutura da análise de sensibilidade conduzida para os cenários base e alternativos dos pisos	104
Tabela 8 - Composição dos sistemas e elementos construtivos do projeto do edifício público adotado como estudo de caso.....	129
Tabela 9 - Relação dos itens de projeto do estudo de caso excluídos da aplicação da estrutura metodológica e sua representatividade mássica	132
Tabela 10 - Processo de adaptação de <i>datasets</i> realizado na base de dados <i>Ecoinvent</i>	142
Tabela 11 - Dados do inventário do ciclo de vida do cenário base para os módulos A1-A3, A4, B4, C2.....	143
Tabela 12 - Dados do inventário do ciclo de vida dos cenários alternativos (Cen. A, B e C) para as Esquadrias do estudo de caso, referentes aos módulos A1-A3, A4, B4, C2	153
Tabela 13 - Dados do inventário do ciclo de vida dos cenários alternativos (Cen. D, E e F) para os Pisos do estudo de caso, referentes aos módulos A1-A3, A4, B4, C2	156
Tabela 14 - Informações complementares de consumos, referências e processos da base de dados utilizados na modelagem dos cenários base e alternativos	159
Tabela 15 - Descrição detalhada da estrutura metodológica com exemplos de aplicação no estudo de caso.....	161
Tabela 16 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário base de projeto	166
Tabela 17 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo A .	167
Tabela 18 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo B .	168
Tabela 19 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo C .	169
Tabela 20 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo D .	170
Tabela 21 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo E .	171
Tabela 22 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo F..	172

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ACV: Avaliação do ciclo de vida
- ACCV: Avaliação do custo do ciclo de vida
- ADPf: Potencial de depleção de recursos abióticos – combustíveis fósseis
- ADPnf: Potencial de depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis
- AIA: *American Institute of Architects*
- AP: Potencial de acidificação de solo e água
- BIM: *Building Information Modeling*
- DAP: Declaração ambiental de produto
- DSR: *Design Science Research*
- EE: Escola de Engenharia
- EP: Potencial de eutrofização
- ETL: *Extraction, Transformation and Loading*
- GEE: Gases de Efeito Estufa
- GLP: Gás Liquefeito de Petróleo
- GWP: Potencial de aquecimento global
- IBICT: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
- IFC: *Industry Foundation Classes*
- LOD: *Level of Development* (Nível de desenvolvimento)
- MPF: Ministério Público Federal
- NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Construção
- ODP: Potencial de depleção da camada de ozônio
- PBACV: Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida
- POCP: Potencial de formação de ozônio fotoquímico
- PPCI: Projeto de prevenção e combate a incêndio
- PPGCI: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura
- REBACV: Rede Empresarial Brasileira de ACV
- RSL: Revisão sistemática de literatura
- SINAPI: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
- SPDA: Sistema de proteção contra descargas atmosféricas
- SVVIE: Sistema de vedações verticais internas e externas
- TCU: Tribunal de Contas da União
- VUP: Vida útil de projeto
- UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	16
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	21
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	24
1.4	DELIMITAÇÕES	25
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	26
2	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES	27
2.1	PRINCIPAIS CONCEITOS ABORDADOS NO DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO	27
2.1.1	Estrutura da ACV	28
2.1.2	Análise de incerteza.....	28
2.1.3	Análise de sensibilidade	29
2.2	A ACV NO SETOR DA CONSTRUÇÃO.....	29
2.2.1	O ciclo de vida das edificações	30
2.2.2	Avaliação de impacto do ciclo de vida de edificações	31
2.3	ACV DE EDIFICAÇÕES COMPLETAS	35
2.4	DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA ACV DE EDIFICAÇÕES	37
3	ACV NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS..	39
3.1	PROCESSO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS.....	39
3.1.1	Programa de necessidades ou Programa arquitetônico	42
3.1.2	Estudos de viabilidade	42
3.1.3	Anteprojeto	43
3.1.4	Projeto básico	43
3.1.5	Projeto executivo	44
3.2	REVISÃO DE ESTUDOS SOBRE A ACV NAS FASES INICIAIS DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES	44
3.2.1	Aplicações da ACV nas fases iniciais de projeto	48
3.2.2	Integração de ACV e BIM no processo de projeto	58

3.3 SÍNTESE DOS ESTUDOS ANALISADOS E OPORTUNIDADES DE PESQUISA SOBRE A ACV NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS	63
4 MÉTODO DE PESQUISA.....	67
4.1 ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DE PESQUISA	67
4.2 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS.....	68
4.3 ESTUDO DE CASO	70
4.4 ASPECTOS DE ACV PARA APLICAÇÃO DA ESTRUTURA METODOLÓGICA NO ESTUDO DE CASO	72
4.4.1 Objetivo e escopo.....	72
4.4.2 Inventário do ciclo de vida (ICV)	75
4.4.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).....	78
4.5 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA METODOLÓGICA POR INSTITUIÇÕES PÚBLICAS	79
5 RESULTADOS.....	82
5.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL	82
5.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL AO ESTUDO DE CASO	89
5.2.1 Resultados para o cenário base de projeto	89
5.2.2 Resultados para os cenários alternativos de projeto.....	94
5.2.3 Análise de sensibilidade	101
5.2.4 Discussão com outros estudos	106
5.3 CONTRIBUIÇÕES DAS AVALIAÇÕES DA ESTRUTURA METODOLÓGICA POR INSTITUIÇÕES PÚBLICAS	111
5.3.1 Questão 1: A etapa de projeto básico é adequada para a inclusão da avaliação de desempenho ambiental?	111
5.3.2 Questão 2: Você considera que o método apresentado é adequado para auxiliar a equipe técnica de órgãos públicos e projetistas, na inclusão da avaliação de desempenho ambiental nos projetos de edifícios públicos?	112

5.3.3	Questão 3: A estrutura metodológica apresentada contempla as informações necessárias para subsidiar a tomada de decisão na escolha de soluções construtivas, considerando o desempenho ambiental no processo de projeto?	113
5.3.4	Questão 4: É necessário incluir alguma informação à estrutura metodológica? ..	113
5.3.5	Questão 5: É necessário excluir alguma informação da estrutura metodológica? ..	114
5.3.6	Questão 6: Você acha necessário detalhar mais as etapas da estrutura metodológica? Se sim, quais?	114
5.3.7	Questão 7: Você considera adequadas as especificações e requisitos apresentados para inclusão da avaliação de desempenho ambiental nos processos de contratação de elaboração de projetos de edifícios públicos?	115
5.3.8	Questão 8: Você tem alguma sugestão, crítica ou comentário adicional sobre a estrutura metodológica apresentada?	115
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
6.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICE A – Composição dos sistemas e elementos construtivos do projeto de edifício público adotado como estudo de caso.....	128
	APÊNDICE B – Itens de projeto excluídos do escopo de aplicação da estrutura metodológica	131
	APÊNDICE C – Inventário do ciclo de vida do cenário base e cenários alternativos.....	141
	APÊNDICE D – Detalhamento da estrutura metodológica e aplicação no estudo de caso	160
	APÊNDICE E – Resultados numéricos da modelagem de ACV para o estudo de caso	165

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

A capacidade do planeta em absorver os impactos ambientais da atividade humana é limitada, considerando que os níveis de consumo nos países industrializados são insustentáveis e a sua continuidade pode esgotar o potencial de recuperação da Terra (SEV, 2009; IPCC, 2021). Esta situação confronta o estabelecido no Relatório de Brundtland, de 1987, que popularizou o conceito de desenvolvimento sustentável como a capacidade de suprir as necessidades presentes sem comprometer a habilidade das futuras gerações em atender as suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987).

As ações antrópicas influenciaram mudanças rápidas e generalizadas em todo o sistema climático global, gerando uma situação sem precedentes, e que segue se agravando. Por exemplo, o aumento observado nas concentrações de Gases de Efeito Estufa (GEE) desde o século XVIII é inequivocadamente promovido pela atividade humana, e continua sofrendo acréscimos até os dias atuais. Em 2019, as concentrações atmosféricas de gás carbônico (CO₂) foram maiores do que, pelo menos, nos últimos 2 milhões de anos. A temperatura global da superfície do planeta continua a subir, a precipitação média global teve uma taxa mais rápida de aumento nas últimas três décadas e foram observadas mudanças significativas nos oceanos, como a alteração da salinidade e acidificação próximo à superfície, aumento do nível médio do mar e o derretimento de geleiras. A mudança climática induzida pelo homem afetou muitos climas e eventos extremos foram verificados com maior frequência nos últimos anos, como ondas de calor, fortes precipitações, enchentes, secas e ciclones tropicais, entre outros (IPCC, 2021).

No Acordo de Paris (2015) foi reconhecida a necessidade de uma resposta eficaz e progressiva à ameaça urgente da mudança climática em nível global. As nações participantes do acordo estabeleceram como objetivo a limitação do aumento da temperatura média global abaixo dos níveis pré-industriais, assumindo o poder desta medida para reduzir significativamente os riscos e impactos das mudanças climáticas. Ainda, se fixou a necessidade de promover fluxos financeiros consistentes com um caminho de baixas emissões

de GEE e de desenvolvimento resiliente ao clima, demandando engajamento de todos os setores da economia.

Neste cenário de esgotamento de recursos naturais, com demanda urgente para implantação de soluções de sustentabilidade, a indústria da construção é a maior consumidora de matérias-primas e representa de 25 a 40% do total de emissões de carbono do planeta. Com o crescimento contínuo da população mundial em áreas urbanas, são identificadas ainda tendências para a ampliação desta indústria, a qual necessita dar uma resposta adequada para tal oportunidade de expansão, tendo em vista os altos impactos ambientais associados à sua cadeia produtiva (WEF, 2016).

A expansão do ambiente construído de forma desordenada e a concentração de edificações nos centros urbanos acarretam diversos impactos ambientais, decorrentes, por exemplo, da falta de infraestrutura completa de serviços, incluindo a indisponibilidade de água potável, de coleta de lixo e de saneamento básico à totalidade da população. Assim, diversos tipos de poluição podem ser gerados, com danos aos ecossistemas e recursos naturais pré-existentes das áreas ocupadas (BHATTA, 2010).

Os edifícios são responsáveis por mais de 40% do uso global de energia e as emissões de CO₂ cresceram a uma taxa de 2,5% ao ano para edifícios comerciais e 1,7% ao ano para edifícios residenciais, no período de 1971 a 2004. A principal fonte destas emissões é o consumo energético, mas as construções também são grandes emissoras de outros gases, como os halocarbonos e hidrofluorcarbonetos, por exemplo, em função dos sistemas de climatização e dos materiais empregados para isolamento térmico. Estimativas apontam que o total de emissões originadas por edificações pode dobrar até 2030, chegando a 15,6 bilhões de toneladas de CO₂ equivalente. Historicamente, a maioria dos impactos é gerada na América do Norte, Europa e regiões da Ásia Central, porém em função dos cenários de alto crescimento, os países em desenvolvimento devem superar as emissões destas regiões em 2030 (UNEP, 2009).

As futuras diferenças nas contribuições para as emissões globais de CO₂ dependem também do processo de transição energética que está em andamento, de forma diversificada entre as nações. Diferentes instrumentos são propostos para descarbonização da produção e uso de energia, o que ainda demanda maiores esforços políticos e o engajamento da sociedade em cada país (LOSEKANN, TAVARES; 2020).

As edificações possuem também uma duração relativamente longa, portanto as ações tomadas no presente continuarão afetando as emissões de GEE pelo menos no médio prazo (UNEP, 2009). Assim, é vital incorporar princípios de sustentabilidade desde as fases iniciais de projeto, nas definições de materiais de construção e sistemas construtivos, cabendo uma análise técnica em cada situação, para escolha da solução que considere o melhor desempenho e menor impacto associado (SEV, 2009; JOHN, 2017).

Nos países desenvolvidos, a maioria dos edifícios que estarão em utilização em 2050 já foram construídos, desta forma as políticas públicas devem encorajar proprietários para reformas que otimizem as reduções de emissões, provenientes principalmente do consumo energético. Nos países em desenvolvimento, medidas para promover a redução das emissões devem ser priorizadas nos estágios de projeto das edificações (UNEP, 2009).

Para fortalecer este processo, os governos devem assumir a liderança, priorizando o setor da construção nas estratégias nacionais de combate às mudanças climáticas, através da inclusão de ferramentas com padrões comparáveis de desempenho energético, dispondo de dados precisos e abrangentes sobre o setor da construção. Devem também desenvolver a capacidade de implementar políticas de eficiência energética e disponibilizar sistemas e estruturas para consultas das informações de desempenho ambiental do setor da construção por todas as partes interessadas (UNEP, 2009).

No contexto brasileiro, a indústria da construção possui representatividade expressiva na economia e em 2019 movimentou R\$ 288 bilhões em obras, incorporações e serviços da construção, através de 125,1 mil empresas, com pagamento de R\$ 56,8 bilhões em salários e remunerações para 1,9 milhão de pessoas. O segmento que mais contribuiu para o valor gerado nesse ano foi o de construção de edifícios, correspondente a R\$ 127,3 bilhões e 44,2% do total dispendido, seguido das obras de infraestrutura (32,2%), e de serviços especializados para construção (23,6%), que englobam as obras de demolição e preparo do terreno, fundações, serviços de instalações elétricas, hidráulicas e demais acabamentos (IBGE, 2021).

Conforme pode-se visualizar na Figura 1, o setor público possui uma participação de 30,3% nas obras e serviços de construção, com uma fatia de 20,5% do total de construção de edifícios, e 17,9% dos serviços especializados para construção. Em relação à 2010, observa-se uma redução da participação do poder público, em decorrência da paralisação de obras importantes e novas modalidades de contratos, como as parceiras público-privadas, além das

restrições orçamentárias impostas nos últimos anos (IBGE, 2021). De qualquer modo, a participação da Administração Pública neste segmento da economia ainda é significativa e pode influenciar os caminhos da indústria da construção nos próximos anos. Portanto, a presente pesquisa é focada nesta fatia representativa do setor da construção no Brasil, tendo em vista a necessidade de inserção de critérios de sustentabilidade e de redução dos impactos ambientais associados à construção de edifícios públicos, os quais já possuem normativas que tratam desta temática.

Figura 1 - Participação do setor público na indústria da construção no Brasil em 2019



Fonte: IBGE (2021).

Desde 2010, no Brasil há instrução normativa que dispõe sobre os requisitos de sustentabilidade ambiental a serem seguidos nas contratações de serviços ou obras no âmbito da Administração Pública Federal. Tal regramento estabelece que as especificações de projetos para contratação de obras devem ser elaboradas visando a economia da manutenção e operacionalização da edificação, a redução do consumo de energia e água, bem como a utilização de tecnologias e materiais que reduzam os impactos associados (BRASIL, 2010).

Em 2012, foi promulgado o Decreto Federal nº. 7.746, o qual estabeleceu a necessidade de atendimento a critérios e práticas sustentáveis nas contratações realizadas pela administração pública federal, inclusive prevendo a elaboração e implementação de planos de gestão de logística sustentável, com racionalização do uso de materiais e serviços (BRASIL, 2012).

Recentemente publicada, a nova Lei de Licitações e Contratos determina também que, desde as fases de estudo técnico preliminar e anteprojeto, as contratações públicas devem observar parâmetros de adequação, considerando os impactos ambientais e respectivas medidas mitigadoras, incluídos requisitos de baixo consumo de energia e de outros recursos, bem como logística reversa para desfazimento e reciclagem de bens e refugos, quando aplicável (BRASIL, 2021).

Além da legislação citada, diversos órgãos da Administração Pública possuem normativas internas e planos próprios de implementação da sustentabilidade, de acordo com a sua área de atuação. Isto se faz necessário, pois quando a Administração Pública atua como consumidora, ou contratante, deve dar o exemplo e priorizar a escolha de matérias-primas que tenham uma melhor relação de ecoeficiência, ou seja, tragam qualidade e reduzam o impacto ambiental e o consumo de recursos (VIGGIANO, 2010). Tal atuação é importante, visto que significativa parcela da indústria da construção é influenciada pela esfera pública e que a sociedade é atingida tanto pelas benfeitorias das obras públicas, como também pelos impactos ambientais decorrentes da escassez dos recursos naturais e dos resíduos gerados (SILVA; FREITAS, 2016).

Neste sentido, o setor público possui a oportunidade de fomentar a sustentabilidade através de edificações mais sustentáveis, considerando, durante a concepção das obras, medidas de redução de impactos relativas a todas as etapas de implantação e uso de cada edificação. Para tanto, é necessário que os profissionais técnicos envolvidos no gerenciamento dos projetos e obras, assim como os gestores públicos, estejam dispostos a mudar os padrões existentes, gerando inovação e promovendo as intervenções necessárias para criar um novo paradigma nas edificações públicas, agregando a dimensão da sustentabilidade (SILVA; FREITAS, 2016).

Uma técnica que permite identificar oportunidades para a melhoria em vários estágios do ciclo de vida de um produto, ou edificação, é a avaliação do ciclo de vida (ACV), a qual também pode subsidiar o processo de tomada de decisões de indústrias e nas organizações governamentais, além de auxiliar na seleção de indicadores de desempenho ambiental. A ACV é considerada adequada para decisões baseadas em aspectos ambientais e possui uma perspectiva sistêmica, pois considera todo o ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o fim de vida e a disposição final do produto avaliado (ABNT, 2009a).

O setor público pode liderar a utilização da ACV para formação de requisitos de sustentabilidade e como política pública, entretanto são necessárias ainda melhorias na sua metodologia de aplicação, assim como na sua padronização e simplificação (COELHO FILHO et al., 2016). Soluções para superar tais desafios devem ser buscadas especialmente para que esta técnica possa ser utilizada no processo de projeto de obras públicas, o qual possui etapas que demandam o engajamento de diversas partes interessadas (TCU, 2014).

Dado este contexto, esta pesquisa é justificada pela necessidade urgente de redução de impactos ambientais no setor da construção e, no cenário brasileiro, pela imposição da legislação aplicável para adoção de critérios de sustentabilidade nas contratações de obras públicas, as quais representam uma parcela significativa da indústria da construção brasileira. Para tanto, a aplicação da ACV no desenvolvimento de uma estrutura metodológica voltada para edifícios públicos pode fomentar a consideração de critérios de sustentabilidade durante a elaboração de projetos, auxiliando projetistas e equipes técnicas de instituições públicas envolvidas na fiscalização de projetos na mitigação dos impactos ambientais associados a cada edificação.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Embora a legislação brasileira determine que a Administração Pública deva adotar de critérios de sustentabilidade na concepção e operação de suas edificações, na prática estas ações ainda são limitadas e necessitam de melhorias. Em 2017, o Tribunal de Contas da União (TCU) realizou uma ampla auditoria para verificar o nível de implementação das ações de sustentabilidade pela administração pública federal, realizada junto a mais de 100 instituições. Para isso, foi criado o Índice de Acompanhamento da Sustentabilidade da Administração (IASA), definido como a média de onze eixos temáticos, envolvendo, por exemplo, a elaboração, implementação e monitoramento de plano de gestão de logística sustentável, racionalização no uso de água e energia elétrica, certificação de prédios públicos, atendimento a requisitos de acessibilidade, gestão de resíduos e coleta seletiva, contratações públicas sustentáveis e a adesão a programas de sustentabilidade. Foi definida uma escala de avaliação de 0 a 3 para o IASA, sendo 3 a nota que representa o melhor desempenho. A nota média obtida pelas instituições analisadas foi de 1,64, o que enquadra o desempenho da administração pública em nível intermediário, demandando atenção para que as ações alcancem uma faixa superior na avaliação. As principais constatações da auditoria revelam

que o nível de sustentabilidade verificado decorre de falhas estruturais, como deficiências de atuação no nível central de governo, baixa evolução na adoção de práticas sustentáveis nas contratações, nível incipiente de implementação de ações que visem à utilização de edifícios públicos mais eficientes e sustentáveis, e deficiências nas iniciativas relacionadas à gestão de resíduos e coleta seletiva (TCU, 2017).

Entre as ferramentas para verificar o nível de implementação da sustentabilidade nas edificações estão os sistemas de certificação ambiental, como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), que é uma certificação originada dos Estados Unidos da América, utilizada em 165 países. O LEED possui 4 categorias de avaliação, que consideram diferentes necessidades para cada tipo de empreendimento, com o intuito de incentivar a transformação dos projetos, obras e operação das edificações, com o foco na sustentabilidade de suas atuações. De todos os países em que este sistema é utilizado, o Brasil está na 4ª. posição no número de projetos certificados. Porém, do total de edifícios brasileiros certificados pelo LEED, apenas 1,39% são edificações públicas (GBCBRASIL, 2021).

Uma iniciativa nacional de certificação ambiental é o Selo Procel Edificações, outorgado pela Eletrobras, que foi estabelecido em 2014 e possui como objetivo principal identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética. Para obter este selo, é recomendado que a edificação seja concebida de forma eficiente desde a etapa de projeto, em que é possível obter melhores resultados com menores investimentos, podendo chegar até 50% de economia. A metodologia de avaliação da conformidade para obtenção da certificação baseia-se no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) do Programa Brasileiro de Edificações (PBE Edifica). Porém, a aplicação desta certificação ainda é limitada, sendo que até 2020, apenas 61 certificações foram emitidas para a categoria de edificações comerciais, de serviços e públicas, incluindo projeto ou edifício construído. Deste montante, 42% se referem a certificações de projetos ou edificações públicas (PROCEL, 2021).

Desta forma, verifica-se que a Administração Pública ainda está longe de atender os requisitos de sustentabilidade estabelecidos na legislação vigente para as edificações públicas, bem como de utilizar a influência da sua representatividade no setor da construção brasileiro para promover ações de sustentabilidade no ambiente construído. Apesar das imposições legais referentes à sustentabilidade, há também uma lacuna existente, relacionada à falta de

requisitos de desempenho a serem cumpridos na Administração Pública, de forma objetiva. Para alterar o cenário atual, o desenvolvimento de ferramentas e a simplificação de técnicas de avaliação de desempenho ambiental podem auxiliar projetistas e gestores públicos a incluir critérios de sustentabilidade de forma prática e embasada cientificamente nos projetos de edificações.

De modo complementar, o processo de projeto de edificações em organizações públicas possui especificidades que o tornam diferenciado em relação aos empreendimentos do setor privado. Isto se deve, por exemplo, em relação à legislação aplicada, como a Lei de Licitações e Contratos, normativas sobre acessibilidade, requisitos de maior nível de detalhamento dos documentos que compõem os projetos, além de exigências de qualidade e sustentabilidade. Apesar de diversas destas características poderem ser observadas nos empreendimentos do setor privado, não há o caráter da obrigatoriedade a que são submetidas as obras de edifícios públicos (BRETAS, 2010).

Por outro lado, a ACV se destaca como técnica reconhecida internacionalmente e que vem sendo utilizada para subsidiar a tomada de decisão baseada em critérios ambientais, cobrindo todos os estágios do ciclo de vida do produto avaliado (SCHULTZ et al., 2016), além de possuir normatização vigente em âmbito nacional, estabelecendo os requisitos de sua aplicação de forma abrangente (ABNT, 2009a). Tais características a diferenciam de certificações ambientais oriundas do mercado privado, ou até mesmo do setor público, como o caso do Selo Procel Edificações, mais voltado à eficiência energética. Desta forma, quando comparada a outras técnicas, a ACV pode ser utilizada para a avaliação de desempenho ambiental no setor público de forma isonômica e independente, por não possuir vinculação a nenhum programa de certificação, cobrir de forma completa o ciclo de vida das edificações e por se respaldar em critérios normativos que disciplinam o seu emprego.

Contudo, apesar de ser uma das técnicas mais promissoras para a avaliação de desempenho ambiental, a ACV ainda possui algumas limitações relacionadas à aplicação em edificações, como, por exemplo, a complexidade que envolve os edifícios, com muitas particularidades para cada caso, diferentes sistemas construtivos, tempo de vida útil, materiais utilizados, localização e tipologias de construção. A variação destes parâmetros restringe a capacidade de comparar resultados de diferentes estudos de caso (BAHRAMIAN, M.; YETILMEZSOY, K., 2020).

Por isso, há urgência em buscar alternativas para simplificar o processo de elaboração da ACV e padronizar resultados, visando a comparabilidade, sendo que a investigação de métodos nesse sentido se apresenta como um desafio a ser superado (ANAND; AMOR, 2017). O aspecto dinâmico da operação e manutenção dos edifícios também deve ser considerado na simplificação do processo de elaboração da ACV, com a utilização dos recursos tecnológicos possíveis, a fim de se obter resultados de ACVs mais abrangentes e confiáveis (FNAIS et al., 2022).

Os maiores benefícios da ACV para a avaliação de edifícios são percebidos quanto mais cedo a técnica é utilizada no processo de projeto, subsidiando a tomada de decisão na escolha de soluções construtivas. Porém, a ACV é comumente utilizada em etapas finais do planejamento ou nos estágios de uso e operação das edificações (JUSSELME et al., 2018). Apesar dos dados disponíveis nas fases iniciais de projeto serem limitados, verifica-se a necessidade de desenvolvimento de métodos que propiciem a utilização da técnica de forma simplificada e sistemática por projetistas, tendo em vista a potencial redução de impactos ambientais no ciclo de vida das edificações através desta medida (FALUDI et al., 2012; ROBERTS et al., 2020).

Portanto, o problema desta pesquisa está centrado principalmente nas seguintes demandas: (i) a necessidade de considerar critérios de desempenho ambiental no processo de tomada de decisão de projetos de edifícios públicos; e (ii) a escassez de estruturas metodológicas, sistemáticas e padronizadas, a partir da técnica de ACV, nas fases iniciais de projeto, visando a redução de impactos ambientais no ciclo de vida de edificações, no contexto brasileiro.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver um procedimento metodológico para estimar potenciais impactos ambientais do ciclo de vida de edifícios públicos brasileiros, utilizando a técnica de ACV na comparação de soluções construtivas, para consideração do desempenho ambiental na tomada de decisão durante o processo de projeto.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Identificar, dentro do processo de projeto de edifícios públicos, a etapa mais adequada para aplicação da estrutura metodológica;

- Desenvolver um *framework* para padronização da avaliação de desempenho ambiental, criando um fluxo de trabalho com organização das etapas e dados necessários, assim como os critérios mínimos para sua aplicação, em alinhamento às normativas de ACV;
- Aplicar a estrutura metodológica em um estudo de caso, e avaliar a distribuição dos impactos ambientais pelos estágios do ciclo de vida, nos sistemas construtivos e materiais, com a definição de soluções alternativas, visando a redução dos impactos associados;
- Avaliar a sensibilidade relacionada à influência dos parâmetros definidos nos cenários de projeto do estudo de caso sobre os resultados obtidos;
- Verificar a adequação da estrutura metodológica aos processos de contratação e elaboração de projetos de edificações, mediante consulta às áreas técnicas de instituições públicas.

1.4 DELIMITAÇÕES

Para a realização deste trabalho, foram estabelecidas as seguintes delimitações:

- a) A aplicação da estrutura metodológica foi restrita a um estudo de caso e a definição de cenários alternativos de soluções construtivas foi realizada de acordo com os pontos críticos de impactos do cenário base de projeto, voltada para 2 sistemas construtivos, cada um com 3 cenários alternativos, em função do prazo para conclusão deste estudo;
- b) Os dados da modelagem de ACV foram adaptados apenas parcialmente para o contexto regional, embora tenha se priorizado o uso de dados nacionais, quando disponíveis;
- c) São analisados apenas os componentes dos sistemas construtivos para os quais foram encontrados processos equivalentes nas bases de dados utilizadas para a modelagem de ACV, sendo aplicados critérios de corte ao projeto do estudo de caso;
- d) Para a definição dos períodos de vida útil da edificação e dos sistemas construtivos, foi considerada a norma de desempenho de edificações residenciais, NBR 15575:2021, por ser a única referência vigente em âmbito nacional.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está estruturada em 6 capítulos. O presente capítulo descreve o contexto do estudo, assim como a justificativa e o problema de pesquisa que originaram os objetivos formulados. São citadas as principais delimitações, a serem detalhadas ao longo do trabalho.

O capítulo 2 contempla a revisão bibliográfica sobre a ACV, com conceitos e requisitos para sua utilização no setor da construção. É abordada a aplicação da técnica no estudo de edificações completas e quais são os principais desafios e limitações da ACV de edificações.

No capítulo 3 é descrito o processo de projeto de edificações públicas e as etapas mínimas que o compõem. Também consta uma revisão de estudos sobre a ACV nas fases iniciais de projeto, incluindo uma revisão sistemática de literatura, com a descrição do protocolo adotado, a análise das principais abordagens encontradas e os métodos existentes. Os estudos são sintetizados e são identificadas as oportunidades de pesquisa sobre a ACV no processo de projeto de edificações públicas.

O capítulo 4 contém o método de pesquisa, com o detalhamento da estratégia e delineamento da pesquisa. São relacionados os critérios adotados para o desenvolvimento da estrutura metodológica a ser proposta, a identificação do estudo de caso, além dos aspectos relativos à técnica de ACV para aplicação da estrutura metodológica no estudo de caso. São também descritos os procedimentos adotados para a avaliação do estudo por instituições públicas.

Os resultados desta pesquisa constam no capítulo 5, com a apresentação da versão final da estrutura metodológica e suas ferramentas auxiliares, os resultados da sua aplicação no estudo de caso, incluindo uma análise de sensibilidade e a discussão com outros estudos da literatura. São também apresentadas as contribuições recebidas das análises da estrutura metodológica pelas equipes técnicas de instituições públicas.

No capítulo 6 são apresentadas as considerações finais, com ponderações sobre as contribuições deste estudo, e são propostas sugestões para trabalhos futuros.

2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

2.1 PRINCIPAIS CONCEITOS ABORDADOS NO DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

Os métodos orientados para o ciclo de vida foram precursores da ACV e começaram a ser desenvolvidos na década de 1960, nos Estados Unidos e na Europa, em colaboração entre universidades e a indústria. A técnica de ACV foi normatizada na década de 1990, com a evolução de muitos métodos de avaliação de impacto e, desde então, a ambição tem sido quantificar todos os impactos ambientais relevantes de cada produto avaliado. A modelagem de sistemas de produtos cada vez mais complexos e a proliferação de dados de inventários criaram a necessidade dos primeiros *softwares* dedicados à ACV, lançados na década de 1990. No século XXI, os métodos de avaliação de impacto foram continuamente refinados, várias metodologias surgiram e são atualizadas com frequência. Esta técnica possui menos de 30 anos de intenso desenvolvimento, sendo que a sua metodologia e os campos de aplicação foram amadurecendo e se expandindo no sentido de surgir consensos e padrões científicos sobre a sua forma de utilização (BJØRN et al., 2018).

No Brasil, o pensamento do ciclo de vida evoluiu rapidamente nos últimos 10 anos, como resultado do comprometimento das partes interessadas dos setores público e privado. Alavancado em instituições de pesquisa, esse avanço foi possível pela contribuição de outros fatores-chave, como o lançamento do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV), liderado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), com o objetivo de disseminar o pensamento do ciclo de vida no contexto brasileiro, abordando questões como a regionalização de métodos de avaliação de impacto e inventário do ciclo de vida. Em 2015, o IBICT lançou o Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV Brasil) e atua nas diretrizes de qualidade de dados para submissão. No setor privado, a criação da Rede Empresarial Brasileira de ACV (REBACV) revelou o engajamento e crescente interesse de empresas privadas em aplicar a ACV como uma técnica para abordar a sustentabilidade de seus produtos, demonstrando o crescimento do tema no contexto nacional (UGAYA et al., 2017).

Nos subitens a seguir são apresentados conceitos relacionados à técnica de ACV, os quais são abordados ao longo do desenvolvimento do trabalho, com pertinência para o desenvolvimento da estrutura metodológica proposta.

2.1.1 Estrutura da ACV

Internacionalmente, as normas NBR ISO 14040 e NBR 14044 (ABNT 2009a, 2009b) descrevem os princípios e a estrutura para condução de estudos de ACV, estabelecem requisitos e orientações metodológicas. A estrutura de uma ACV é composta por quatro fases, que incluem a definição de objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impacto e interpretação.

O objetivo da ACV deve conter a aplicação pretendida, as razões para a execução do estudo, o público-alvo, e informações quanto a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas a serem divulgadas publicamente. No escopo, deve ser descrito o sistema de produto estudado e as suas funções, a unidade funcional, fronteira do sistema, categorias de impacto selecionadas, a metodologia para avaliação de impactos, requisitos de dados, limitações, entre outros itens, de forma que possa ser assegurada a abrangência, profundidade e o detalhamento do estudo. A análise de inventário envolve a coleta de dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto, compreende um processo iterativo, com revisão dos procedimentos de coletas de dados, de forma a atender objetivo e o escopo. A fase de avaliação de impacto estuda os significados dos impactos ambientais potenciais, através dos resultados do inventário, e fornece informações para a interpretação dos resultados (ABNT, 2009a).

Na fase de interpretação da ACV, as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto são consideradas conjuntamente, fornecendo resultados que sejam consistentes com o objetivo e escopo definidos, de forma a permitir conclusões, explicar limitações e prover recomendações (ABNT, 2009a).

2.1.2 Análise de incerteza

A análise de incerteza é definida como um procedimento sistemático para quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida em função da imprecisão dos modelos, incerteza das entradas e variabilidade dos dados, podendo ser utilizadas nesta análise tanto distribuições de probabilidade quanto faixas de probabilidade (ABNT, 2009a).

A incerteza é uma propriedade inerente aos dados, modelos e escolhas que são necessárias ao conduzir uma ACV, podendo ser originada de diversas fontes. A sua avaliação pode ser útil quando utilizada para melhorar e interpretar os resultados de uma ACV. Alguns tipos de

incertezas podem ser quantificáveis, enquanto outros não, mas todos precisam ser considerados ao interpretar e discutir resultados e a robustez de uma conclusão. Para ser realizada de forma satisfatória, este tipo de análise deve ser respaldado por ferramentas adequadas para análise de contribuição de incertezas e comparações de cenários, possibilitar a propagação das incertezas de entrada para modelagem das incertezas de saída, além de prover conhecimento sobre interpretação e comunicação das informações de incerteza mais relevantes (ROSENBAUM et al., 2018).

2.1.3 Análise de sensibilidade

O objetivo de uma análise de sensibilidade é estimar os efeitos das escolhas realizadas em termos de métodos e dados nos resultados de um estudo de ACV, ajustando os principais parâmetros para verificar como isso afeta os resultados finais. Está incluída na etapa de interpretação do estudo e geralmente é utilizada em conjunto a abordagens complementares, como a análise de incerteza. A análise de sensibilidade pode ser considerada como um método alternativo para avaliar a incerteza em afirmações comparativas, possibilitando também avaliar uma faixa de variação dos resultados de um estudo de ACV. Frequentemente, esta análise é utilizada para melhorar a probabilidade dos processos de tomada de decisão (ABNT, 2009a; EEBGUIDE, 2011).

2.2 A ACV NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

A redução de impactos ambientais no setor da construção está recebendo mais atenção de pesquisadores e da indústria, a partir do desenvolvimento de marcos regulatórios para facilitar a implementação da avaliação de desempenho ambiental de edificações, com maior importância ao pensamento do ciclo de vida. Para edifícios completos, a ACV pode auxiliar na definição de pontos críticos de impactos ambientais e indicar as ações prioritárias a serem tomadas (BUYLE et al., 2013; CASTRO et al., 2018).

O número de publicações relacionadas ao tema aumentou substancialmente na última década e os estudos concentram-se na área de energia incorporada, na integração da ACV com certificações ambientais e com o *Building Information Modeling* (BIM). Outro tema recorrente é o consumo energético nos estágios de uso e operação de edificações, principalmente pela necessidade de climatização artificial. Como consequência, novas abordagens de projeto estão surgindo, com foco em eficiência energética, redução do

consumo de água e maior atenção para o desenvolvimento de projetos inteligentes (ANAND; AMOR, 2017).

As aplicações da ACV na construção podem ser divididas em diferentes tipos de edificações, e em escalas diversas, desde edificações completas a materiais e insumos, podendo considerar também as abordagens de avaliação do ciclo de vida energético da edificação, a avaliação do custo do ciclo de vida (ACCV) e a avaliação do desempenho social das construções. Porém, ainda há um número limitado de estudos que enfoquem no uso da técnica na América do Sul, sendo as publicações concentradas em países desenvolvidos (CABEZA et al., 2014).

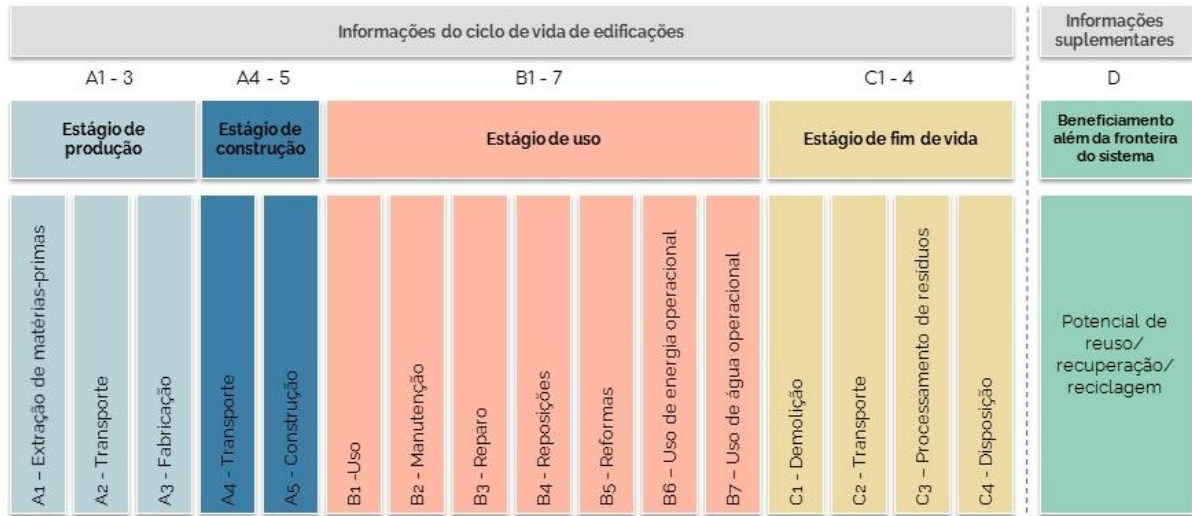
As pesquisas apresentam dificuldade em permitir comparações, em função das propriedades específicas de cada caso, como, por exemplo, as diferenças entre o escopo, tipo de construção, clima, requisitos de conforto, período de vida útil, a unidade funcional e as fronteiras de cada sistema considerado (GOLDSTEIN; RASMUSSEN, 2018).

2.2.1 O ciclo de vida das edificações

Em nível internacional, as normas europeias EN 15978:2011 e EN 15804:2013 tratam especificamente da ACV no setor da construção. A EN 15978:2011 fornece regras de cálculo para avaliação do desempenho ambiental de projetos de reforma e de edifícios novos e existentes. São apresentados requisitos para a descrição do objeto de avaliação, definição da fronteira do sistema, indicadores considerados e respectivos procedimentos de cálculo, assim como os meios para relatar e comunicar os resultados de cada avaliação de sustentabilidade (CEN, 2011).

De acordo com a EN 15978:2011, o ciclo de vida de uma edificação pode ser dividido em quatro estágios: o estágio de produto, com a extração de matérias-primas, transporte e fabricação (módulos A1 – A3); o processo de construção (módulos A4 – A5); o estágio de uso da edificação, que compreende também manutenções, reparos, reposições e reformas (módulos B1 – B7); e o estágio de fim de vida, com a desconstrução ou demolição do edifício, transporte, processamento e disposição de resíduos (módulos C1 – C4), conforme a Figura 2. Além da fronteira do sistema, há um estágio complementar de beneficiamento (módulo D), que contempla o reuso, recuperação e reciclagem de materiais ou sistemas da edificação (CEN, 2011).

Figura 2 - Estágios do ciclo de vida de uma edificação conforme a EN 15978:2011



Fonte: Adaptado de CEN (2011).

A EN 15804:2013 estabelece as regras e requisitos para a elaboração de declarações ambientais de produtos (DAP), aplicáveis a qualquer produto ou serviço no setor da construção. São descritos os estágios do ciclo de vida a serem considerados e os respectivos processos necessários, definidas as regras para desenvolver cenários, calcular o inventário do ciclo de vida e para avaliar os impactos ambientais. A abordagem de uma ACV pode possuir diferentes limites de fronteira do sistema, porém deve contemplar pelo menos os módulos A1, A2 e A3, estabelecidos como mandatórios, sendo, neste caso, o escopo definido como do berço ao portão da fábrica. Quando adicionados outros estágios do ciclo de vida, o escopo denomina-se do berço ao portão com opções. Para uma abordagem que contemple todos os estágios do ciclo de vida do produto ou edificação, ou seja, do módulo A1 ao C4, o escopo é do berço ao túmulo, podendo ainda ser incluído o módulo D complementar (CEN, 2013).

2.2.2 Avaliação de impacto do ciclo de vida de edificações

A primeira metodologia que passou a cobrir um conjunto abrangente de categorias de impacto ambiental foi a CML, lançada em 1992 pelo Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, na Holanda, e com posteriores atualizações, se tornando um dos métodos cujo uso é difundido e reconhecido internacionalmente. Durante o aperfeiçoamento das aplicações da ACV, a constatação de que pode haver diferenças significativas nos riscos ambientais das emissões individuais e na sensibilidade do meio ambiente que recebe os impactos, levou ao lançamento de novos métodos de avaliação de impactos diferenciados, cobrindo impactos em escalas não-globais, como a eutrofização e a acidificação. Nas duas últimas décadas, também houve maior atividade voltada aos métodos de avaliação de impacto relacionados à extração,

como o uso de água e solo, em função da globalização do processo produtivo e o maior foco em produtos de base biológica na ACV (BARROS, 2016; BJØRN et al., 2018).

A década de 1990 também viu o nascimento de uma série de bancos de dados de inventário de ciclo de vida gerenciados por diferentes institutos e organizações e cobrindo diferentes setores industriais. Em função de divergências nos padrões de dados e qualidade, a utilização de um recurso e as emissões de um único processo industrial podiam apresentar diferenças substanciais entre as bases de dados, sendo que o foco era a expansão da cobertura das bases, porém para muitos processos, os dados eram escassos. Tal situação foi melhorada em 2003 com o lançamento do primeiro banco de dados *Ecoinvent* (1.01), cobrindo todos os setores industriais e visando padrões de dados e qualidades consistentes (BJØRN et al., 2018).

Uma diferença fundamental entre a avaliação de impacto do ciclo de vida e outras técnicas é a sua vinculação com uma determinada unidade funcional, que corresponde ao desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como uma unidade de referência (ABNT, 2009a). Este tipo de avaliação diz respeito à capacidade de considerar os efeitos reais sobre os seres humanos, ecossistemas e recursos naturais, podendo variar o seu nível de influência através de uma escala, que pode ser local, regional ou global (MATTHEWS et al., 2015).

Há dois tipos de categorias de impacto ambiental, com indicadores em dois níveis diferentes para uma avaliação ambiental: os indicadores de ponto médio (*midpoint*) e os de ponto final (*endpoint*). Quando a avaliação de impacto se baseia em indicadores de *midpoint*, são reunidos os resultados do inventário em grupos de fluxos de substâncias que possuem a capacidade de contribuir para o mesmo efeito ambiental, embora ainda não em caráter final de análise, em preparação para uma avaliação mais detalhada dos impactos potenciais, aplicando fatores de caracterização. Tal classificação pode ser reportada como um resultado propriamente dito, ou pode servir como preparação para a caracterização mais detalhada dos impactos, no nível *endpoint*. Os indicadores de *endpoint* são escolhidos mais ao final da cadeia da avaliação ambiental, estando relacionados diretamente às áreas de proteção de defendem os interesses da sociedade em relação à saúde humana, ecossistemas ou funções de suporte à vida planetária, incluindo serviços e recursos ecossistêmicos, por exemplo (ROSENBAUM et al., 2018).

No setor da construção, a EN 15804:2013 estabelece as categorias de impacto a serem avaliadas, em nível *midpoint*, conforme apresentado no Quadro 1, além dos respectivos fatores de caracterização. Nesta dissertação, as siglas das categorias de impacto serão citadas de acordo com a normativa de referência, em língua inglesa, em alinhamento também com demais estudos verificados na literatura internacional.

Quadro 1 - Categorias de impacto *midpoint* conforme o método CML

Sigla	Categoria de impacto	Unidade	Escala
GWP	Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq.	Global
ODP	Potencial de depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq.	Global
AP	Potencial de acidificação de solo e água	kg SO ₂ eq.	Regional, Local
EP	Potencial de eutrofização	kg (PO ₄) ³⁻ eq.	Local
POCP	Potencial de formação de ozônio fotoquímico	kg Etileno eq.	Local
ADP _f	Potencial de depleção de recursos abióticos – combustíveis fósseis	MJ	Global, Regional, Local
ADP _{nf}	Potencial de depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis	kg Sb eq.	Global, Regional, Local

Fonte: Adaptado de EN 15804 (CEN, 2013) e Matthews et al. (2015).

O GWP foi utilizado inicialmente como um conjunto de gases que representa forças radioativas e potenciais de aquecimento global, comparado com o CO₂ e integrado a um horizonte de tempo escolhido. Amplamente utilizado como uma métrica padronizada, por concentrar emissões de GEE em uma unidade comum, está relacionado às mudanças climáticas, com impactos nos ecossistemas e atividades humanas em nível global (IPCC, 2014).

O EP está relacionado ao desequilíbrio na disponibilidade de nutrientes derivados de nitrogênio e fósforo, e decorre do enriquecimento do ambiente aquático com sais nutrientes que aumentam a produção de biomassa de algas, resultando na degradação da qualidade da água, no desenvolvimento de substâncias tóxicas e na redução da biodiversidade. Em sistemas terrestres, o problema ambiental mais significativo relacionado à eutrofização é a mudança na função e composição das espécies de ecossistemas limitados em nitrogênio, em função da deposição atmosférica de compostos deste elemento (ROSENBAUM et al., 2018).

O AP é originado por gases que causam deposição de ácidos que incluem amônia (NH₃), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x), no fenômeno conhecido como “chuva

ácida”, podendo causar o comprometimento de ecossistemas em vários graus (ACERO et al., 2016).

O ODP corresponde à redução da camada de ozônio na estratosfera, decorrente do uso humano de substâncias denominadas clorofluorcarbonos (CFCs). A camada de ozônio, entre outras funções, impede que os raios ultravioletas atinjam o solo, preservando a vida vegetal e marinha e evitando impactos como o câncer de pele. Embora tenha havido um esforço mundial nos últimos 30 anos para redução da emissão de substâncias relevantes para este impacto, não houve engajamento de todos os países, e as substâncias impactantes não foram eliminadas (MATTHEWS et al., 2015).

O POCP aborda os impactos do ozônio e outros compostos reativos de oxigênio, formados como contaminantes secundários na troposfera pela oxidação dos compostos orgânicos voláteis (COV) de contaminantes primários, ou monóxido de carbono na presença de óxidos de nitrogênio (NOx) sob a influência da luz (ROSENBAUM et al., 2018).

As categorias de ADPf e ADPnf referem-se ao consumo de recursos não biológicos como combustíveis fósseis, minerais, metais e água. O valor do consumo de recursos abióticos mede a escassez de uma substância, ou seja, depende da quantidade de recursos disponíveis e da taxa de extração (ACERO et al., 2016). A principal problemática desta categoria está relacionada ao esgotamento ou dissipação de recursos para as gerações futuras (ROSENBAUM et al., 2018).

Com a utilização de dados destas categorias de impactos ambientais, a ACV em edifícios pode ser utilizada para comparar diferentes opções de forma, projeto, sistemas construtivos, ou o edifício em um único nível. As comparações são realizadas com os impactos potenciais de soluções alternativas de projeto ou os resultados comparados a um desempenho de uma tipologia padrão na qual o edifício se enquadra. Os impactos ambientais durante o estágio de uso de edificações, via de regra, são dominantes, embora as cargas ambientais mudem para outros estágios do ciclo de vida com o aumento de ações de eficiência operacional. O tipo de abordagem metodológica de ACV, como atribucional ou consequential, também impacta diretamente nos resultados finais de uma avaliação. Os avanços recentes da aplicação da ACV na construção estão na busca pela padronização dos procedimentos de cálculo da ACV e nas intervenções nos estágios iniciais de projeto (MARJABA; CHIDIAC, 2016; GOLDSTEIN; RASMUSSEN, 2018).

2.3 ACV DE EDIFICAÇÕES COMPLETAS

A ACV de edifícios completos é uma técnica cuja importância vem crescendo continuamente na indústria da construção, como forma confiável de avaliar os impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. A maioria dos profissionais que utilizam a técnica com este escopo visa à obtenção de certificações ambientais, e indica que a integração do BIM na automação dos cálculos de ACV permitirá que a técnica seja utilizada de forma cada vez mais eficaz no processo de projeto, com mapeamento de materiais com maiores impactos associados. Algumas estruturas de certificação ambiental também vêm promovendo a adoção de sistemas integrados de ACV e da ACCV, o que possibilita uma análise ambiental e financeira das opções de projeto (CASTRO et al., 2018).

Quando considerada toda a edificação no escopo de uma ACV, as contribuições de diferentes produtos, processos e estágios do ciclo de vida se tornam mais claras para os impactos ambientais e pontos críticos podem ser mais bem identificados. Os resultados tendem a revelar mais sobre o conceito geral da construção, devendo ser observadas as variações para cada estudo em relação a propriedades dos sistemas construtivos, área, localização, métodos de avaliação de impactos, entre outros. Este tipo de estudo pode identificar tendências e dar maior suporte, com dados mais abrangentes, ao processo de tomada de decisão no ciclo de vida das edificações (BUYLE et al., 2013).

Em abrangente revisão sistemática sobre estudos de ACV em edificações completas não-residenciais, Saade et al. (2020) investigaram se alguns pressupostos ambientais tomados como paradigma se confirmam na prática, além de rastreamento das escolhas metodológicas adotadas nesta área de pesquisa. A análise de estudos de caso apontou que a aplicação da ACV a edifícios inteiros incorpora modelos matemáticos aprofundados, com resultados menos previsíveis. Os autores concluem que paradigmas ambientais devem ser interpretados com cuidado, pois as percepções fixas em relação a desempenho ambiental dos edifícios nem sempre são confirmadas, ou seja, entendimentos pré-definidos sobre resultados de desempenho ambiental podem não ser confirmados, quando consideradas as características específicas de cada projeto na modelagem de ACV (SAADE et al., 2020).

Quanto às escolhas metodológicas, o estudo não considerou restrição temporal na revisão sistemática e verificou uma tendência de crescimento de pesquisas na área a partir de 2011. Para ACV típica de edifícios inteiros, com amostra de 223 estudos de caso, a unidade

funcional mais utilizada foi 1 m² de área útil (53%), sendo a segunda mais adotada o edifício inteiro (24%). O banco de dados mais utilizado foi o *Ecoinvent* (43%), cerca de 56% dos estudos consideraram como escopo todo o ciclo de vida e a vida útil foi considerada em 50 anos para a maior parte das edificações (SAADE et al., 2020).

A partir de revisão de literatura conduzida para fornecer uma visão abrangente sobre a ACV de edifícios comerciais e residenciais em relação a sua altura, Bahramian e Yetilmezsoy (2020) analisaram as publicações dos últimos 20 anos, e verificaram que edifícios baixos (1 a 5 pavimentos) foram objeto de estudos duas vezes mais numerosos que os encontrados para edifícios altos (mais de 5 pavimentos). Os autores identificaram também que 60% dos edifícios altos estudados eram comerciais, enquanto 70% dos edifícios baixos referiam-se ao uso residencial. Os estágios de fabricação e uso foram os mais estudados e a tipologia dos edifícios possui efeito significativo nas demandas de energia e no impacto GWP. Por exemplo, estruturas de concreto e aço tendem a demandar mais energia incorporada e operacional em comparação às estruturas de madeira. O estudo reforça que a ACV tem se demonstrando uma técnica abrangente para entender o desenvolvimento de critérios de sustentabilidade ambiental de edifícios (BAHRAMIAN, M.; YETILMEZSOY, K., 2020).

Hasik et al. (2019) desenvolveram uma estrutura para a avaliação quantitativa de desempenho ambiental e resiliência durante as fases iniciais de projeto de edificações completas, reunindo várias metodologias, entre elas a ACV. Os resultados reforçam a importância do consumo energético no estágio de uso, e evidenciaram a influência do tipo de fonte de energia para os impactos. Com a utilização de painéis fotovoltaicos, por exemplo, os impactos relacionados à energia são significativamente reduzidos e as cargas remanescentes se transferem para os recursos hídricos e impactos da produção de materiais, acarretando principalmente nas categorias de GWP, ODP e EP. Outros aspectos, como tipo do sistema de cobertura, tipo de tratamento de esgoto, esquadrias e materiais do sistema estrutural também tiveram influência significativa de forma individual em algumas categorias de impacto. O estudo conclui que a exploração de uma gama mais ampla de sistemas construtivos, materiais, análises de sensibilidade e a regionalização de dados utilizados podem auxiliar na melhoria do processo de tomada de decisão na fase de projeto de edificações completas (HASIK et al., 2019).

Em atenção às fases de projeto, Faludi et al. (2012) investigaram a aplicação da ACV para determinar as principais tomadas de decisão de projeto em um edifício pré-fabricado com alta

eficiência energética na Califórnia, considerando diferentes cenários e todos os estágios do ciclo de vida. Os resultados mostraram que, mesmo utilizando técnicas avançadas de pré-fabricação e geração própria de 30% da energia, através de sistema fotovoltaico, o consumo de energia ainda representa mais de 60% dos impactos do ciclo de vida. No entanto, quando o edifício se aproxima da energia líquida zero, os maiores impactos remanescentes referem-se às escolhas dos materiais de construção. O estudo demonstrou que decisões de projeto podem ser racionalmente priorizadas e direcionadas com o auxílio da ACV, a partir da modelagem de cenários com diferentes materiais (FALUDI et al., 2012).

Quanto à padronização e comparação de estudos de ACV de edificações completas, o BIM pode auxiliar a reduzir diferenças entre resultados de *softwares* diversos para uma mesma ACV. É necessária também a ampliação de referências governamentais, com bancos de dados mais completos e métodos de cálculo padronizados. Os *softwares* devem apresentar interfaces transparentes para uso dos profissionais que conduzem a ACV, de modo que possam mais facilmente validar e controlar os parâmetros de entrada, além da possibilidade das plataformas serem adaptáveis às necessidades individuais dos projetos (SCHULTZ et al., 2016).

2.4 DESAFIOS E LIMITAÇÕES DA ACV DE EDIFICAÇÕES

A pesquisa de ACV na construção apresenta rápido crescimento e é realizada em diversas áreas, desde o campo de materiais até a avaliação de toda a edificação. Entretanto, a literatura apresenta desafios e oportunidades de pesquisa para a ACV de edifícios. Por exemplo, destacam-se a necessidade de padronização de unidades funcionais, permitindo comparações; pesquisas no nível de edificações completas, área com poucos dados existentes; e a criação de procedimentos para integrar a ACV e certificações ambientais (ANAND; AMOR, 2017).

Há também a necessidade de melhoria dos métodos de avaliação de impacto, com a criação de conjuntos de dados mais robustos para sistemas construtivos e materiais. Tal necessidade decorre das variações significativas nos resultados de impactos ambientais que a ACV de um mesmo edifício pode apresentar, quando utilizadas bases de dados diferentes. Portanto, as certificações ambientais devem incluir as análises de incerteza de ACVs em suas estruturas e especial atenção deve ser dada à qualidade de dados (AL-GHAMDI; BILEC, 2017).

Bahramian e Yetilmezsoy (2020) destacam que a falta de dados locais e mais específicos nas fases iniciais do projeto de edifícios é uma limitação relevante na ACV. Para superar isso,

uma solução poderia ser a utilização de dados regionalizados, que abrangessem todas as informações associadas aos materiais utilizados durante o processo de construção. No entanto, propiciar o acesso a tais informações detalhadas, com mudanças significativas no desempenho ambiental das edificações ainda se demonstra como desafiador e um processo demorado. Uma alternativa seria o fortalecimento de bancos de dados geográficos e relevantes em nível nacional, projetados para materiais, e com processos específicos para uma determinada região (BAHRAMIAN; YETILMEZSOY, 2020).

De acordo com especialistas em certificações ambientais, o tempo de conclusão de um estudo de ACV tende a ser relativamente longo dentro do processo de projeto, especialmente se consideradas diferentes soluções alternativas, o que acaba por aumentar também o custo de implementação do estudo, tornando a técnica menos atraente no setor de construção. Isso reforça a necessidade de informações sobre o desempenho ambiental de materiais e sistemas construtivos de forma detalhada, permitindo comparações e dando mais agilidade à tomada de decisão. Outro desafio está relacionado à condução de estudos de ACV por profissionais da construção, como engenheiros e arquitetos, os quais detêm maiores informações técnicas para definição das opções de projeto e para redução de impactos no ciclo de vida, porém limitado conhecimento, ou nenhum, sobre a técnica de ACV, podendo levar a distorções nos resultados e interpretação dos dados. A integração entre os especialistas da área ambiental com profissionais do setor da construção e a ampliação do conhecimento sobre a ACV podem auxiliar a ultrapassar estas barreiras (CASTRO et al., 2018).

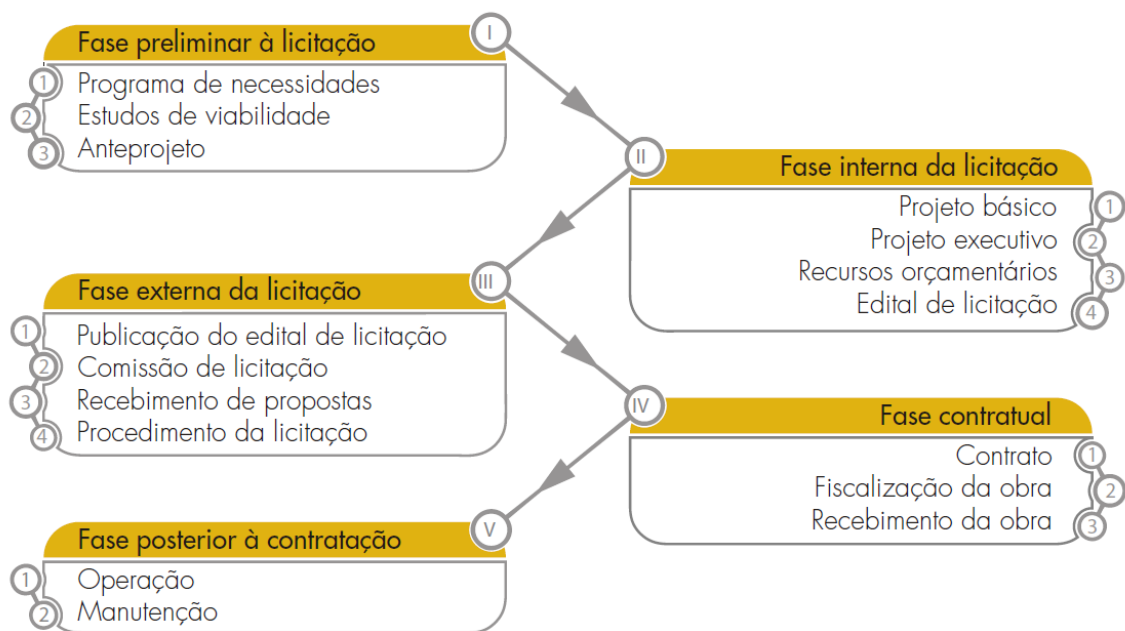
De encontro à necessidade de oportunizar maior conhecimento da técnica aos profissionais do setor da construção, a comunicação dos resultados de um estudo de ACV precisa ser didática e efetiva, pois muitas vezes os tomadores de decisão em fábricas de produtos ou na indústria não são profissionais especialistas em desempenho ambiental. A interpretação dos dados de impactos ambientais, pontos críticos e indicação de possíveis soluções alternativas precisam ser visualizadas em uma linguagem comum, e há ainda certa complexidade e grande variedade na forma de apresentação dos estudos de ACV. O fornecimento da quantidade certa de informações, a utilização de modelos de visualização dinâmicos e a adaptação das apresentações dos resultados ao objetivo e escopo de cada estudo possuem grande potencial a ser explorado para apoiar o processo de decisão e atingimento das metas de desempenho ambiental (HOLLBERG et al., 2021).

3 ACV NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS

3.1 PROCESSO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS

A concepção de um edifício público demanda uma série de procedimentos técnicos e administrativos, iniciando em fase preliminar à licitação da obra, que corresponde a um processo público de contratação de empresa especializada, através de critérios objetivos e que atendam à legislação pertinente. Este processo compreende diversas etapas e partes interessadas, até a fase posterior à contratação da obra pública, com a operação e manutenção da edificação. Na Figura 3, é possível observar um fluxograma dos procedimentos mínimos, em ordem sequencial, com as etapas a serem realizadas para a adequada execução de uma obra pública, destacando-se que as etapas da fase preliminar à licitação e as duas primeiras da fase interna da licitação compreendem o desenvolvimento do projeto da edificação (TCU, 2014).

Figura 3 - Procedimentos para a concepção de um edifício público



Fonte: TCU (2014).

Na esfera pública, para atender os requisitos e trâmites estabelecidos pela legislação, o desenvolvimento de projetos de edificações tende a exigir mais etapas e um número maior de profissionais envolvidos, quando em comparação a projetos da iniciativa privada, em que o processo é mais dinâmico e envolve, na maior parte do tempo, apenas o cliente e a empresa

responsável pelo desenvolvimento do projeto. Como a documentação técnica do projeto de uma obra pública deve compor um processo de licitação, envolvendo a disputa entre diferentes empresas para a execução da obra, todas as soluções técnicas necessitam ser justificadas e orçadas detalhadamente. Ainda, o projeto está sujeito à fiscalização de auditorias internas e externas no órgão público, a fim de verificar a regularidade no atendimento às normas técnicas e da Administração Pública, assim como às diretrizes impostas para a orçamentação e especificações de projetos de edificações públicas (TCU, 2014; CARVALHO et al., 2017).

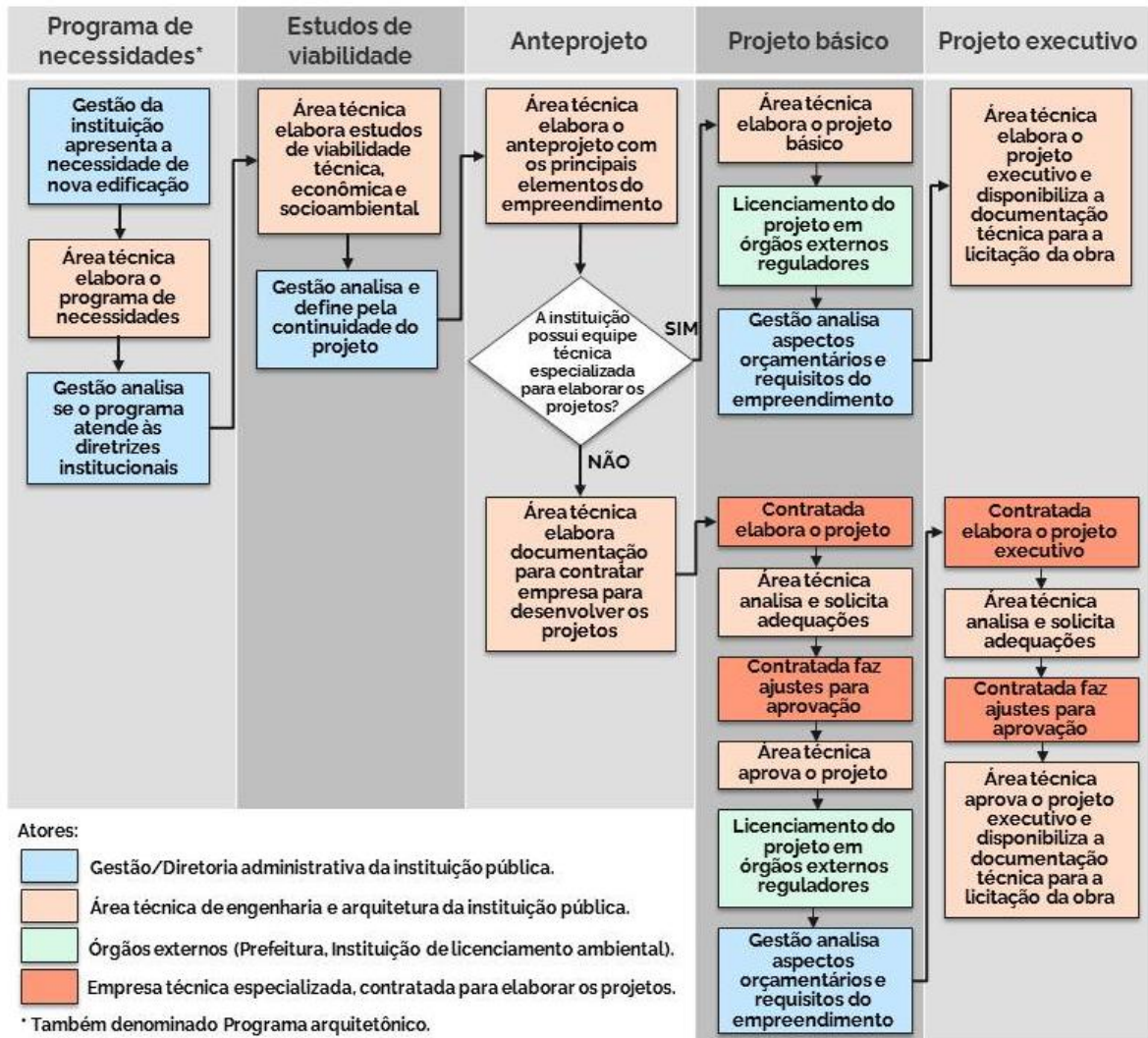
O processo de projeto de uma edificação pública e as partes envolvidas podem variar significativamente, a depender do nível de complexidade do empreendimento, da estrutura organizacional de cada instituição e dos profissionais técnicos disponíveis para a elaboração dos documentos necessários. De qualquer modo, as etapas consideradas mínimas para o processo de projeto envolvem o desenvolvimento sequencial do programa de necessidades, dos estudos de viabilidade do empreendimento, o anteprojeto, projeto básico e projeto executivo (BRETAS, 2010; ABNT, 2017; CARVALHO et al., 2017).

De forma geral, dentro da instituição deve haver pelo menos duas partes interessadas, que correspondem à gestão ou diretoria da instituição, com nível de poder decisório e administrativo, e a área técnica, com profissionais de engenharia e arquitetura, responsáveis pela elaboração dos documentos técnicos demandados pela área de gestão. Quando o órgão público não dispõe de equipe técnica suficiente para o desenvolvimento dos projetos, tais serviços podem ser contratados, para execução por empresa especializada em arquitetura e engenharia. Há também pelo menos mais um conjunto de partes interessadas neste processo, que são os órgãos públicos regulamentadores, como prefeituras e órgãos de licenciamento ambiental, responsáveis pela análise legal do projeto, para atendimento aos códigos municipais de obras, planos diretores e da legislação ambiental, conforme cada caso (BRETAS, 2010; TCU, 2014; CARVALHO et al., 2017).

Desta forma, na Figura 4 é apresentado um fluxograma simplificado do processo de projeto de edificações em uma instituição pública, contendo as etapas mínimas e principais partes interessadas. Porém, cada projeto possui a característica de ser único e, assim, o processo de projeto pode demandar diferentes esforços e engajamentos singulares de partes interessadas para diferentes edificações. Portanto, pode ser necessário um maior detalhamento em relação

a este fluxograma, novas etapas, com análises adicionais nas fases de projeto básico e executivo, por parte da área técnica e de órgãos externos, até que se obtenha o nível de especificações e definições de soluções construtivas necessárias para cada empreendimento.

Figura 4 - Fluxograma simplificado do processo de projeto de edificações em uma instituição pública



Fonte: Autor, a partir de dados de Bretas (2010), TCU (2014), ABNT (2017), CARVALHO et al. (2017), BRASIL (2021).

A legislação brasileira permite também que a contratação de obras públicas ocorra a partir da conclusão do projeto básico, sendo o projeto executivo elaborado pela construtora que executará a obra, o que alteraria o fluxo apresentado, a depender do caso concreto. Outra questão é que a estrutura organizacional de cada instituição pública pode variar significativamente, com eventuais análises adicionais de outros setores administrativos, jurídicos e de auditoria, podendo influenciar neste processo. Porém, de modo que se possa alcançar o maior número de instituições públicas, e diferentes complexidades de edificações,

nesta pesquisa optou-se por limitar o processo de projeto e partes interessadas ao escopo mínimo verificado na legislação, em normativas e referências bibliográficas existentes no contexto brasileiro, conforme detalhado a seguir.

3.1.1 Programa de necessidades ou Programa arquitetônico

Antes de iniciar o empreendimento, a instituição pública deve levantar as suas principais necessidades, através da definição das ações relacionadas para o desenvolvimento dos estudos de viabilidade, com as características da edificação, fim a que se destina, futuros usuários, dimensões, padrão de acabamento pretendido, equipamentos e mobiliários a serem utilizados. Estas informações compõem o programa de necessidades, também denominado programa arquitetônico, o qual deve conter também a área de influência de cada empreendimento, considerando a população e a região a serem beneficiadas, restrições legais e sociais, e o cumprimento do código de obras municipal (TCU, 2014).

O programa de necessidades compreende um conjunto sistematizado das necessidades humanas, socioambientais e funcionais do contratante, no caso a instituição pública, que objetiva a materialização do projeto. Devem ser produzidas as informações técnicas necessárias para a concepção arquitetônica da edificação, características funcionais ou das atividades de cada ambiente, capacidade, movimentos, fluxos e períodos, além de requisitos ambientais, níveis de desempenho e instalações especiais dos sistemas complementares (ABNT, 2017).

3.1.2 Estudos de viabilidade

Os estudos de viabilidade incluem as análises de alternativas para a concepção da obra, de seus componentes e instalações, tendo como objetivo avaliar o empreendimento sob os aspectos técnico, ambiental, econômico, financeiro e social, além de proceder à estimativa do custo das alternativas de projeto analisadas (IBRAOP, 2016).

Esta etapa engloba a caracterização do partido arquitetônico e urbanístico, possíveis soluções da edificação e de implantação, conforme as condicionantes e requisitos estabelecidos para o projeto (BRETAS, 2010).

Especificamente para a esfera ambiental, deve ser realizado o exame preliminar do impacto ambiental do empreendimento como um todo, promovendo a adequação da obra com o meio ambiente, o que vai depender do contexto e localização de cada caso concreto, a partir da análise de especialistas da área ambiental. Após concluídos os estudos das diversas áreas e

selecionada uma alternativa, deve ser apresentado relatório contendo a descrição e a avaliação da opção selecionada, características principais, parâmetros para sua definição e demandas que serão atendidas com a sua execução. De modo geral, os estudos de viabilidade são providenciados pela área técnica e submetidos à gestão administrativa da organização, para definição quanto à continuidade ou não do desenvolvimento do projeto (TCU, 2014).

3.1.3 Anteprojeto

Nesta etapa devem ser reunidos os documentos técnicos necessários para caracterizar a obra e desenvolvidos os estudos para demonstrar e justificar o programa de necessidades, a visão global dos investimentos necessários, assim como os estudos que englobem a definição dos parâmetros da obra, da execução, operação, interesse público, da acessibilidade e meio ambiente (CARVALHO et al., 2017).

O anteprojeto deve conter a representação das informações técnicas iniciais de detalhamento do projeto arquitetônico e seus elementos, e deve ser elaborado em caso de obras de maior porte, determinando o padrão de acabamento e o custo médio da construção. A partir desta etapa, são traçadas as diretrizes a serem seguidas no projeto básico, que demandará a contratação de empresa especializada para elaboração, caso a instituição pública não possua profissionais suficientes nas especialidades de arquitetura e engenharia (TCU, 2014; ABNT, 2017).

3.1.4 Projeto básico

O projeto básico corresponde ao conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para definir e dimensionar a obra da edificação, que assegure a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, possibilitando a avaliação do custo da obra. Deve conter os elementos topográficos e cadastrais, soluções técnicas globais e localizadas, suficientemente detalhadas, evitando reformulações quanto à qualidade, preço e prazo definidos, identificação e especificação dos tipos de serviços a executar, dos materiais e equipamentos a incorporar à obra, informações que possibilitem a definição dos métodos construtivos, subsídios para o plano de licitação e gestão da obra, além do orçamento detalhado do custo global da obra, devidamente fundamentado (BRASIL, 2021).

Nesta etapa, caso o projeto seja contratado para execução por empresa especializada, podem haver etapas de análises pela área técnica da instituição pública, e ajustes do projeto pela

contratada, para atender aos requisitos técnicos normativos e os estabelecidos nas etapas anteriores do processo. Há também a etapa em que o projeto é submetido à análise de órgãos externos reguladores, o que pode demandar ajustes e ações tanto da área técnica da instituição pública, como da empresa responsável pela elaboração do projeto básico. Após as aprovações técnicas e legais do projeto, a área gestão administrativa do órgão público deve aprovar formalmente os documentos elaborados, em especial quanto aos aspectos orçamentários e requisitos do empreendimento, para possibilitar a posterior licitação da execução da obra.

3.1.5 Projeto executivo

Esta etapa envolve o detalhamento das soluções previstas no projeto básico, sem alterá-lo, com os elementos necessários e suficientes para permitir a execução completa da obra, assim como as especificações técnicas e identificação de todos os materiais, serviços e equipamentos, de acordo com as normas técnicas pertinentes (BRASIL, 2021). Também devem ser observadas as exigências técnicas de desempenho e padrões de acabamento previstos nos documentos que compõem a contratação para a elaboração dos projetos.

A depender do tipo de empreendimento e das diretrizes da instituição pública, a licitação para execução da obra poderá ocorrer com os documentos do projeto básico, ficando o projeto executivo para elaboração pela futura empresa contratada, já que o mesmo não deve envolver alterações do projeto básico, e sim o seu detalhamento. Caso contrário, o projeto executivo segue as mesmas etapas e diretrizes do projeto básico, passando por ajustes e correções, até que seja aprovado pela área técnica e possa ser utilizado para a contratação da obra com o processo de projeto finalizado.

3.2 REVISÃO DE ESTUDOS SOBRE A ACV NAS FASES INICIAIS DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES

A ACV pode ser aplicada em diferentes estágios do ciclo de vida de uma edificação, entretanto a sua influência no desempenho ambiental poderá ser significativamente maior quando utilizada para orientar decisões nas fases iniciais de projeto. A etapa específica dentro do processo de projeto para a utilização da técnica deve ser cuidadosamente avaliada, de forma que seu potencial seja utilizado de forma integral. Entretanto, a maioria dos esforços de utilização da ACV são concentrados após o desenvolvimento do projeto conceitual da edificação. Assim, é necessário introduzir o conhecimento da ACV de forma proativa no processo de projeto, quando há maior probabilidade de influenciar a redução de impactos

ambientais. Porém, as técnicas de avaliações ambientais são vistas ainda como aspectos adicionais, quando deveriam ser consideradas um componente integral, capaz de guiar o projeto para uma solução ambientalmente benéfica (JUSSELME et al., 2018; ROBERTS et al., 2020).

Atualmente, as principais áreas de aplicação desta técnica nas fases iniciais de projeto se referem à integração da ACV com o BIM, na utilização conjunta da ACV com a avaliação do custo do ciclo de vida (ACCV), e no desenvolvimento de projetos paramétricos (ROBERTS et al., 2020). A ACCV é uma técnica versátil com aplicações para diversos fins e que permite avaliar os custos ao longo do ciclo de vida de um produto ou sistema para apoiar a tomada de decisões. Pode ser utilizada como ferramenta de planejamento, de otimização, para identificação de pontos críticos ou para avaliar decisões de investimento (RODGER et al., 2018).

Por outro lado, há muitas lacunas a serem superadas para a aplicação da ACV como técnica de avaliação de impacto ambiental na concepção de uma edificação. Por exemplo, são necessárias simplificações metodológicas na construção da ACV para torná-la adequada neste contexto, assim como a usabilidade dos *softwares* deve ser melhorada, seguindo o método de trabalho de projetistas, de modo que seus requisitos sejam compreendidos e atendidos. Além disso, a limitação ou falta de informações técnicas, como geometria da edificação, quantitativos precisos e especificações detalhadas de materiais devem ser consideradas. Para suprir tais demandas, são necessários estudos abrangentes sobre as práticas de construção nacionais, garantindo valores representativos de resultados para serem utilizados como referência (MEEEX et al., 2018).

Embora a ACV seja amplamente utilizada para obter uma avaliação abrangente dos impactos ambientais de um edifício, ela ainda consome muito tempo e no estágio inicial de projeto apresenta incompatibilidades entre os detalhes disponíveis e os requeridos para a avaliação. Além disso, os resultados da ACV são específicos para um estudo de caso e para o escopo do estudo, diferindo de um projeto para outro, o que restringe sua reprodutibilidade. Novos métodos precisam explorar formas de reduzir os parâmetros necessários para descrever os componentes da construção que influenciam significativamente no desempenho ambiental. Tais pontos denotam a necessidade de estudos que visem o aperfeiçoamento e padronização

da aplicação da ACV nas fases iniciais de projeto, considerando os potenciais benefícios gerados no desempenho ambiental do ciclo de vida das edificações (JUSSELME et al., 2018).

Com o objetivo de verificar a abordagem atual sobre a aplicação da técnica de ACV nas fases iniciais de projeto de edificações, e para caracterizar de forma mais clara o problema de pesquisa estudado, foi conduzida uma revisão sistemática de literatura (RSL), com seleção das referências de maior relevância aplicáveis sobre o tema.

A RSL é caracterizada como um tipo de investigação focada em uma questão bem definida, que visa identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências relevantes disponíveis sobre determinado tema. Esta ferramenta busca esclarecer controvérsias apoiando-se apenas nos estudos de melhor qualidade sobre o assunto (GALVÃO; PEREIRA, 2014). De acordo com Petticrew (2001), as revisões sistemáticas são amplamente utilizadas como auxílio às tomadas de decisões baseadas em evidências, com testes de hipóteses e avaliação da consistência entre estudos previamente realizados.

Para o protocolo de execução da RSL, a plataforma “Scopus” foi utilizada e os termos de busca adotados foram “LCA” e “*early stage design*”, com o conector “*and*”. Foram analisados os documentos publicados entre os anos de 2010 e 2021, sendo que o repositório apresentou um total de 285 estudos, na data de 26/05/2021. Na análise inicial, foi realizada a leitura do título e, quando necessário, do *abstract* das publicações, para verificar se o tema era relacionado à ACV de edificações.

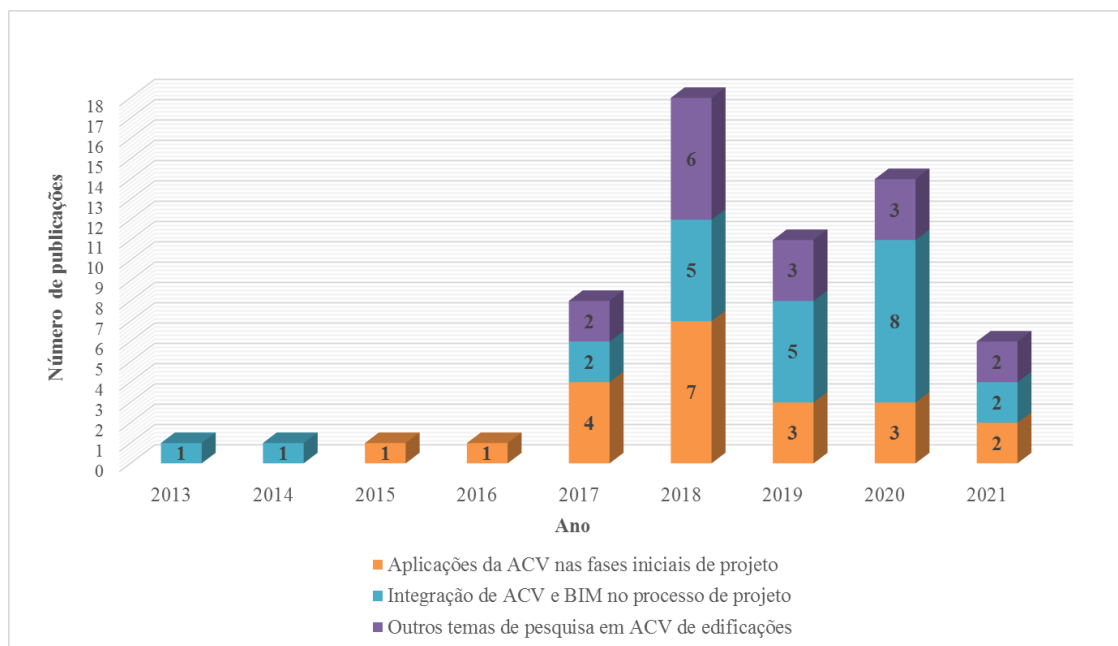
Após a primeira revisão, foram selecionadas 57 publicações, considerando apenas os estudos disponíveis para leitura na íntegra. Esta seleção considerou trabalhos que de alguma forma abordam a ACV nas fases iniciais de projeto, mesmo que este não seja o tema principal, de modo que se possa obter um panorama geral sobre a abordagem da técnica. De forma complementar, foram incluídos à revisão 4 estudos selecionados a partir de busca “bola de neve”, por apresentarem relevância sobre o tema analisado. A pesquisa em “bola de neve” é caracterizada como uma amostragem não probabilística, que utiliza cadeias de referência, e pode ser útil para pesquisar temas com certa dificuldade de acesso direto ou por outras abordagens de pesquisa (VINUTO, 2014).

Após a triagem das publicações, os 61 estudos foram classificados quanto à sua distribuição geográfica, verificando-se que a maioria foi originada na Europa (59%) e na América do

Norte (13%). Da América Latina, foram selecionados 7 estudos (11%), dos quais 6 são do Brasil. Quanto à distribuição temporal, há uma concentração de publicações a partir de 2017, sendo que 2018 obteve maior destaque no período selecionado, com 18 estudos, ou 29% do total da amostra. Posteriormente, foram identificados os temas das publicações em um nível macro, para seleção das pesquisas de maior relevância que demandam uma análise completa.

Os estudos foram classificados em 3 grandes grupos, sendo que no primeiro foram incluídos os relativos ao desenvolvimento de aplicações e estruturas metodológicas da ACV nas fases iniciais de projeto de edifícios, com um total de 21 publicações. O segundo grupo contemplou os estudos relacionados à integração da ACV e BIM no processo de projeto de edificações. Nesta categoria, foram classificados 24 documentos. Os demais estudos apresentam outros temas de pesquisas relacionados à ACV de edificações, com diferentes direcionamentos, representando um total de 16 documentos. Na Figura 5 é apresentada a distribuição temporal dos estudos selecionados, de acordo com a classificação dos respectivos temas de pesquisa.

Figura 5 - Distribuição temporal dos estudos selecionados de acordo com a abordagem temática, conforme pesquisa realizada em 26/05/2021



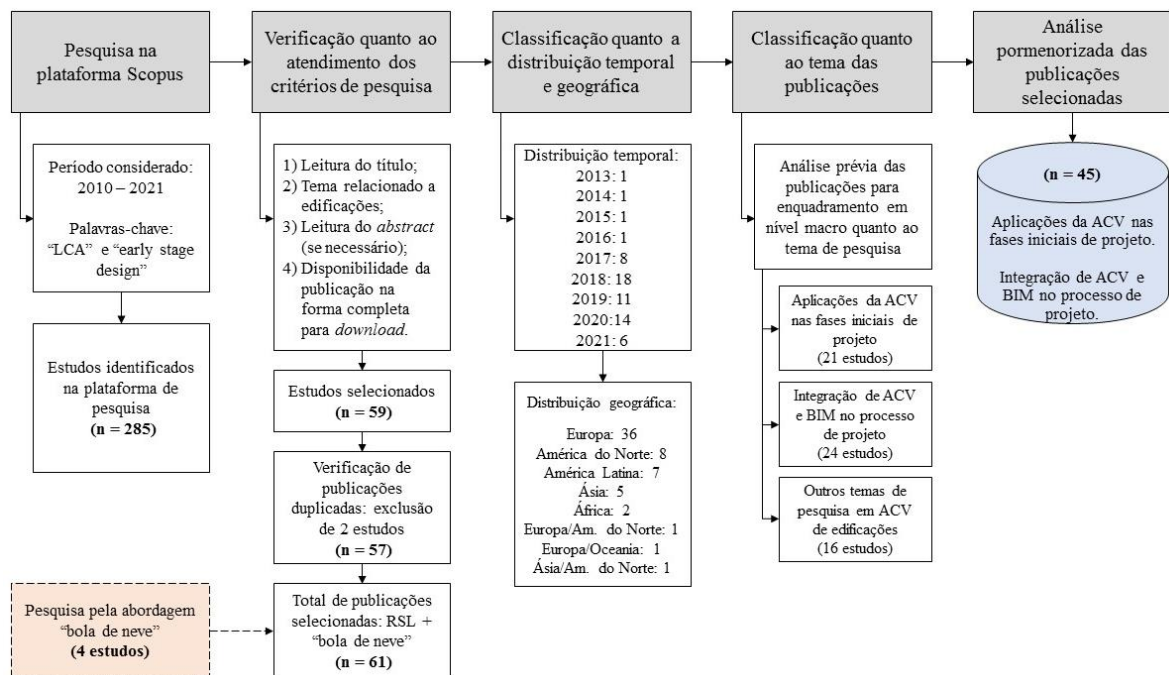
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A análise pormenorizada das publicações contidas nos dois primeiros grupos de classificação é apresentada nos subitens 3.2.1 e 3.2.2. No que se refere ao terceiro grupo temático da revisão, com outros focos de pesquisa em ACV de edificações, os principais temas abordados são a comparação de diferentes ferramentas ou de decisões metodológicas de ACV (AL-

GHAMDI; BILEC, 2017; POMPONI; MONCASTER, 2018; MONCASTER et al., 2018; ZIMMERMANN et al., 2019), a avaliação da energia no ciclo de vida da edificação ou projetos focados em baixo consumo energético (DOYLE-KENT; NOLAN, 2018; VOLF et al., 2018; EMMANUEL et al., 2020), a aplicação conjunta da ACV e ACCV (COLLIN et al., 2019; GALIMSHINA et al., 2019), além de métodos de ACV com foco no fim de vida de edificações (FREGONARA et al., 2017; GARDEZI; SHAFIQ, 2021).

Considerando a pluralidade dos objetos de pesquisa verificados, os quais de algum modo englobam a ACV nas fases iniciais de projeto de edificações, foi necessário delimitar os documentos a serem analisados de forma detalhada nos dois primeiros grupos temáticos. Através dos critérios adotados, buscou-se selecionar os principais métodos existentes para subsidiar o desenvolvimento da estrutura metodológica desta pesquisa. Na Figura 6 é apresentada a síntese do protocolo utilizado para a seleção das publicações.

Figura 6 - Síntese do protocolo adotado para a revisão de estudos sobre a ACV nas fases iniciais de projeto de edificações



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

3.2.1 Aplicações da ACV nas fases iniciais de projeto

As pesquisas acerca de métodos para aplicação da ACV nas fases iniciais de projeto possuem diferenças significativas de abordagens, escopo e ferramentas utilizadas. Entretanto, um ponto comum entre os documentos analisados é o entendimento quanto à importância da adoção da ACV o mais cedo possível durante o desenvolvimento de projetos, de forma que os benefícios

ambientais no ciclo de vida sejam maximizados. Reforçando esta ideia, Roberts et al. (2020) verificaram, em vasta revisão sistemática, que dois temas se destacam quando se trata da utilização da ACV em projetos de edificações, quais sejam a importância das decisões em estágio inicial, observada em 68% dos estudos, e a seleção dos materiais, como forma de redução dos impactos incorporados, discutida em 50% das publicações avaliadas.

Nos estudos da presente RSL, a ACV é integrada com diferentes técnicas para a estruturação de métodos de trabalho. Desse modo, com o objetivo de produzir alternativas de projeto e avaliar o seu desempenho ambiental para apoiar o processo de tomada de decisão, Jusselme et al. (2018) combinaram a utilização de 5 técnicas em um único fluxo de trabalho, como um método orientado por dados de ACV. As técnicas consideradas foram análise paramétrica, visualização de dados, análise de sensibilidade, objetivos em cascata e a ACV. Tal combinação visa solucionar problemas apontados em revisão sistemática realizada, como o tempo consumido para realização da ACV, a não reprodutibilidade dos resultados, a dificuldade de explorar projetos alternativos, até o número limitado de parâmetros considerados. O método é estruturado em um roteiro para aplicação com 5 passos: (i) definição do projeto; (ii) definição paramétrica, com seleção de parâmetros, qualificação e quantificação de dados; (iii) processo de amostragem, com a definição do método de amostragem a partir da análise de sensibilidade; (iv) geração de banco de dados alternativo de projeto, com simulações e utilização da ACV; e (v) extração do conhecimento da base de dados, com a sua exploração a partir da visualização de dados, identificação dos parâmetros principais e a reprodução das evidências encontradas. Os 5 passos do método podem ser replicados ao longo de todo o processo de projeto (JUSSELME et al., 2018).

Por outro lado, na integração da ACV com técnicas de programação e métodos estatísticos, Hester et al. (2018a) desenvolveram um algoritmo para determinar impactos ambientais de atributos de construção, com a utilização de ACV probabilística para orientar os estágios iniciais do processo de projeto de edifícios. As incertezas iniciais do projeto são consideradas através de subespecificações, utilizando o nível de detalhe disponível, e a variabilidade na previsão de impactos por decorrência desta limitação é tratada por simulações de Monte Carlo. Através da triagem probabilística com análises de sensibilidade, o método permite identificar quais atributos incertos devem ser especificados posteriormente para aumentar a precisão dos resultados, sendo que a celeridade da análise permite o refinamento dos atributos principais, e novas análises, até que os impactos previstos sejam precisos o suficiente para

subsidiar a tomada de decisão. Os autores afirmam que o método pode ser utilizado para guiar as decisões sequenciais de projeto para todo o ciclo de vida da edificação, sendo que o analista é orientado pelo modelo a priorizar decisões que mais reduzem a variabilidade nas previsões de impactos. O modelo foi aplicado em edificações residenciais unifamiliares, tendo abordagem do berço ao túmulo, com testes quanto a sua eficiência e efetividade. Embora facilite a aplicação da ACV nas fases iniciais de projeto, sua principal limitação é o tempo e esforço necessários para configurar as hierarquias de especificações preliminares dos atributos e atividades inseridas para cada caso (HESTER et al., 2018a).

Em estudo complementar conduzido por Hester et al. (2018b), foi desenvolvido modelo cujo objetivo é comparar a capacidade de diferentes métodos de orientação de projetos em fases iniciais, para reduzir custos e impactos ambientais, mantendo a maior flexibilidade possível nas escolhas de projeto. O algoritmo apresentado pelos autores no estudo anterior foi utilizado como modelo de ACV paramétrica (em conjunto com outros métodos de orientação de projeto), sendo expandido para incluir um modelo que considera tanto os custos iniciais quanto custos de operação no ciclo de vida de edificações. A pesquisa concluiu que o método de especificação genética é capaz de identificar projetos mais otimizados (com menores impactos e custos no ciclo de vida) do que o método de especificação sequencial e, ao mesmo tempo, permite maior flexibilidade de projeto. Com as aplicações realizadas nos estudos de caso, os autores verificaram que projetos denominados “quase ótimos” representam até 75% da redução nos impactos e custos do ciclo de vida, e podem estar associados a um aumento de 40% na flexibilidade de soluções em relação a um projeto considerado ótimo (HESTER et al., 2018b).

Ainda em atenção aos métodos de exploração da ACV por meio de técnicas estatísticas, Duprez et al. (2019) desenvolveram modelo para análise de sensibilidade de possíveis parâmetros de projeto, a fim de possibilitar resultados de índices de sustentabilidade mais precisos e de forma rápida. A pesquisa utiliza três técnicas de metamodelagem (rede neural artificial, regressão linear múltipla e regressão de vetor de suporte), com aplicação em dois estudos de caso, um edifício residencial e outro comercial. O estudo é focado em resultados de GWP e possui abordagem mais voltada para a operacionalização computacional do método. Os autores concluíram que o método permite fornecer avaliações de grandes quantidades de alternativas ou combinações de projeto, em um tempo de retorno razoavelmente curto, sendo que a modelagem por rede neural artificial foi a que ofereceu

melhores resultados, com maior precisão de dados. A utilização da ferramenta foi considerada promissora para ampliar as possibilidades de escolhas de projetistas sobre soluções alternativas de projeto com bom desempenho ambiental (DUPREZ et al., 2019).

Quanto à distribuição geográfica, a maioria dos métodos analisados se concentra em países europeus, sendo a aplicação da ACV alavancada fortemente por sistemas de certificação de edificações. Sendo assim, no contexto dinamarquês de certificação de edifícios sustentáveis, Kanafani et al. (2019) propõem uma abordagem simplificada de ACV, através de uma ferramenta gratuita, com entrada manual de dados e cobrindo todos os estágios do ciclo de vida em um sistema de produto simplificado. As três principais características do método são a disponibilização de uma biblioteca de componentes, a quantificação guiada dos elementos de construção e a comparação de alternativas, conforme os resultados gerados. A ferramenta oferece comparação de dados de diferentes maneiras. Até 5 itens podem ser exibidos em um gráfico que mostra os resultados dentro de três indicadores. O projeto pode ser comparado com uma série de outros projetos, os resultados são agregados no nível do edifício. Os autores destacam que futuras melhorias na usabilidade podem ser alcançadas integrando uma representação visual de componentes ou resultados, um módulo de análise de sensibilidade e a vinculação com ferramentas de projeto de construção (KANAFANI et al., 2019).

Marsh (2016) também desenvolveu estudo voltado ao contexto dinamarquês, com o objetivo de explorar uma forma de simplificar a avaliação de desempenho ambiental de edifícios no início do processo de projeto. O foco da pesquisa é a abordagem de ACV de componentes de construção nacionais e a avaliação contempla três tipologias representativas de sistemas verticais de vedação externa, com aplicação habitacional. Os parâmetros adotados quanto ao sistema de produto, vida útil, base de dados e a metodologia de ACV são detalhados e o cálculo considera a variação de um total de 432 parâmetros das tipologias avaliadas. Uma análise estatística foi conduzida e um perfil simplificado de ACV é proposto com uma representação gráfica, embasada em consulta com profissionais do setor de construção. O perfil apresenta o total de demanda de energia primária, GWP e potencial de acidificação para as tipologias avaliadas. Os resultados apontam que é possível desenvolver um modelo simplificado de resultados de ACV para tornar mais acessíveis as informações de componentes de construção para profissionais do setor nas fases iniciais de projeto (MARSH, 2016).

Já em atenção ao sistema austríaco de certificação de edifícios, Kreiner et al. (2015) aplicaram uma abordagem sistêmica para a melhoria de sustentabilidade de edificações, utilizando como estudo de caso um edifício público de escritórios. O modelo combina uma análise sistêmica com a influência quantitativa de critérios utilizados no sistema de certificação, considerados indispensáveis para o gerenciamento pelas partes interessadas nas fases iniciais de planeamento. O método inclui 6 etapas, quais sejam: (i) identificação do papel dos critérios de avaliação, (ii) avaliação semi-quantitativa do edifício; (iii) definição das medidas de otimização; (iv) identificação da influência do sistema; (v) melhoria sistêmica – nível das medidas de otimização; e (vi) análise de cenários pelas partes interessadas. A primeira etapa independe do estudo de caso e as etapas 2 a 5 são relacionadas a cada edifício considerado, sendo que o estudo se concentra nestas 5 primeiras etapas do método. São analisadas 12 medidas de otimização, que envolvem, por exemplo, isolamento térmico de fachadas, transmitância térmica de esquadrias, iluminação, ventilação, climatização e geração de energia. A pesquisa conclui que as medidas de otimização representam importância crucial para redução da demanda de energia total da edificação. No estudo de caso, as medidas relacionadas a aquecimento, iluminação, esquadrias e geração de energia apresentam o maior potencial de redução da demanda de energia, diminuindo até 30% da demanda prevista no projeto inicial. O conhecimento da influência destas medidas de otimização fornece informações essenciais para um planeamento sustentável nos estágios iniciais de projeto (KREINER et al., 2015).

De outra forma, com o intuito de investigar até que ponto as estratégias de otimização podem ser implementadas de modo eficiente nas fases iniciais de projeto, Azzouz et al. (2017) apresentaram método para comparar os impactos relacionados à energia e carbono incorporados e operacionais. O estudo considera um cenário base e cenários alternativos para um projeto de edifício de escritórios, com área total de 15.590 m², localizado em Londres, no Reino Unido. O modelo propõe um protótipo e se aprofundou em uma gama de elementos de forma conjunta, abrangendo, por exemplo, estrutura, envelope, sistemas construtivos e estratégias operacionais, visando fornecer uma série de estratégias de otimização disponíveis, com simulações de parâmetros alterados em vários níveis e distribuídos pelos estágios do ciclo de vida. Como resultado, os autores afirmam que a redução dos impactos foi alcançada com a integração das medidas mais eficazes, como adoção de ventilação natural, expansão das configurações de ajustes de temperatura da climatização artificial, redesenho da estrutura de concreto armado para 10% mais leve que a do cenário base, utilização de tijolos recuperados,

cortiça de baixa densidade e de madeiras em acabamentos internos. Considerando tais medidas de alterações de projeto e a aplicação da ACV, os autores indicam que a economia pode chegar a, respectivamente, 32,3% e 8,7% para o carbono e energia incorporados no ciclo de vida do edifício avaliado. Destaca-se ainda que, ao longo de 60 anos de vida útil da edificação, a energia operacional apresenta-se 10 vezes maior do que a energia incorporada, enquanto o carbono operacional 8 vezes maior do que o carbono incorporado. A pesquisa aponta também a importância da ACV como medida de redução de impactos ambientais nas fases iniciais de projeto e a necessidade de padronização de uma abordagem de cálculo holística para utilização da técnica no setor da construção (AZZOUZ et al., 2017).

Em relação aos métodos desenvolvidos no continente asiático, Wan Omar (2018) desenvolveu um modelo híbrido de ACV para possibilitar possíveis reduções de energia e carbono incorporados nos principais elementos disponíveis nas fases iniciais de projeto. O modelo é aplicado em 10 estudos de caso, contemplando edificações residenciais e comerciais da Malásia e integra o processo de ACV detalhada, com expansão das fronteiras do sistema para aumentar a quantidade e precisão de dados utilizados. O método considera, quando possível, dados estatísticos nacionais e de inventários internacionais de carbono e energia. Ao comparar os resultados com estudos previamente realizados, a pesquisa concluiu que o modelo aumentou a completude do sistema para cada estudo de caso, identificando quais as principais contribuições de energia e carbono incorporados em cada elemento de construção, podendo influenciar de forma significativa a tomada de decisão dentro do processo de projeto. Os impactos ficaram concentrados principalmente nos sistemas de pisos e em componentes dos sistemas de cobertura e fachada. Através de processo de alocação de materiais com baixo carbono e energia, foi possível verificar o potencial de redução de até 42,56% e 41,10% das intensidades totais de energia e carbono incorporados das edificações (WAN OMAR, 2018).

Especificamente no contexto do sul da Ásia, Kumanayake e Luo (2017) desenvolveram uma ferramenta de avaliação de sustentabilidade para auxiliar na tomada de decisão nas fases iniciais de projeto, com uma abordagem de ACV baseada nas emissões de carbono incorporadas e no custo do ciclo de vida. O método busca identificar a combinação de materiais regionais mais sustentáveis para cada caso e é composto por três módulos. O primeiro módulo inclui a inserção dos dados básicos da construção, como os relacionados à materiais, energia, transporte, maquinário, desconstrução e custos; o segundo contempla a avaliação de sustentabilidade com base na estimativa do custo do ciclo de vida e de carbono

incorporado. No módulo de saída, a pontuação de desempenho é calculada e os resultados são apresentados, agregados em um único índice de sustentabilidade da construção. O estudo se limita à fase conceitual, sem apresentar aplicações em estudos de caso (KUMANAYAKE; LUO, 2017).

Neste sentido, o estudo indiano conduzido por Acharya e Chakrabarti (2017) investigou as incertezas associadas ao estágio de projeto conceitual, em que há falta de informações disponíveis sobre o ciclo de vida, o que pode gerar resultados de ACV com grande variabilidade. A pesquisa propõe uma categoria de incerteza denominada “definição de variante de solução”, como precursora para a categoria de incerteza nessa fase de projeto. O método utiliza um modelo de causalidade e considera subcategorias que incluem: (i) incerteza na definição da estrutura de trabalho; (ii) incerteza na definição do princípio de funcionamento do caso avaliado; (iii) incerteza na definição de propriedades e condições de um determinado sistema; (iv) incerteza na definição da forma, configuração física; e (v) incerteza na definição da menor parte do estado físico de uma solução. Através da comparação de soluções com e sem o método proposto, os autores concluem que, com a estimativa de impactos ambientais considerando as variantes de solução disponíveis na fase de projeto conceitual, o projetista pode ser capaz de tomar decisões mais sólidas, selecionando a solução mais benéfica do ponto de vista ambiental (ACHARYA; CHAKRABARTI, 2017).

Uma temática abordada nos métodos voltados às fases iniciais de projeto refere-se às emissões de GEE, cujos impactos associados são amplamente debatidos. Nesse sentido, Lobaccaro et al. (2018) desenvolveram um fluxo de trabalho para investigar a variação das emissões de GEE incorporadas e operacionais, em função dos diferentes parâmetros adotados ao longo do processo de projeto (materiais, tecnologias e componentes) e dimensões (por exemplo, forma, posição solar, dimensões de esquadrias). A abordagem considera um estudo de caso de edificação residencial unifamiliar, projetada para atingir o menor nível de emissões, localizada em Oslo, na Noruega. O método é composto por um cenário base (definição da geometria do edifício e dos componentes de construção), e de outros quatro estágios sucessivos, que incluem a otimização de materiais e quantitativos, a definição das estratégias passivas e ativas, otimização do projeto considerando a ACV e radiação solar, e o cálculo do balanço de emissões em função das soluções adotadas. O estudo integra ferramentas de modelagem generativa, *softwares* de simulação dinâmica e um algoritmo paramétrico de ACV. Os autores concluem que o método pode propiciar uma abordagem de

projeto holística, com formas otimizadas para o desempenho ambiental, e que a mesma foi desenvolvida para ser replicável em diferentes contextos climáticos mundiais, a fim de apoiar projetistas ao lidar com diferentes desafios arquitetônicos, estéticos e ambientais simultaneamente e dinamicamente durante cada estágio do processo de projeto (LOBACCARO et al., 2018).

De modo complementar, considerando a possibilidade de redução de emissões de GEE, Hollberg et al. (2020) apresentaram método baseado em subespecificação estruturada a partir de banco de dados de ACV no contexto suíço, com objetivo de desenvolver uma ferramenta paramétrica e com projeto integrado. São utilizados *softwares* de simulação e desempenho ambiental, e o modelo prevê 11 tipos de sistemas construtivos (como fundações, sistemas de vedações, cobertura, equipamentos técnicos, entre outros), sendo que cada um possui até 5 componentes, para os quais os dados podem ser parametrizados. São definidas também categorias básicas de altura, uso, energia e material da edificação. A ferramenta permite um *feedback* rápido sobre impactos ambientais de todo o ciclo de vida em cada fase do projeto, pois possibilita a inserção de apenas quatro parâmetros de entrada no primeiro nível do edifício, até uma definição mais precisa, por material, ao longo do desenvolvimento do projeto. Os autores afirmam que verificações preliminares indicam que a utilização do método em determinado caso permitiu a redução de até 30% nas emissões de GEE, em comparação ao projeto sem consideração da ferramenta (HOLLBERG et al., 2020).

Outro foco temático da aplicação de ACV para as fases iniciais de projeto é a interligação com a avaliação de custos do ciclo de vida, que possui significativa importância para avaliar a viabilidade de alternativas de soluções construtivas junto à indústria e partes interessadas, além de integrar os pilares do conceito de sustentabilidade.

Desta forma, Dejacó et al. (2020) elaboraram estudo focado em auxiliar na escolha de sistemas construtivos a partir da avaliação econômica e de desempenho ambiental no início do processo de projeto. Para tanto, foi desenvolvido modelo de cálculo simplificado que inclui um *software* para modelagem de ACV e a avaliação de custos, aplicado em estudo de caso de edificação residencial de 3 pavimentos, com área total de 350 m², projetada para a Áustria. Quatro tecnologias de construção foram avaliadas e comparadas, sendo dois sistemas pré-fabricados de madeira (painéis de madeira laminada, estrutura de madeira) e dois métodos convencionais (painéis pré-fabricados de concreto e alvenaria). A avaliação considerou todo o

ciclo de vida, exceto o estágio de uso da edificação e o estudo apresenta os resultados expressos em “taxa de carbono”, de modo a apurar o custo dos impactos ambientais associados a cada solução construtiva, assim como um segundo índice denominado “custo de prevenção de poluição”. As soluções de madeira apresentaram melhores resultados, tanto sob o ponto de vista tecnológico quanto de desempenho ambiental. A atribuição de índices de valor monetário aos resultados da ACV é colocada como a contribuição mais significativa do trabalho, especialmente como incentivo a adoção de soluções mais sustentáveis na indústria e para subsidiar políticas públicas (DEJACO et al., 2020).

Já no estudo de Basbagill et al. (2017), foi utilizado um *software* para medir a eficácia de três métodos de visualização dinâmica utilizados para os resultados de ACV e ACCV. O experimento envolveu 49 profissionais do setor da construção, com a análise de um projeto artificial e os três tipos de visualizações testados incluíram um gráfico de dispersão, um histograma e um diagrama de tornado. O impacto de cada tipo de visualização na tomada de decisão foi medido em termos de eficiência do projeto, qualidade da solução final e a taxa de melhoria na qualidade da solução ao longo do tempo. O estudo concluiu que o *feedback* sobre o desempenho do projeto na forma de gráfico de dispersão superou todas as outras ferramentas, alcançando a melhoria mais significativa na qualidade da solução final de projeto. Em segundo lugar, o histograma apresentou uma melhoria intermediária no processo de tomada de decisão. A pesquisa verificou, também, que o desempenho dos participantes na análise técnica foi reduzido quando apresentados os resultados dos três métodos simultaneamente, sugerindo que o processamento de vários elementos coloca uma maior carga cognitiva sobre projetistas, reduzindo a eficácia dos métodos de visualização. A pesquisa foi limitada a seis variáveis de projeto e com foco apenas em um indicador ambiental (CO₂ eq.), porém evidencia a influência que a forma de apresentação dos resultados de ACV pode gerar no desempenho ambiental de um projeto em fase inicial (BASBAGILL et al., 2017).

Uma abordagem multimetodológica para integrar a ACV e ACCV simplificadas a um modelo de análise envoltória de dados foi utilizada na pesquisa de Dias et al. (2021), permitindo derivar índices de ecoeficiência e comparar soluções alternativas de projeto. O estudo utiliza regressão linear e é aplicado em projeto de *retrofit* em edificação residencial localizada em Portugal. O método apresenta um processo simplificado de ACV composto por 6 passos: (i) definição das variáveis de decisão, métricas e cenários; (ii) análise de métricas utilizando

ACV e ACCV; (iii) análise de ecoeficiência; (iv) seleção das variáveis de maior influência; (v) ordenamento das variáveis em 3 intervalos; e (vi) comparação da ecoeficiência das alternativas. As métricas utilizadas para avaliar os parâmetros de projeto são mudança climática, acidificação, eutrofização, energia primária não renovável e valor presente líquido, além de ser realizada uma análise de sensibilidade sobre a descarbonização da matriz elétrica. Os resultados do estudo de caso indicaram que as variáveis que mais impactam a ecoeficiência são a espessura do isolamento do sistema de cobertura e do isolamento de vedações externas, com dados robustos para subsidiar projetos de *retrofit* no clima do sul da Europa. Após três iterações nos cenários avaliados, os autores verificaram que a ecoeficiência média do projeto aumentou em até 25%, considerando o mix de eletricidade atual (DIAS et al., 2021).

No que se refere à usabilidade da ACV nas fases iniciais de projeto, percebe-se que os estudos buscam soluções de simplificação voltadas para diferentes contextos e, embora os métodos proponham poucos parâmetros e dados de entrada, as ferramentas precisam estar em uma linguagem acessível a projetistas e usuários que não sejam especialistas em ACV. Nesta linha, Meex et al. (2018) desenvolveram uma estrutura metodológica baseada em duas perspectivas diferentes: (i) requisitos de usuários para ferramentas de ACV que sejam amigáveis para projetistas do setor da construção; e (ii) critérios para simplificar a aplicação de ACV e parametrizar o seu método de cálculo, para torná-lo mais aplicável em um *software* de avaliação ambiental durante os estágios iniciais de projeto. A estrutura é subdividida em 4 temas (dados de entrada, cálculo, dados de saída e usabilidade no processo de projeto), e os autores concluem, por exemplo, que a limitação do nível de detalhe necessário para os dados de entrada de uma ACV simplificada corresponde ao melhor método de trabalho para projetistas nas fases iniciais de projeto. Entretanto, requisitos adicionais são necessários, como uma avaliação paramétrica flexível, para que a análise seja integrada ao processo de trabalho de projetistas, demandando o menor tempo possível (MEEX et al., 2018).

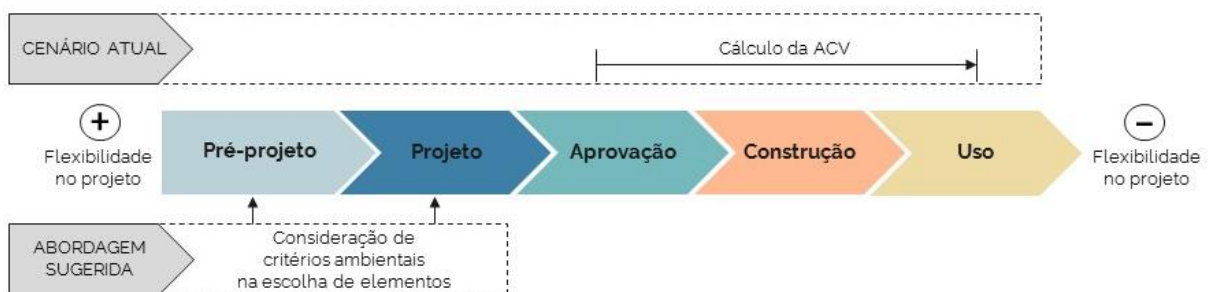
Em relação à esfera pública, especialmente no contexto brasileiro, a pesquisa de Timm et al. (2021) aborda um método de ACV relacionado às fases de projeto, em compras públicas verdes no setor da construção. O estudo apresenta instrumento com informações sobre o desempenho ambiental de sistemas construtivos, facilitando a escolha e comparação entre alternativas, com base na ACV e em DAPs. O método considera uma revisão de normas e literaturas aplicáveis ao tema, e rodadas de entrevistas com partes interessadas, com a

utilização prevista para o setor produtivo, instituições públicas e projetistas. A estrutura contempla uma ficha metodológica que apresenta os detalhes dos materiais que compõem o sistema construtivo, os critérios adotados na ACV, resultados de impacto ambiental para as principais categorias (com escala comparativa em relação a outras soluções), a distribuição dos impactos por estágios do ciclo de vida, a concentração de impactos por material, entre outras informações. O modelo tem o potencial de apoiar o processo de tomada de decisão nos estágios iniciais de projetos, integrando dados e partes interessadas, a fim de promover consciência ambiental e alavancar a prática de contratações públicas mais sustentáveis, com comparações adequadas (TIMM et al., 2021).

3.2.2 Integração de ACV e BIM no processo de projeto

A ACV e o BIM se destacam como técnicas poderosas para promover a sustentabilidade na indústria da construção. Enquanto o BIM propicia o desenvolvimento integrado de projetos, melhora a gestão da informação e a cooperação entre as partes interessadas, a ACV permite avaliar de forma adequada o desempenho ambiental. Estas técnicas devem ser aplicadas nas fases iniciais de projeto em função flexibilidade de planejamento nestes estágios, com maior possibilidade de se adotar alternativas e programar mudanças. Entretanto, a ACV é mais realizada nas etapas de aprovação de projeto, construção e uso da edificação, o que deveria ser antecipado, pois quanto mais o projeto evolui, a flexibilidade é reduzida e as chances de se fazer alterações são menores, ou envolvem custos mais altos. Conforme a Figura 7, a inclusão de critérios ambientais no processo de projeto pode ser facilitada por uma abordagem que integra de forma eficiente os modelos BIM no desenvolvimento das diferentes fases de projeto e as informações ambientais das bases de dados de ACV (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

Figura 7 - Abordagem sugerida para integração de ACV e BIM no ciclo de vida de uma edificação



Fonte: Adaptado de ANTÓN; DÍAZ (2014).

As pesquisas que abordam a integração do BIM com a técnica de ACV destacam o uso crescente do BIM, devido ao seu potencial de armazenamento de informações necessárias

para a avaliação ambiental de edifícios. Porém, a maior parte dos estudos se concentra na abordagem dos estágios de produção (módulos A1-A3) e, em menor número, nos estágios de construção (módulos A4-A5), não utilizando o BIM para avaliação da energia operacional de edifícios, que possui impactos significativos. Os principais desafios do processo de integração entre BIM e ACV estão relacionados aos aspectos organizacionais e a padronização dos fluxos de trabalho. São necessários padrões em níveis industriais para aperfeiçoar essa integração, incluindo a criação de uma metodologia de ACV sincronizada, permitindo uma identificação clara dos dados de entrada necessários e o desenvolvimento de um banco de dados de informações em conformidade ao ambiente BIM. De modo complementar, é fundamental um sistema automatizado de troca de informações entre as plataformas BIM e ACV, independentemente de estarem incorporadas ao ambiente BIM ou com a utilização de arquivos separados (PASSER et al., 2020).

A maioria dos estudos desta temática apresenta abordagem voltada para edifícios de uso residencial, sendo limitada a aplicação para edifícios públicos e comerciais. Além disso, as aplicações que integram as duas técnicas são utilizadas majoritariamente para sistemas específicos, como vedações, cobertura, pisos, com uma lacuna de pesquisa para modelos mais complexos, com todos os componentes de construção. O foco atual das pesquisas tem sido a adoção de métodos de integração entre BIM e ACV para prover a interoperabilidade e aplicabilidade dos resultados de ACV de forma válida e compreensiva, sendo que a maior parte dos estudos indica a aplicação das fases iniciais de projeto (AZARIJAFARI; SAFARI, 2021).

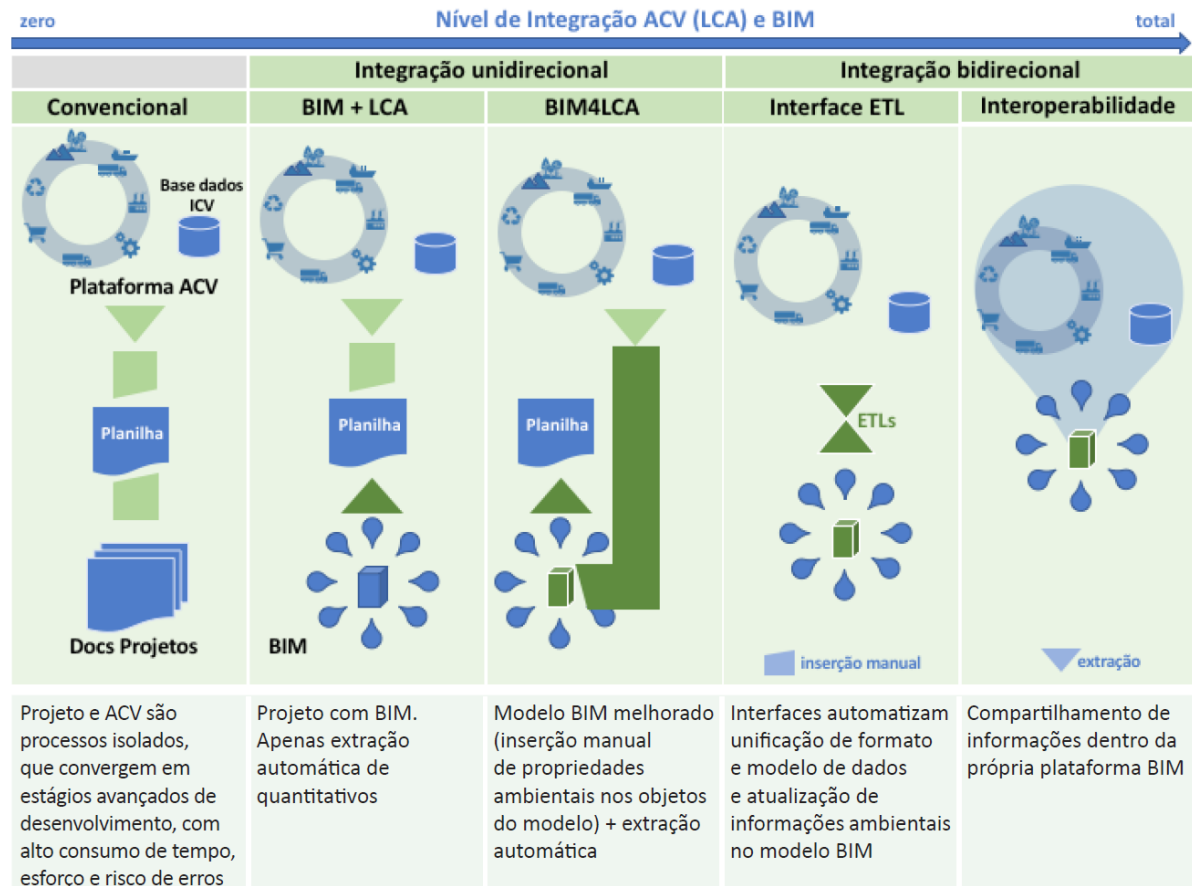
Passer et al. (2020) conduziram uma revisão sistemática abrangente com o objetivo de identificar as atuais abordagens de integração entre BIM e ACV e determinar os prós e contras desta integração, sob diferentes pontos de vista, incluindo questões técnicas, informativas, organizacionais e funcionais. Para tanto, foram identificados 60 estudos de caso relevantes, a partir dos quais os autores apontam que a classificação mais abrangente para a integração de BIM e ACV é a proposta por Wastiels e Decuyper (2019), que estabeleceram 5 categorias: (i) integração através de exportação de lista de materiais e quantitativos do ambiente BIM para outras ferramentas, que representa a prática comumente adotada; (ii) importação da geometria da edificação a partir do modelo BIM utilizando o formato IFC, por um especialista em ACV, com perfis de ACV pré-definidos; (iii) as informações de uma ferramenta BIM são processadas em uma ferramenta de visualização BIM e, em seguida,

transferidas para um *software* dedicado de ACV; (iv) uso de *plug-ins* especialmente desenvolvidos que permitem a condução da ACV dentro da ferramenta BIM; e (v) em que as informações da ACV são incluídas nos objetos utilizados no modelo BIM, em vez de serem atribuídas aos componentes de construção em um estágio posterior, e em ferramentas separadas (WASTIELS; DECUYPERE, 2019; PASSER et al., 2020).

A automatização do processo de integração pode ocorrer basicamente de três formas, sendo a primeira manualmente, copiando e colando os dados de um arquivo para outro, na maioria dos casos com especialistas em ACV ajustando os dados adequadamente. A segunda abordagem é semiautomática, em que os dados são extraídos e preenchidos automaticamente, porém para exportações e importações ainda é necessária alguma interação do usuário das ferramentas. A terceira forma é a integração em “um clique”, com a troca dos dados totalmente automatizada. A maior parte dos estudos realiza a transferência de dados entre o BIM e a ACV manualmente, utilizando uma ferramenta BIM para formar uma lista de quantitativos, na maioria dos casos gerada no Microsoft Excel, e utilizada em uma ferramenta separada em que a ACV é executada. Embora mais utilizada e considerada convencional, esta integração é demorada e está sujeita a erros, gerando um importante ponto de discussão. Portanto, espera-se um maior grau de automatização da troca de informações entre BIM e ACV no futuro, com o desenvolvimento de *plug-ins* específicos (AZARIJAFARI; SAFARI, 2021).

De acordo com o estudo de Gomes e Barros (2018), podem haver diferentes níveis de integração entre ACV e BIM, de forma unidirecional ou bidirecional, conforme apresentado na Figura 8. No primeiro nível (BIM + LCA), ocorre apenas a extração automática de quantitativos a partir do modelo de informação. Já no segundo estágio da integração unidirecional (BIM4LCA), há um avanço com a utilização de recursos de modelagem da informação para inserir parâmetros ambientais diretamente no modelo BIM. Em uma integração bidirecional, o terceiro nível (Interface ETL) utiliza tecnologias de “extração, transformação e carregamento” (ETL, da expressão “*extraction, transformation and loading*”) para ampliar a integração de ACV e BIM, com processos de extração e unificação de dados de fontes múltiplas e heterogêneas, os transformando em um formato consistente e carregando os dados formatados de volta ao modelo BIM. O último nível (Interoperabilidade), que ainda exige desenvolvimentos, cobriria o nível máximo de integração, com compartilhamento direto das informações ambientais dentro da plataforma BIM (GOMES; BARROS, 2018).

Figura 8 - Níveis de integração entre ACV e BIM

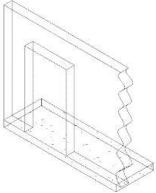
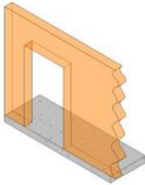
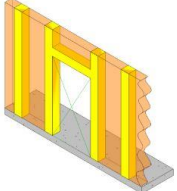
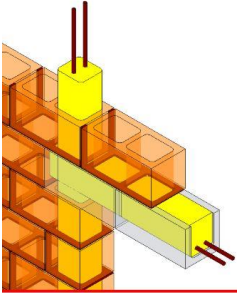


Fonte: Gomes e Barros (2018).

Há falta de consenso na definição das etapas de projeto em que a integração deve ocorrer, pois estas diferem em cada país, tornando difícil precisar o estágio de projeto que a ACV deve ser conduzida. No estudo de Passer et al. (2020), 26% dos estudos analisados indicaram a aplicação da ACV nas fases iniciais de projeto, embora esta definição ainda permaneça obscura. As fases de projeto são fortemente relacionadas com o nível de desenvolvimento “*Level of Development*” (LOD) do modelo BIM. O LOD define a geometria e os atributos não geométricos fornecidos pelo modelo, representa o grau de completude em que um elemento está modelado e é quantificado de LOD 100 a 500, com a adição de informações progressivamente conforme o estágio de projeto (AIA, 2015; PASSER et al., 2020).

As definições dos LODs e suas categorias no modelo BIM são apresentadas no estudo de Varela (2021), conforme o Quadro 2, de acordo com diferentes fontes analisadas, quais sejam o AIA (*American Institute of Architects*), Gomes e Barros (2018) e o BIM Forum (2019), incluindo imagens ilustrativas referentes ao “quadro estrutural do piso (moldura de alvenaria)”, representando o avanço dos níveis de detalhamento (VARELA, 2021).

Quadro 2 - Comparação entre definições das categorias de LOD

LOD	Fontes			Imagem ilustrativa (BIM Forum, 2019)
	AIA (2015)	Gomes e Barros (2018)	BIM Forum (2019)	
100	Os elementos do modelo consideram as três dimensões, localização e orientação.	Projeto conceitual, os elementos consideram as três dimensões, localização e orientação ou são representados por outros dados, com informações aproximadas.	Elementos do modelo não são representações geométricas. Eles são informações atreladas a objetos ou símbolos e não possuem uma localização específica.	Não representado
200	Os elementos do modelo fazem menção às quantidades, tamanho, forma, localização, orientação aproximadas e eventuais informações não geométricas.	Referente ao desenho esquemático, elementos são modelados como sistemas generalizados ou conjuntos com quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização e orientação.	Espaços representados genéricos e informações devem ser consideradas aproximadas.	 <small>76 B2010.04-LOD-200 Exterior Wall (Masonry)</small>
300	Modelagem com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação precisos. Inserção de informações não-geométricas devem ser consideradas.	Elementos modelados como conjuntos específicos precisos em quantidade, tamanho, forma, localização e orientação e podem ser utilizados para simulações energéticas e análises de desempenho ambiental.	Modelagem com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação precisos. Inserção de informações não-geométricas devem ser consideradas, assim como o ponto de origem do projeto.	 <small>77 B2010.04-LOD-300 Exterior Wall (Masonry)</small>
350	Não considerado	Não considerado	Peças de coordenação de elementos e suportes são modeladas. Dimensões geométricas e localização são consideradas, outras informações não aparecem, apenas inseridas nos elementos.	 <small>78 B2010.04-LOD-350 Exterior Wall (Masonry)</small>
400	Elementos modelados como montagens específicas precisas - tamanho, forma, localização, quantidade e orientação, com informações completas sobre fabricação, montagem e detalhes. Informações não-geométricas inseridas nos elementos.	Elementos modelados com medidas geométricas e localização precisas com detalhamento da fabricação completa, montagem e informações. Elementos do modelo são representações virtuais do elemento proposto e são adequados para construção. - projeto executivo	Modelado com detalhes e precisão suficientes para fabricar o componente. Informações quantitativas, geométricas e de localização podem ser medidas no modelo sem se referir a informações não modeladas, como notas ou chamadas de dimensão.	 <small>79 B2010.04-LOD-400 Exterior Wall (Masonry)</small>
500	Modelado com dimensões e orientações atuais do construído e informações não geométricas são inseridas ao modelo.	Modelo <i>as built</i> , em que os elementos são modelados como conjuntos reais e precisos em tamanho, forma, localização, quantidade e orientação.	Não considerado	Não representado

Fonte: Varela (2021), adaptado de AIA (2015), Gomes e Barros (2018) e BIM Forum (2019).

Dalla Mora et al. (2020) indicam que a integração entre BIM e ACV se divide na modelagem nas fases iniciais de projeto, ou nas fases de projeto detalhado, sendo que a tendência dos últimos anos mudou do foco na fase inicial de projeto para o estágio detalhado. No início do projeto, a integração é caracterizada por menor esforço e maior flexibilidade para permitir que as partes interessadas avaliem diferentes cenários. Porém, esta aplicação possui dificuldades nos dados de entrada necessários, muito específicos em uma fase embrionária do projeto. Já a abordagem voltada ao estágio detalhado de projeto pode reduzir até pela metade os resultados de impactos ambientais das fases iniciais, entretanto demanda um conhecimento mais avançado, com dados mais precisos. Desta forma, verifica-se um paradoxo e importante ponto de discussão, quanto ao momento mais adequado para conduzir a ACV, com as informações técnicas necessárias, sem inviabilizar a conclusão do projeto. Para encontrar esse equilíbrio, a pesquisa indica que o LOD demonstrou ser o conceito-chave da integração entre BIM e ACV, com estreita relação entre o LOD escolhido e o estágio de desenvolvimento de projeto para cada estudo de caso analisado (DALLA MORA et al., 2020).

As pesquisas mais recentes apontam que o nível de detalhamento mais utilizado para integração com a ACV é o LOD 300, principalmente quando considerada toda a edificação como unidade funcional. Isto demonstra que o modelo BIM a partir do LOD 300 está alinhado ao nível de precisão praticado para a ACV de edificações completas e que estes modelos podem de fato ser preparados para facilitar a condução da ACV com baixa complexidade, através de uma medida operacional de alta eficácia. Neste nível de detalhe, o modelo atinge uma maturidade aceitável e descreve a função geral por meio de um objeto específico com quantidades, dimensões, tamanhos, localização e orientação (GOMES; BARROS, 2018; NILSEN; BOHNE, 2019; DALLA MORA et al., 2020; PASSER et al., 2020; AZARIJAFARI; SAFARI, 2021).

3.3 SÍNTESE DOS ESTUDOS ANALISADOS E OPORTUNIDADES DE PESQUISA SOBRE A ACV NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS

De acordo com a estrutura e as etapas mínimas apresentadas para o desenvolvimento de projeto de uma edificação em instituições públicas, é possível verificar as especificidades deste processo, as partes interessadas envolvidas e a sua diferenciação em relação ao processo de projeto convencional, em especial pelos regramentos aplicáveis, maior nível de detalhamento e diversas etapas de avaliações até a sua finalização. O conhecimento destas

características pode facilitar a inclusão da avaliação de desempenho ambiental das edificações, a partir da identificação de quais etapas em que a inserção da ACV é mais eficaz, com a adequada previsão dos seus requisitos e critérios normativos. Portanto, o desenvolvimento de um procedimento metodológico pode contribuir para a orientação e padronização da aplicação da ACV no processo de projetos de edificações públicas.

Para atingir este objetivo, a partir da revisão de literatura, buscou-se verificar o panorama da abordagem atual sobre a aplicação da ACV nas fases iniciais de projeto. A análise dos estudos selecionados permitiu verificar a grande variabilidade de enfoques e da estrutura dos métodos desenvolvidos. Embora o objetivo principal das propostas seja, na sua significativa maioria, subsidiar a tomada de decisão de projetistas, observa-se que não há uma padronização ou replicabilidade ampla dos modelos, pois os mesmos apresentam limitações, demandando adaptações locais, regionalização de bancos de dados e inventários utilizados, assim como adequações às certificações e normativas que variam de acordo com cada contexto.

Algumas temáticas se destacam entre os estudos como, por exemplo, o desenvolvimento de estruturas metodológicas baseadas em projetos paramétricos, em uma abordagem que as soluções de projeto são representadas por escolhas de parâmetros pré-estabelecidos, tendo como benefícios a possibilidade de um processo de otimização das configurações do projeto, testando diferentes soluções, simultânea e automaticamente. Os parâmetros podem permitir, por exemplo, a otimização das formas e volumes do edifício, elementos de construção, desempenho energético e impactos ambientais (HESTER et al., 2018b; JUSSELME et al., 2018; LOBACCARO et al., 2018; MEEEX et al., 2018; HOLLBERG et al., 2020).

Parte dos estudos analisados possui também o enfoque na inclusão do desempenho ambiental nas fases iniciais de projeto a partir de métodos estruturados em roteiros de aplicação, combinando técnicas estatísticas, computacionais e análise de sensibilidade, a fim de permitir comparações de soluções construtivas (HESTER et al., 2018b; JUSSELME et al., 2018; DUPREZ et al., 2019). Outros estudos trazem métodos baseados em certificações ambientais de edifícios ou voltados para uma região específica (KREINER et al., 2015; MARSH, 2016; KUMANAYAKE; LUO, 2017; WAN OMAR, 2018; KANAFANI et al., 2019).

Por outro lado, verificou-se também a exploração de métodos para integrar a ACV e ACCV como subsídio às decisões de projeto (BASBAGILL et al., 2017; DEJACO et al., 2020; DIAS et al., 2021). Das publicações do primeiro grupo temático da revisão (aplicações da ACV nas

fases iniciais de projeto), apenas um estudo é voltado para edifícios públicos no cenário internacional (KREINER et al., 2015), e um artigo trata da inserção da avaliação de desempenho ambiental nas compras públicas do contexto brasileiro (TIMM et al., 2021).

Não há também uma sintonia entre os métodos quanto ao escopo considerado em cada estudo. Apenas cerca de 30% dos estudos analisados no grupo temático de ACV nas fases iniciais de projeto permitem abordar de forma expressa todos os estágios do ciclo de vida dos objetos avaliados (AZZOUZ et al., 2017; KUMANAYAKE; LUO, 2017; HESTER et al., 2018b; KANAFANI et al., 2019; DUPREZ et al., 2019; HOLLBERG et al., 2020; TIMM et al., 2021) e não se verificou uma abordagem consolidada nos modelos quanto à utilização de edificações completas para a condução das ACVs nas comparações entre soluções de projeto.

Nos estudos analisados, não foi possível identificar um consenso quanto à definição e estrutura das fases iniciais de projeto. Os modelos que não empregam a ACV integrada ao BIM não formam um entendimento comum sobre em qual das fases iniciais de projeto a ACV deve ser empregada. As publicações analisadas possuem abordagens diversas, e por vezes complexas, que podem ser muito úteis a especialistas em ACV. Porém, há escassez de modelos simplificados, voltados à utilização conjunta com projetistas e profissionais do setor da construção, de forma integrada ao processo de projeto.

Quanto à integração da ACV com o BIM no processo de projeto, tema com maior número de publicações verificadas na revisão, foi possível verificar tendências promissoras para a inclusão da ACV no processo de projeto através da otimização desta técnica em conjunto à ferramenta BIM. Entretanto, ainda há necessidade de estudos com maiores desenvolvimentos na integração entre os *softwares* de ACV e a plataforma BIM, existindo atualmente diferentes níveis desta integração. A maioria das aplicações voltadas à utilização do BIM referem-se à extração de listas de quantitativos e especificações de projeto para utilização separada em um software de ACV (GOMES; BARROS, 2018; NILSEN; BOHNE, 2019; DALLA MORA et al., 2020; PASSER et al., 2020; AZARIJAFARI; SAFARI, 2021).

Em paralelo, o emprego do BIM está cada vez mais presente no desenvolvimento de novos projetos no contexto brasileiro, e para acelerar a sua implementação na área pública, em 2020 foi publicado o Decreto Federal nº. 10.306, o qual estabelece a utilização do BIM na execução de obras e serviços de engenharia por órgãos e entidades da administração pública federal. O Decreto determina que o BIM será implementado de forma gradual, em três fases, sendo a

última no ano de 2028, são dispostos critérios e requisitos para adequações nos projetos, além de regras gerais a serem seguidas nas contratações de empresas para elaboração de projetos com a utilização desta ferramenta (BRASIL, 2020).

A pesquisa sobre a integração entre ACV e BIM contribui substancialmente também para a definição da etapa de projeto em que deve ocorrer a condução de uma avaliação de desempenho ambiental. Mesmo sendo pacífico o entendimento de que o emprego da ACV seja mais eficiente nas fases iniciais de projeto, são necessários dados e especificações mínimas para que um estudo deste tipo possa ter um nível de robustez aceitável e seja válido (JUSSELME et al., 2018; PASSER et al., 2020; ROBERTS et al., 2020).

Desta forma, embora a revisão sistemática tenha sido conduzida com o foco nas fases iniciais de projeto, conforme os estudos analisados verificou-se que ainda existem barreiras para uma aplicação adequada da ACV nestes estágios de projeto. Portanto, há de se encontrar um equilíbrio entre a fase de projeto que ainda permita flexibilidade em alterações de soluções construtivas, a depender dos resultados da avaliação de desempenho ambiental, mas, ao mesmo tempo, que possua um maior nível de detalhamento, de modo a fornecer os dados necessários para a realização da ACV com precisão. Nesse sentido, os estudos apontam que o nível de detalhamento mais utilizado em projetos BIM para integração com a ACV é o LOD 300 (GOMES; BARROS, 2018; DALLA MORA et al., 2020; PASSER et al., 2020; AZARIJAFARI; SAFARI, 2021), o que corresponde ao desenvolvimento do projeto básico da estrutura de projeto de uma edificação pública, com nível de maturidade aceitável para avaliar as soluções de projeto sob o aspecto ambiental.

A partir da revisão dos estudos, identificam-se oportunidades de pesquisa, principalmente quanto ao desenvolvimento de procedimentos para padronização e simplificação da técnica de ACV, da sua aplicação ao contexto das edificações públicas, ainda pouco explorado, e na integração otimizada desta técnica com o BIM no processo de projeto. Especificamente para esta dissertação, o conhecimento do processo de projeto de edificações públicas, o estado da arte sobre os métodos desenvolvidos para aplicação da ACV nas fases iniciais de projeto e a integração da técnica com o BIM, principalmente na definição das etapas de projeto a serem estudadas, formaram os subsídios para a definição da estrutura metodológica proposta.

4 MÉTODO DE PESQUISA

4.1 ESTRATÉGIA E DELINEAMENTO DE PESQUISA

De acordo com Van Aken (2004), as disciplinas científicas são distinguidas em três categorias: (i) ciências formais, cuja missão é construir sistemas de proposições através de consistência lógica interna, exemplificadas pela matemática e filosofia; (ii) ciências explicativas, que buscam descrever e prever fenômenos observáveis, tendo como produto de pesquisa típico o modelo causal, representadas nas ciências naturais e sociais; e (iii) as ciências do design, ou pesquisas construtivas, representando a *Design Science Research* (DSR), que buscam desenvolver conhecimentos para resolver problemas de construção, realização de artefatos, ou na melhoria de desempenho de entidades existentes, exemplificadas pelas ciências médicas e de engenharia (VAN AKEN, 2004).

A estratégia definida para ser utilizada nesta pesquisa é a DSR, sendo que um ponto forte desta abordagem consiste no seu foco explícito de melhoria da prática, com significativa relevância no desenvolvimento de proposições que resolvam problemas reais, tendo como desafio a capacidade de criar contribuições teóricas, já que seu objetivo mais imediato é resolver um problema (HOLMSTROM et al., 2009).

A DSR contém quatro tipos de produtos: constructos, modelos, métodos e implementações. Os constructos são necessários para caracterizar os fenômenos, determinar soluções e os modelos são utilizados para descrever as relações entre os constructos. Os métodos são formas de realizar atividades direcionadas a objetivos e as implementações compreendem a realização de um artefato, operacionalizando os demais tipos de produto. Ao invés de apresentar teorias, a DSR se concentra em duas atividades básicas, construir e avaliar, com esforço para criar modelos, métodos e implementações inovadoras e valiosas (MARCH; SMITH, 1995).

As justificativas para escolha da estratégia de pesquisa por DSR estão relacionadas ao fato de que este estudo parte de um problema de pesquisa real, que é a dificuldade e complexidade para avaliação de desempenho ambiental em edificações durante o processo de projeto, vinculado à escassez de critérios de avaliação de impactos ambientais na concepção de edificações públicas, como medida para implementação mais efetiva de princípios de sustentabilidade neste setor. De forma complementar, o presente estudo visa desenvolver uma

solução prática, representando um artefato, que é uma estrutura metodológica para avaliação de desempenho ambiental, com aplicação em diferentes edificações, por profissionais técnicos e tomadores de decisão. Já a potencial contribuição teórica deste estudo está relacionada aos subsídios que a estrutura desenvolvida pode trazer à bibliografia referente à sustentabilidade no setor construção, especificamente no tocante a edifícios públicos.

Para testar a efetividade e usabilidade da estrutura metodológica desta pesquisa, foi utilizado um estudo de caso, definido por Gil (2002) como um estudo que permite o conhecimento detalhado de um objeto, com o propósito de descrever a situação do contexto em que é realizada uma investigação, formular hipóteses ou desenvolver teorias, explicar variáveis causais de determinado fenômeno em situações complexas, entre outros objetivos.

Após aplicação da estrutura metodológica no estudo de caso, foram conduzidos grupos focais com equipes técnicas em engenharia e arquitetura de instituições públicas, com aplicação de questionário, para avaliação do instrumento proposto. O grupo focal pode ser empregado para o entendimento das diferentes percepções acerca de um produto ou serviço, podendo ser considerado uma espécie de entrevista de grupo. A sua essência está relacionada à interação entre os participantes e o pesquisador, que objetiva coletar dados a partir da discussão focada em tópicos específicos e diretivos (IERVOLINO; PELICIONI, 2001).

A partir das contribuições das avaliações técnicas realizadas nos grupos focais, foram realizadas alterações e ajustes finais na estrutura metodológica, a fim de que a sua aplicação possa ocorrer da forma mais prática e adequada possível ao processo de projeto das instituições públicas. Por fim, é apresentada discussão dos resultados com outros estudos da literatura, além de serem verificadas as contribuições da pesquisa e propostas sugestões para trabalhos futuros.

4.2 DESENVOLVIMENTO DA ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL NO PROCESSO DE PROJETO DE EDIFÍCIOS PÚBLICOS

Para o desenvolvimento da estrutura metodológica foram considerados os requisitos e a estrutura estabelecidos pelas normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, especialmente para a definição das etapas de aplicação do instrumento. Em paralelo, as normas EN 15978:2011 e EN 15804:2013 foram consideradas para o detalhamento dos subitens e requisitos de cada

etapa da estrutura, já que tais normativas respaldam o enfoque para aplicação no ciclo de vida de edifícios.

Também foi analisado como se dá o processo de projeto de edificações em instituições públicas, quais são as etapas mínimas de projeto e os atores envolvidos, de modo que a estrutura metodológica seja adequada a este contexto e contenha os elementos necessários para ser empregada considerando a legislação vigente aplicável.

Desta forma, buscou-se desenvolver, além de um *framework* de aplicação ao processo de projeto, outras ferramentas que possam auxiliar a avaliação de desempenho ambiental, como um roteiro de aplicação, a definição de especificações e requisitos para inclusão nos documentos das contratações de projetos de edifícios públicos, um arquivo anexo com o detalhamento do *framework* aplicado ao estudo de caso, e a matriz com definição das partes interessadas em cada etapa de aplicação da estrutura metodológica.

Adicionalmente, o instrumento foi elaborado a partir das informações obtidas na revisão de literatura, considerando os métodos existentes e a integração entre BIM e ACV. Neste ponto, buscou-se elaborar a estrutura metodológica considerando a possibilidade do projeto ser ou não desenvolvido em BIM, de modo a contemplar da forma mais ampla possível a realidade dos projetos de edificações, embora a legislação recente discipline a respeito da necessidade da implantação do BIM no setor público pelos próximos anos (BRASIL, 2020).

A estrutura metodológica sofreu ajustes a partir da experiência prática de aplicação em um estudo de caso, com a avaliação de diferentes cenários de projeto, além das contribuições advindas das avaliações realizadas pelas áreas técnicas das instituições públicas entrevistadas. Tais ajustes visaram tornar a avaliação de desempenho ambiental mais didática e prática, com maior facilidade de execução e a definição clara das etapas estabelecidas.

Na Figura 9 é apresentado o fluxo das principais ações sequenciais executadas para o desenvolvimento da estrutura metodológica de avaliação de desempenho ambiental, de acordo com a estratégia de pesquisa apresentada. Tais atividades foram organizadas em 6 etapas, de modo a obter o aprimoramento da estrutura metodológica e das ferramentas auxiliares desenvolvidas.

Figura 9 - Fluxo das ações adotadas para o desenvolvimento da estrutura metodológica de avaliação de desempenho ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

4.3 ESTUDO DE CASO

Para testagem do instrumento proposto, foi utilizado um estudo de caso de projeto padrão de edifício de uso administrativo do Ministério Público Federal (MPF), com área total construída de 830,85 m² e projeto replicável para utilização em todo o território nacional. O projeto é voltado para a instalação de sedes de Procuradorias da República e já foi executado nos municípios de Sousa, na Paraíba, Serra Talhada, em Pernambuco, e em Caxias, no Maranhão. Na Figura 10 e na Figura 11 constam perspectivas das fachadas da edificação, sendo possível a ampliação de até 400 m² da área total de projeto.

Embora se tratar de um projeto padrão, com possibilidade replicação em todo território nacional, esta configuração de projeto foi executada apenas em estados da região Nordeste do Brasil. A depender da localização de execução da obra, são necessários ajustes e alterações dos sistemas e elementos construtivos previstos, em função da inadequação de determinadas

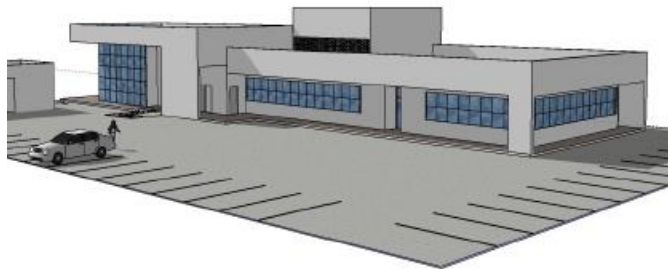
soluções construtivas ou materiais para algumas zonas bioclimáticas, a fim de evitar que o projeto original apresente falhas ao se ajustar ao contexto local de cada caso.

Figura 10 - Perspectiva frontal do projeto padrão de edifício público adotado como estudo de caso



Fonte: MPF (2019).

Figura 11 – Perspectivas lateral e posterior do projeto padrão de edifício público adotado como estudo de caso



Fonte: MPF (2019).

As fundações do edifício são compostas por elementos do tipo sapatas e o sistema estrutural por pilares, vigas e lajes em concreto armado. As vedações verticais externas são formadas por alvenarias de tijolos cerâmicos, e nas vedações internas, além dos tijolos cerâmicos, há também divisórias de gesso acartonado. O sistema de cobertura é disposto em telhas de aço galvanizado trapezoidal, com utilização de perfis de aço estrutural. As esquadrias externas possuem caixilhos de alumínio e utilizam vidros temperados e laminados. Os pisos da edificação são em porcelanato e há também pisos táteis em placas de concreto para atendimento das normas de acessibilidade. O revestimento das alvenarias é especificado em chapisco e emboço, com massa acrílica e pintura, e nas fachadas externas há aplicação de pastilhas porcelanizadas.

O projeto apresenta ainda especificações e detalhamentos para instalações hidrossanitárias, impermeabilização, drenagem de águas pluviais, instalações elétricas, sistema de prevenção e combate a incêndio, sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), climatização, rede estruturada e instalações de gás liquefeito de petróleo (GLP). A descrição dos principais insumos e componentes dos sistemas construtivos, conforme o projeto e planilha orçamentária do estudo de caso, são relacionados na Tabela 8, constante no Apêndice A.

O detalhamento dos quantitativos, unidades de medição e a relação dos itens incluídos e excluídos na avaliação do estudo de caso são abordados no subitem 4.4. O projeto do estudo de caso não foi disponibilizado em BIM, portanto o levantamento dos quantitativos e insumos foi realizado a partir das planilhas orçamentárias, além das informações de projeto e de consumo de energia elétrica e água potável no uso da edificação.

4.4 ASPECTOS DE ACV PARA APLICAÇÃO DA ESTRUTURA METODOLÓGICA NO ESTUDO DE CASO

4.4.1 Objetivo e escopo

A utilização da técnica de ACV no método desta pesquisa tem por objetivo avaliar os potenciais impactos ambientais de edifícios públicos, com base em comparações de cenários de ciclo de vida na etapa de projeto básico, subsidiando a escolha de soluções de melhor desempenho ambiental. O público-alvo se refere a área técnica (engenheiros e arquitetos) de instituições públicas e projetistas de edificações, com poder decisório durante a concepção das edificações públicas.

A unidade funcional definida foi a edificação completa, com área total de 830,85 m². Neste sentido, buscou-se utilizar a maior quantidade de dados de materiais e insumos disponíveis para o cenário base, extraídos do projeto existente da edificação avaliada, com base nas planilhas orçamentárias e especificações de projeto. Porém, em função da grande quantidade de itens (510 tipos diferentes de itens/insumos) e da limitação de processos correspondentes na base de dados, foi necessário aplicar critérios de corte.

A EN 15804 dispõe sobre os critérios de exclusão de entradas e saídas de dados em um processo unitário, que corresponde ao menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual os dados de entrada e saída são quantificados. A norma define que a aplicação dos critérios de corte deve ser documentada e que em caso de dados de

entrada insuficientes ou lacunas de dados, os critérios de corte devem ser de 1% do uso de energia primária renovável e não renovável e 1% da entrada em massa total do processo unitário avaliado. O total de fluxos de entrada negligenciados por módulo, por exemplo, módulo A1-A3, A4-A5, B1-B5, B6-B7, C1-C4 e módulo D, deve ser de, no máximo, 5% do consumo de energia e da massa (CEN, 2013).

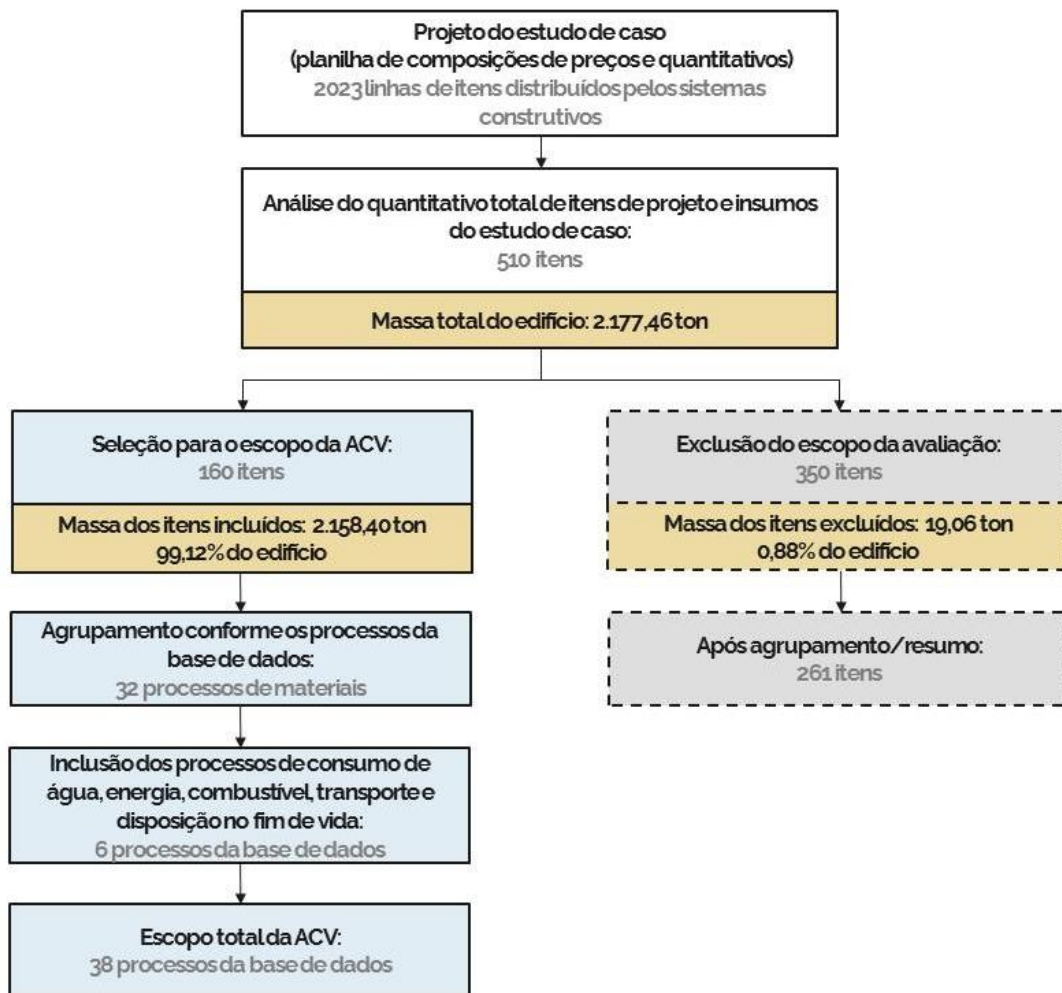
Em função disso, para delimitar o escopo da avaliação, inicialmente foi analisada a planilha de composições de preços do projeto do estudo de caso, a qual continha 2023 linhas de itens e insumos para os diferentes sistemas construtivos. Foi realizada uma análise do total de itens, verificando-se um total de 510 tipos diferentes de materiais previstos. Após uma análise pormenorizada dos itens existentes e a busca na base de dados de impactos ambientais por processos correspondentes, foi adotado como critério de corte a exclusão dos itens que não possuem um processo aplicável na base de dados ou que, pela sua composição (diferentes tipos de matérias-primas dentro de um mesmo produto, equipamento ou material), se demonstrou inviável o enquadramento nos processos existentes da base de dados. Não foram considerados serviços provisórios, durante o estágio de construção, ou no entorno da edificação, como pavimentação, guaritas, postes, cercamento e paisagismo.

A partir destes critérios, 350 itens do projeto foram excluídos da avaliação. Parte destes itens possuía composição similar, apenas diâmetros ou dimensões diferentes, portanto, os mesmos foram agrupados, quando possível, resultando no total de 261 itens excluídos. Embora tal número seja significativo, foi realizado o levantamento da massa total do projeto, verificando-se que o total de itens excluídos representa apenas 0,88% da massa da edificação, sendo que os itens incluídos no inventário do ciclo de vida correspondem a 99,12% da massa total. Desta forma, foi atendido o critério de exclusão indicado pela EN 15804, quanto ao percentual de entradas em massa dos processos avaliados (CEN, 2013). A relação dos itens excluídos do inventário, com a sua representatividade mássica, consta na Tabela 9 do Apêndice B.

Os 160 itens de projeto selecionados para o escopo da avaliação, que representam 99,12% da massa da edificação, foram agrupados de acordo com a sua matéria-prima predominante, sendo definidos 32 processos de materiais da base de dados. De forma complementar, foram incluídos também na avaliação os processos relativos ao consumo de energia elétrica (módulos A5 e B6), consumo de água operacional (módulo B7), consumo de diesel (módulos A5 e C1), os processos referentes aos transportes rodoviário (módulos A4, B4 e C2) e

marítimo (módulos A4 e B4 para os cenários alternativos de projeto), e o processo de disposição final dos resíduos de demolição, no fim de vida da edificação (módulo C4). No total, foram modelados 38 tipos diferentes de processos da base de dados, distribuídos entre os diferentes sistemas construtivos e estágios do ciclo de vida do estudo de caso. Na Figura 12 consta um fluxograma com resumo dos procedimentos adotados de seleção de dados e aplicação dos critérios de corte, sendo que o detalhamento dos itens incluídos na avaliação, quantitativos e processos utilizados são apresentados no subitem 4.4.2, compondo o inventário do ciclo de vida.

Figura 12 - Fluxograma de seleção de dados e aplicação dos critérios de corte no estudo de caso analisado



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os estágios do ciclo de vida considerados são os de produção (módulos A1 a A3), construção (módulos A4-A5), o estágio de uso, incluindo as reposições de sistemas construtivos (módulo B4), consumo de energia operacional (módulo B6) e água operacional (módulo B7), e o

estágio de fim de vida (módulos C1, C2 e C4). Assim, a avaliação abrange o ciclo de vida do berço ao túmulo, embora sem considerar os benefícios além do ciclo de vida (módulo D), conforme detalhamento constante na Tabela 11 do Apêndice C.

4.4.2 Inventário do ciclo de vida (ICV)

O inventário do ciclo de vida do cenário base foi estruturado a partir da conversão dos dados coletados do projeto para as unidades de medida dos processos correspondentes da base de dados. O *software* utilizado para a modelagem de ACV foi o *OpenLCA*, versão 1.10.2, e a base de dados para o cenário base foi a *Ecoinvent*, versão 3.6. O modelo de sistema empregado foi por alocação com corte por classificação (*Allocation, cut-off by classification*). Na definição de cenários alternativos de projeto para parte dos sistemas construtivos, por indisponibilidade na base de dados da *Ecoinvent*, foram utilizados os dados de impactos ambientais de DAPs coletadas da plataforma internacional *EPDSystem* (EPD, 2022).

Para o estágio de produção do ciclo de vida (módulos A1-A3), os sistemas construtivos foram categorizados da seguinte forma: fundações, estruturas, pisos, sistema de vedações verticais internas e externas (SVVIE), revestimento de vedações e fachadas, cobertura, esquadrias, pintura, instalações hidrossanitárias, instalações de prevenção e combate a incêndio, instalações elétricas e sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), rede estruturada (instalações de telecomunicações e internet), climatização e sistemas adicionais (compreende instalações de gás liquefeito de petróleo, impermeabilização e materiais diversos). A divisão dos processos para a modelagem na base de dados considerou a nomenclatura e distribuição do projeto e da planilha orçamentária do estudo de caso, para fins de organização do estudo. Porém, este padrão não seguiu por completo o ordenamento estabelecido na norma técnica NBR 12721:2006, a qual trata da avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios de edifícios (ABNT, 2006).

Referente ao estágio de construção, para o módulo A4 foi realizado levantamento das distâncias de transporte rodoviário de potenciais indústrias e fornecedores próximos ao canteiro de obras, com localização em Caxias, no Maranhão. Considerando a limitada disponibilidade de indústrias e serviços no município avaliado, para a maior parte dos materiais e insumos foi necessário considerar o fornecimento oriundo de outros municípios, como Teresina, no Piauí, com distância aproximada de 76 km, e São Luís, no Maranhão, distante cerca de 340 km. Foram considerados também outros estados do país, dependendo da

especificidade dos materiais incluídos no escopo da avaliação. Devido à dificuldade de obtenção de dados nacionais para os consumos por equipamentos durante a construção da edificação, no módulo A5 utilizou-se como estimativa o consumo de energia e combustível por m² de área bruta de um edifício alto, localizado em Hong Kong, por ser a única referência encontrada (YAN et al., 2010).

No estágio de uso, foi considerado o período de vida útil de referência de 50 anos para a edificação completa, conforme a vida útil mínima de projeto indicada pela norma de desempenho de edificações NBR 15575:2021. De igual modo, a vida útil de projeto dos componentes dos sistemas construtivos foi baseada na tabela C6 da NBR 15575:2021, parte 1, com uma análise caso a caso dos períodos de vida útil previstos entre os níveis mínimo e intermediário, considerando-se a substituição integral dos materiais ao final da sua vida útil, o que corresponde a um critério conservador para a definição dos períodos de vida útil de projeto. Embora esta normativa seja voltada para o desempenho de edificações residenciais, a mesma foi utilizada como parâmetro, por se tratar da única referência no contexto nacional que aborda os prazos de vida útil no setor da construção.

As definições de período de vida útil dos sistemas construtivos e a consideração de sua reposição integral ao término da vida útil podem ser fontes de incertezas e comprometer as escolhas realizadas na avaliação de desempenho ambiental. Portanto, para avaliar a influência destas definições nos resultados da ACV, foi conduzida uma análise de sensibilidade, a ser tratada especificamente no subitem 5.2.3.

Para os módulos B6 e B7, foram considerados os consumos de energia elétrica e água potável medidos durante um ano de utilização da edificação do estudo de caso (Abril/2019 a Março/2020), com projeção destes consumos pelo período de 50 anos, correspondente à vida útil prevista da edificação.

Nos levantamentos de quantitativos de materiais dos sistemas construtivos, tanto para os estágios de construção como de uso do edifício, não foram adicionados valores referentes a perdas ou quebras, pois o projeto do estudo de caso possui composições de custos baseadas no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), as quais já incluem percentuais de perdas e quebras. O SINAPI é a principal referência de custos para obras públicas urbanas, sendo que a legislação estabelece a sua utilização como prioritária para balizar custos de serviços contratados com recursos do Orçamento Geral da União. A

Caixa Econômica Federal é responsável pelo processo de aferição das composições de custos do SINAPI e pela sua publicação periódica (CAIXA, 2020).

Quanto ao estágio de fim de vida, no módulo C1 foi considerado o consumo de diesel de equipamentos e máquinas para a demolição da edificação, conforme dado de primeiro plano apresentado por Gomes et al. (2018) e Pulgrossi (2020). Para o cálculo da distância de transporte dos resíduos de demolição no estágio C2, foi considerado como destino o atual local de disposição de resíduos do município de Caxias, tendo em vista que a Prefeitura Municipal possui em andamento processo de concessão dos serviços de coleta e tratamento de resíduos do município pelo período de 30 anos. Tal contratação prevê que os resíduos de construção civil sejam destinados para a área considerada neste estudo e um plano de gerenciamento de resíduos está em desenvolvimento para futura destinação adequada, assim como a construção de um aterro sanitário na mesma localização (CAXIAS, 2022).

Portanto, considerou-se que as massas totais de resíduos de demolição das reposições dos sistemas construtivos, no módulo B4, e da demolição da edificação no fim de vida, módulo C4, foram dispostas em aterro sanitário, em um cenário conservador e alinhado à realidade atual do município. Conforme verificado por Morales et al. (2019), embora a legislação vigente recomende a redução, reutilização e reciclagem de resíduos sólidos de forma ambientalmente adequada, tais procedimentos ainda são muito limitados no contexto brasileiro. Através do cenário adotado, objetiva-se avaliar a representatividade da pior situação no fim de vida da edificação frente aos demais estágios, considerando que eventuais parcelas de tratamento ou reciclagem dos resíduos diminuiriam os potenciais impactos ambientais envolvidos.

Os processos da base de dados para todos os estágios do ciclo de vida foram selecionados com localização geográfica preferencialmente nacional (BR). Porém, quando não disponíveis dados regionalizados, foram utilizados processos do tipo *Rest of the World* (RoW) ou, em último caso, dados globais (GLO). Inicialmente, observou-se que mais de 90% da massa total dos itens considerados na avaliação, referente aos módulos A1-A3 e B4, estava concentrada em apenas 5 itens, dos quais 3 processos da base de dados são para o contexto brasileiro e 2 processos eram do tipo *RoW*.

Desta forma, 68,60% da massa total possuía processos voltados para o contexto brasileiro, e com a adaptação de apenas 2 processos, foi possível melhorar a qualidade dos dados

utilizados, substituindo o processo (*dataset*) da base de dados por um processo correspondente a matriz elétrica regional. Na Tabela 1 é possível verificar a relação dos itens com maior representatividade mássica nos módulos citados do ciclo de vida, os respectivos processos da base de dados e identificação de quais foram adaptados.

Tabela 1 - Adaptação de dados para os itens de maior massa nos módulos A1-A3 e B4

Item do projeto do cenário base	Processo na base de dados Ecoinvent	Massa nos módulos A1-A3 e B4 (%)	Adaptação da matriz energética 1º nível
Areias média e grossa	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	45,21	NÃO
Cimento Portland CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	5,63	NÃO
Concreto Usinado bombeável com brita 0 e 1, FCK = 25 MPa	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	17,76	NÃO
Pedra britada nº. 1 e 2	<i>Gravel, round / gravel and sand quarry operation / Cut-off, U - RoW</i>	17,69	SIM
Tijolos e lajotas cerâmicas	<i>Clay brick / production / Cut-off, U – RoW</i>	5,44	SIM
Total:		91,73%	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A adaptação dos *datasets* na base de dados foi realizada em primeiro nível e se limitou à alteração da matriz energética, conforme demonstrado na Tabela 10 do Apêndice C. Os módulos B6 e B7 do estágio de uso não foram considerados nesta análise de representatividade mássica, pois já possuem dados regionalizados na base *Ecoinvent*.

O detalhamento de todo o inventário do ciclo de vida consta no Apêndice C, sendo que na Tabela 11 é possível verificar os materiais e insumos considerados, sua classificação por sistema construtivo, os processos correspondentes na base de dados para a modelagem de ACV, os quantitativos por estágio do ciclo de vida, distâncias de transporte e a vida útil de projeto considerada para cada item. Já na Tabela 14 constam informações complementares referentes a critérios adotados na modelagem dos cenários base e alternativos de projeto.

4.4.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A metodologia de avaliação de impactos utilizada foi a CML (*baseline*) v4.4, Janeiro/2015, com a avaliação de 7 categorias de impactos em *midpoint*, estabelecidas pela EN 15804, detalhadas no Capítulo 2 deste estudo e elencadas no Quadro 1.

O cálculo dos impactos foi obtido através da modelagem dos processos criados no *software OpenLCA* para cada sistema construtivo ou estágio do ciclo de vida do cenário base de projeto da edificação. Os resultados foram exportados para planilhas eletrônicas e foi realizada análise de contribuição para verificação dos estágios do ciclo de vida com maior representatividade nos impactos potenciais. Na sequência, dentro de cada estágio, foi verificado quais os sistemas construtivos e componentes que possuem maior impacto associado, a fim de definir os *hotspots* do cenário base de projeto, ou seja, os principais elementos de influência nos impactos, para a adoção de cenários alternativos de projeto a serem modelados.

Com a inclusão dos dados de impactos ambientais coletados da plataforma *EPDSystem* para os cenários alternativos, a avaliação de impactos foi conduzida comparando as soluções de projeto do cenário base com as novas soluções modeladas, e com as respectivas contribuições de impactos potenciais ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. A etapa de avaliação de impacto foi inserida na estrutura metodológica desta pesquisa, com detalhamento constante no Capítulo 5.

Embora os conceitos relacionados à análise de incerteza e à avaliação do custo do ciclo de vida (ACCV) tenham sido abordados nesta pesquisa, na aplicação da estrutura metodológica para o estudo de caso não foram contempladas a análise de incerteza e a ACCV, em função das limitações temporais e de escopo da presente dissertação.

4.5 AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA METODOLÓGICA POR INSTITUIÇÕES PÚBLICAS

A estrutura metodológica desenvolvida foi submetida à avaliação de profissionais da área técnica de instituições públicas para verificar melhorias, alterações e a sua aplicabilidade à realidade do processo de projeto de edifícios públicos. Para participar da avaliação, buscou-se profissionais que atuem no planejamento, elaboração e fiscalização de projetos e obras de edifícios públicos, sendo realizados grupos focais com aplicação de entrevistas, por meio de videoconferência, no período de 29/12/2021 a 24/01/2022.

A avaliação foi realizada por 4 instituições com atuação na construção de edifícios públicos, na sua maioria de uso administrativo: (i) Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) – 2 arquitetas; (ii) Ministério Público Federal (MPF) – 2 arquitetas e 1

engenheira civil; (iii) Tribunal de Justiça do Rio Grande do Sul (TJRS) – 4 arquitetos e 1 engenheiro civil; (iv) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – 3 engenheiros civis. No total, foram entrevistados 13 profissionais, em 4 grupos focais, um para cada instituição participante.

A experiência em atividades técnicas relacionadas ao projeto, fiscalização ou construção de edifícios públicos variou entre 7 a 20 anos, sendo a experiência média dos profissionais participantes de 12,5 anos. Na Figura 13 consta a relação das instituições participantes e a área de formação dos profissionais entrevistados.

Figura 13 - Relação das instituições públicas e qualificação dos profissionais que participaram do processo de avaliação da estrutura metodológica



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O processo de avaliação da estrutura metodológica iniciou com o envio de material para leitura prévia dos participantes. Neste material constavam informações sobre o contexto e objetivos da pesquisa, alguns conceitos importantes relacionados à ACV, como a técnica é conduzida no setor da construção, os estágios do ciclo de vida de um edifício, quais são as categorias de impactos ambientais consideradas no estudo e o que elas representam.

Na sequência, havia um fluxograma sobre o processo de projeto em instituições públicas, a estrutura metodológica proposta, com *framework*, roteiro de aplicação, relação de partes interessadas, especificações e requisitos para inclusão nos processos de contratação pública, e a sua aplicação no estudo de caso, com resultados e análise de cenários alternativos de projeto.

Ao final do material, foram relacionadas 8 questões que seriam abordadas na realização do grupo focal, listadas a seguir:

- Pergunta 1: A etapa de projeto básico é adequada para a inclusão da avaliação de desempenho ambiental?
- Pergunta 2: Você considera que o método apresentado é adequado para auxiliar a equipe técnica de órgãos públicos e projetistas, na inclusão da avaliação de desempenho ambiental nos projetos de edifícios públicos?
- Pergunta 3: A estrutura metodológica apresentada contempla as informações necessárias para subsidiar a tomada de decisão na escolha de soluções construtivas, considerando o desempenho ambiental no processo de projeto?
- Pergunta 4: É necessário incluir alguma informação à estrutura metodológica?
- Pergunta 5: É necessário excluir alguma informação da estrutura metodológica?
- Pergunta 6: Você acha necessário detalhar mais as etapas da estrutura metodológica? Se sim, quais?
- Pergunta 7: Você considera adequadas as especificações e requisitos apresentados para inclusão da avaliação de desempenho ambiental nos processos de contratação de elaboração de projetos de edifícios públicos?
- Pergunta 8: Você tem alguma sugestão, crítica ou comentário adicional sobre a estrutura metodológica apresentada?

A realização de cada grupo focal iniciou com a apresentação dos participantes, sua área de formação e experiência profissional na área da avaliação, seguindo com a apresentação do material de subsídio enviado previamente, o esclarecimento de eventuais dúvidas e a aplicação das perguntas relacionadas da entrevista, com posteriores discussões técnicas.

As contribuições recebidas no processo de avaliação foram organizadas e, na sequência, foram realizados os ajustes e alterações na estrutura metodológica, cuja versão final consta no Capítulo 5, incluindo os resultados da avaliação realizada pelas instituições públicas.

5 RESULTADOS

5.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL

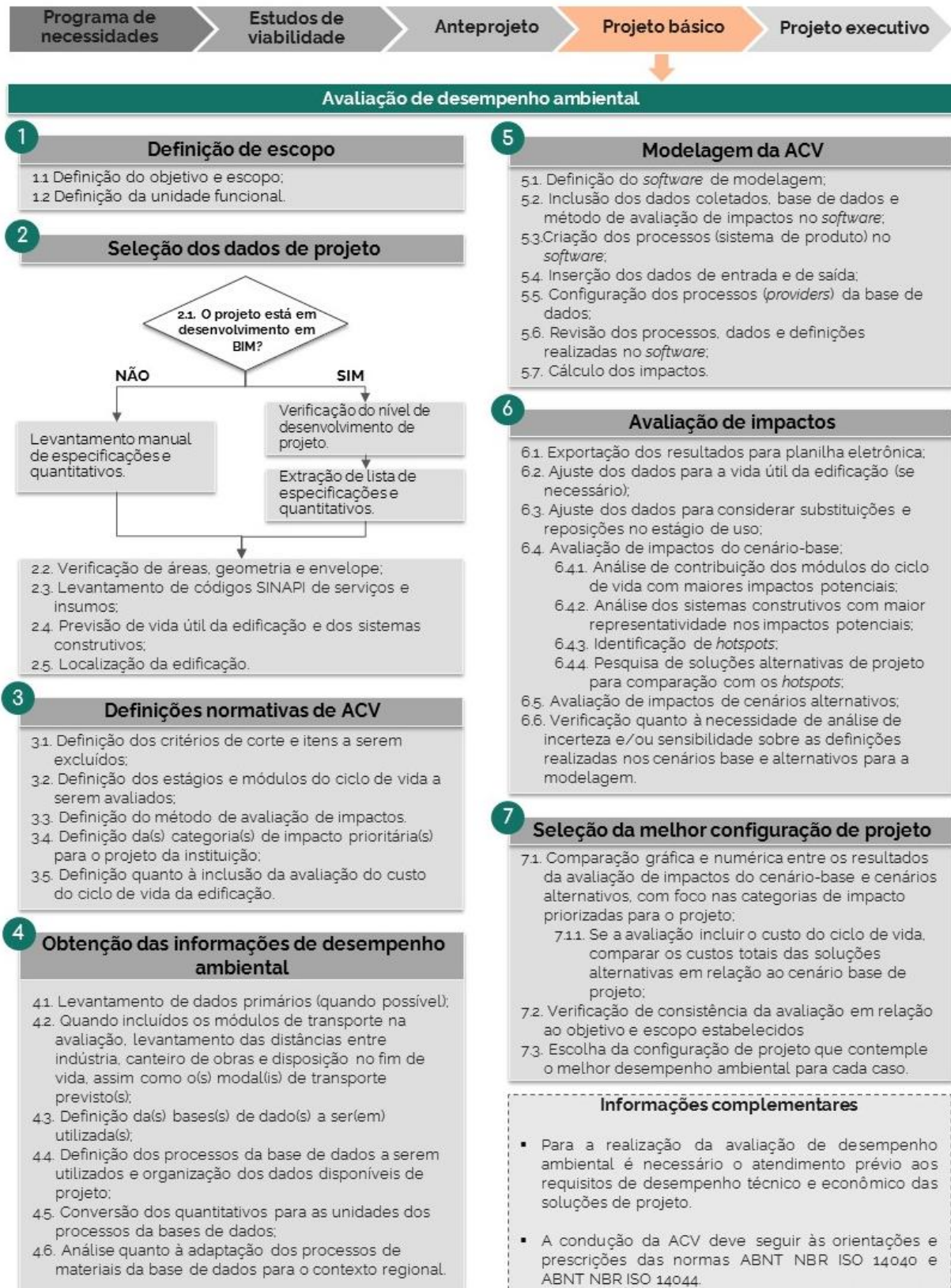
A estrutura metodológica proposta neste estudo integra a técnica de ACV com as informações disponíveis no desenvolvimento do projeto básico de edifícios públicos. O enfoque nesta etapa está relacionado ao momento em que as definições mais importantes de projeto são produzidas. Assim, a avaliação de desempenho ambiental pode ser inserida de forma mais eficiente, com a modelagem de soluções alternativas para a tomada de decisão, sem grandes alterações, o que poderia ocorrer se a avaliação fosse realizada em etapa posterior de projeto.

No caso de projetos desenvolvidos em BIM, a revisão de literatura permitiu identificar que o projeto básico está alinhado com o nível de detalhamento mais utilizado na integração entre ACV e BIM, que é o LOD 300, especialmente quando considerada toda a edificação como unidade funcional (GOMES; BARROS, 2018; NILSEN; BOHNE, 2019; DALLA MORA et al., 2020; PASSER et al., 2020; AZARIJAFARI; SAFARI, 2021). Neste nível de detalhe, o modelo BIM possui objeto com características correspondentes ao conceito de projeto básico vigente na administração pública, com precisão suficiente para definir e dimensionar a obra da edificação, como preconiza a legislação (BRASIL, 2021).

De qualquer forma, é recomendável que desde o início do projeto, no programa de necessidades, sejam estabelecidos requisitos para consideração do desempenho ambiental nas etapas posteriores, assim como objetivos a serem atingidos e eventuais prioridades da instituição pública na redução de impactos ambientais. Com isso, no projeto básico a avaliação de desempenho ambiental pode ser inserida de forma contextualizada.

O *framework* principal da estrutura metodológica proposta para avaliação de desempenho ambiental é apresentado na Figura 14 e possui como pressupostos para sua aplicação o atendimento prévio aos requisitos de desempenho técnico e econômico das soluções de projeto a serem avaliadas, assim como às orientações das normas ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044.

Figura 14 - *Framework* de avaliação de desempenho ambiental para aplicação no projeto básico de edifícios públicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

São previstas 7 etapas para aplicação do *framework* da estrutura metodológica, sendo que a etapa 1 contempla a definição do objetivo, escopo e unidade funcional, necessários para definir metas, permitir futuras comparações, assim como para caracterizar a forma em que os resultados da avaliação serão expressos, para fins de tomada de decisão.

A etapa 2 se refere à seleção de dados existentes até então em um cenário base de projeto e prevê a verificação quanto à utilização do BIM no desenvolvimento do projeto, para determinar como irá ocorrer a coleta de dados. Se o projeto estiver em BIM, os dados poderão ser extraídos diretamente do modelo BIM, caso contrário, deve ser realizado o levantamento manual das especificações e quantitativos disponíveis, a partir dos documentos técnicos de projeto e planilhas orçamentárias. Na sequência, são coletadas demais informações técnicas pré-definidas, a previsão de vida útil da edificação e dos sistemas construtivos, assim como a sua localização, sendo que tais dados são necessários para a modelagem de ACV. Cumpre salientar que se o projeto estiver em BIM, deve ser precedido de um Plano de Execução BIM (PEB), com um conjunto de protocolos e diretrizes para implementação do modelo.

Na etapa 3 estão concentradas definições relacionadas às prescrições normativas de ACV, como a aplicação de critérios de corte, quais estágios do ciclo de vida serão considerados, o método de avaliação de impactos e as categorias de impactos eventualmente prioritárias no projeto em estudo. Tais definições são importantes para a modelagem de ACV no *software* e podem impactar significativamente nos resultados da avaliação de desempenho ambiental. Também está prevista nesta etapa a definição quanto à inclusão da ACCV em conjunto à avaliação de desempenho ambiental, podendo contribuir no processo de tomada de decisão.

A obtenção das informações de desempenho ambiental deve ocorrer na etapa 4, em que é realizado o levantamento dos dados primários, quando possível, a verificação de distâncias de transporte e modais previstos, a definição da base de dados a ser utilizada e os respectivos processos de materiais, com organização dos dados disponíveis de projeto para inclusão no *software*. Nesta etapa também é prevista a análise quanto à adaptação dos processos de materiais da base de dados para o contexto regional, como realizado para o estudo de caso.

A modelagem de ACV é prevista na etapa 5 do método, com a definição do *software* a ser utilizado, a inserção e configuração dos dados no *software* de acordo com o ICV definido e o cálculo dos impactos ambientais potenciais.

Na etapa 6 do *framework* consta a avaliação de impactos, com a exportação dos resultados do *software* para planilha eletrônica, ajuste dos dados para considerar substituições e reposições de materiais e sistemas construtivos no estágio de uso e um detalhamento da avaliação dos impactos do cenário base de projeto. Tal avaliação contempla uma análise de contribuição dos módulos do ciclo de vida com maior representatividade nos impactos ambientais, seguida da análise dos sistemas construtivos destes módulos com maiores impactos associados e, por fim, a identificação de *hotspots* nos processos de materiais da base de dados, para verificar soluções alternativas de projeto. Na avaliação de impactos de cenários alternativos, o processo de modelagem, cálculo de impactos e exportação dos resultados ocorre de forma similar ao realizado para o cenário base. É prevista também a verificação quanto à necessidade de realizar uma análise de incerteza e/ou sensibilidade sobre as definições realizadas nos cenários base e alternativos, para considerar os efeitos das escolhas realizadas e da variabilidade dos dados nos resultados da modelagem de ACV. Nesta etapa, os procedimentos indicados nos subitens 6.1 e 6.5 são concentrados no *software* de modelagem de ACV, sendo os demais conduzidos no *software* utilizado para geração e organização de planilhas eletrônicas.

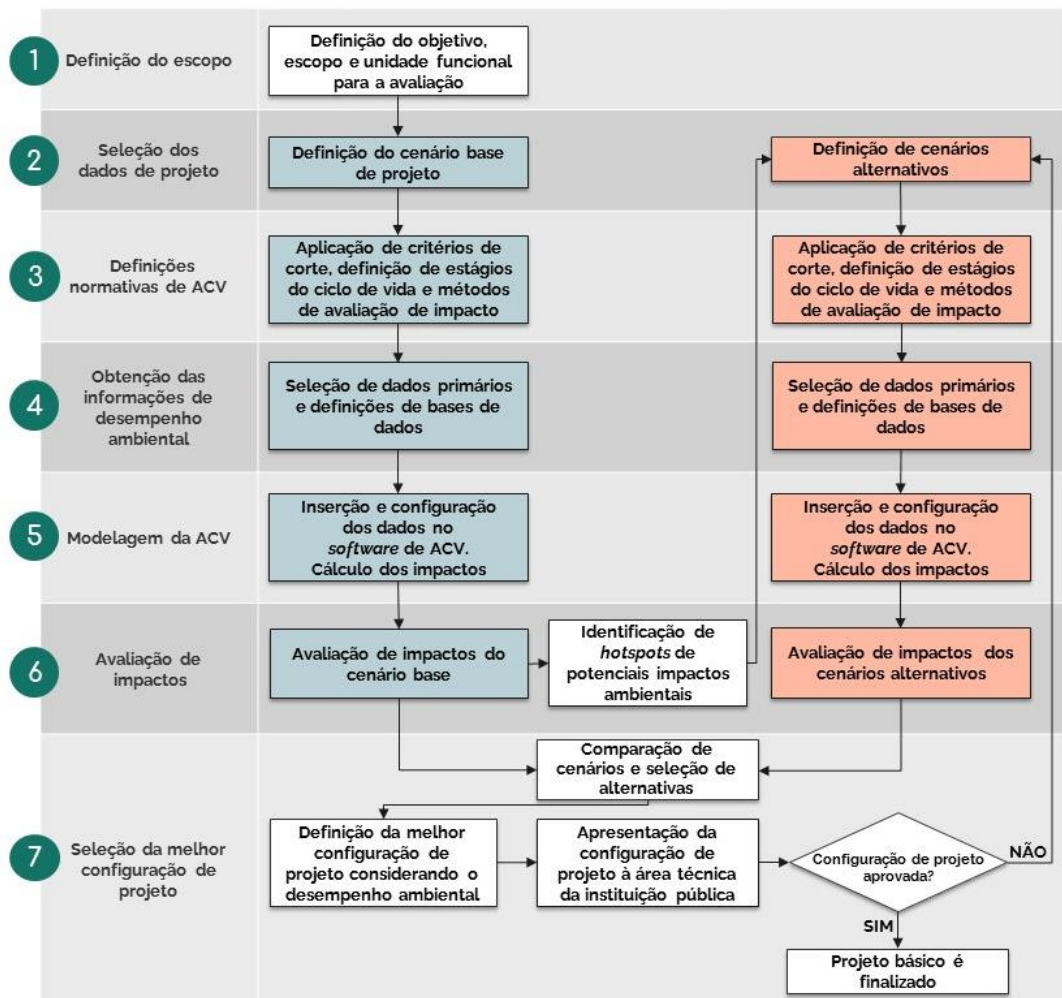
Concluindo a avaliação de desempenho ambiental, a etapa 7 contempla a seleção da melhor configuração de projeto para cada edificação estudada, mediante a comparação gráfica e numérica dos resultados de avaliação de impactos dos diferentes cenários de projeto. De forma complementar, pode ser considerada, quando houver, a avaliação do custo do ciclo de vida das alternativas modeladas. Tais comparações são importantes para subsidiar a tomada de decisão pelas equipes técnicas de instituições públicas e projetistas durante o desenvolvimento do projeto básico. Também é prevista uma verificação de consistência da avaliação, para uma checagem, antes da consolidação das conclusões do estudo, se as definições metodológicas adotadas foram realizadas de forma consistente, alinhadas ao objetivo e escopo definidos.

A escolha da configuração de projeto que contemple o melhor desempenho ambiental deve ser realizada de forma integrativa, considerando as diferentes disciplinas de projeto e atendendo a cada contexto específico. Na Tabela 15 do Apêndice D consta o detalhamento e a descrição de cada subetapa do *framework*, com os exemplos correspondentes de aplicação no estudo de caso analisado, visando facilitar o entendimento da avaliação de desempenho ambiental.

Além do *framework* de aplicação e da Tabela 15, a estrutura metodológica é composta por outras ferramentas auxiliares que visam auxiliar a execução da avaliação de desempenho ambiental. Trata-se de um roteiro de aplicação, de uma matriz de responsabilidades para aplicação do método, e de uma relação de requisitos técnicos para inclusão nos documentos de contratações públicas para elaboração de projetos, conforme exposto na sequência.

Na Figura 15 consta um roteiro com sequenciamento de aplicação da estrutura metodológica, que inicia com um cenário base de projeto (campos em azul), percorrendo as etapas previstas até a identificação de *hotspots*, e o prosseguimento do método para os cenários alternativos (campos em laranja). A partir deste fluxograma, é possível visualizar como será desenvolvida a avaliação até a etapa 7, em que são comparados os diferentes cenários de projeto e na qual ocorre a definição das soluções que melhor atendam ao desempenho ambiental.

Figura 15 - Roteiro para aplicação da avaliação de desempenho ambiental de acordo com os cenários de projeto



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tendo em vista complexidade relacionada à ACV, entende-se que para aplicação do instrumento é necessária a participação de especialistas da área ambiental, para garantir maior confiabilidade aos resultados. Portanto, independentemente de o projeto ser elaborado por empresa contratada ou pela equipe técnica da instituição pública, a avaliação deve ocorrer como uma disciplina complementar de projeto, elaborada por um especialista da área, mas sem dispensar a colaboração de projetistas das demais áreas e da instituição pública. Os especialistas em ACV devem possuir experiência e domínio sobre esta técnica e os seus requisitos normativos, assim como experiência na utilização de *softwares* para modelagem de ACV, utilização de bancos de dados de impactos ambientais, na estruturação de inventários do ciclo de vida e na realização de estudos de avaliação de impactos do ciclo de vida.

No Quadro 3 é apresentada uma matriz de responsabilidades em que são relacionadas as partes interessadas, envolvidas na avaliação de desempenho ambiental descrita na Figura 15, considerando o desenvolvimento do projeto básico pela própria instituição pública ou através de empresa especializada contratada.

Quadro 3 - Matriz de responsabilidades para a aplicação da avaliação de desempenho ambiental

Etapas da avaliação de desempenho ambiental	Projeto desenvolvido pela instituição pública	Projeto desenvolvido por empresa especializada contratada
1 a 5. Definição do escopo, seleção dos dados de projeto, definições normativas de ACV, obtenção das informações de desempenho ambiental, modelagem de ACV	<p>Área técnica da instituição pública disponibiliza os dados do projeto do cenário base e auxilia na definição de soluções técnicas para cenários alternativos.</p> <p>Especialistas em ACV conduzem a aplicação do método até a avaliação de impactos.</p>	<p>Projetistas da empresa contratada disponibilizam os dados do projeto do cenário base e auxiliam na definição de soluções técnicas para cenários alternativos.</p> <p>Especialistas em ACV conduzem a aplicação do método até a avaliação de impactos.</p>
6. Avaliação de impactos		<p>Empresa contratada apresenta as soluções técnicas propostas para cenários alternativos.</p> <p>Área técnica da instituição pública analisa e aprova os cenários alternativos para a modelagem.</p>
7. Seleção da melhor configuração de projeto	<p>Especialistas em ACV apresentam as comparações entre cenários.</p> <p>Área técnica avalia se as subetapas anteriores da avaliação foram seguidas e documentadas, e define a melhor configuração de projeto.</p> <p>Gestão/Diretoria administrativa da instituição pública aprova o projeto básico.</p>	<p>Especialistas em ACV apresentam as comparações entre cenários.</p> <p>Projetistas da empresa contratada escolhem a melhor configuração de projeto.</p> <p>Área técnica avalia se as subetapas anteriores da avaliação foram seguidas e documentadas, e define quanto à aprovação da configuração de projeto apresentada.</p> <p>Gestão/Diretoria administrativa da instituição pública aprova o projeto básico.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A partir da estrutura metodológica proposta, pretende-se que as equipes técnicas de instituições públicas, mesmo sem um conhecimento especializado em ACV, possuam subsídios para verificar se a avaliação de desempenho ambiental está sendo realizada pelas empresas contratadas de forma adequada, com decisões justificadas. Com isso, os critérios adotados para a avaliação dos impactos de cada cenário de projeto podem ser verificados.

Adicionalmente, almeja-se possibilitar a inserção de critérios objetivos, a serem previstos nas contratações públicas para elaboração de projetos de edificações, com a força de exigência contratual. Desta forma, foram elaboradas especificações que visam trazer maior segurança à instituição, quando esta contratar o desenvolvimento do projeto básico com previsão da avaliação de desempenho ambiental. A seguir, tais especificações são relacionadas, incluindo as contribuições das equipes técnicas das instituições públicas entrevistadas:

- a) A avaliação de desempenho ambiental deverá ser documentada durante todas as etapas de sua aplicação, com as justificativas para as definições técnicas adotadas;
- b) As definições de objetivo e escopo da avaliação devem estar alinhadas às premissas de projeto da instituição pública para a edificação, estabelecidas nas etapas anteriores do processo de projeto (programa de necessidades, estudos de viabilidade e anteprojeto);
- c) Deve ser priorizada, sempre que possível, a integração da avaliação de desempenho ambiental ao desenvolvimento do projeto em plataforma BIM;
- d) Quando o projeto for desenvolvido em BIM, os dados do modelo BIM devem ser disponibilizados em formato que permita a sua extração de forma facilitada, priorizando a interoperabilidade com a modelagem de ACV;
- e) Deve-se priorizar a aplicação de critérios de corte de acordo com o estabelecido na norma europeia EN 15804:2013, e quando não for possível seguir os critérios normativos, devem ser documentados os itens excluídos da avaliação e critérios adotados, assim como as devidas justificativas;
- f) Para a condução da ACV, deverá ser documentada a análise de inventário do ciclo de vida, contendo fluxogramas gerais, com todos os processos elementares modelados, sua descrição, lista de fluxos e de dados ambientais relevantes, lista de especificações e unidades dos processos, descrição da coleta de dados e técnicas de cálculo utilizadas;
- g) Sempre que possível, devem ser considerados dados primários para o cálculo de impactos ambientais e priorizadas bases de dados e processos que contemplem o contexto local ou regional da edificação;
- h) Os resultados da avaliação de impactos do ciclo de vida devem ser apresentados em forma de gráficos, com as contribuições por elementos e sistemas construtivos considerados, distribuições por estágios do ciclo de vida, com valores percentuais e

numéricos, de forma didática, e permitindo a comparação de soluções equivalentes em cenários alternativos, facilitando a tomada de decisão entre soluções de projeto;

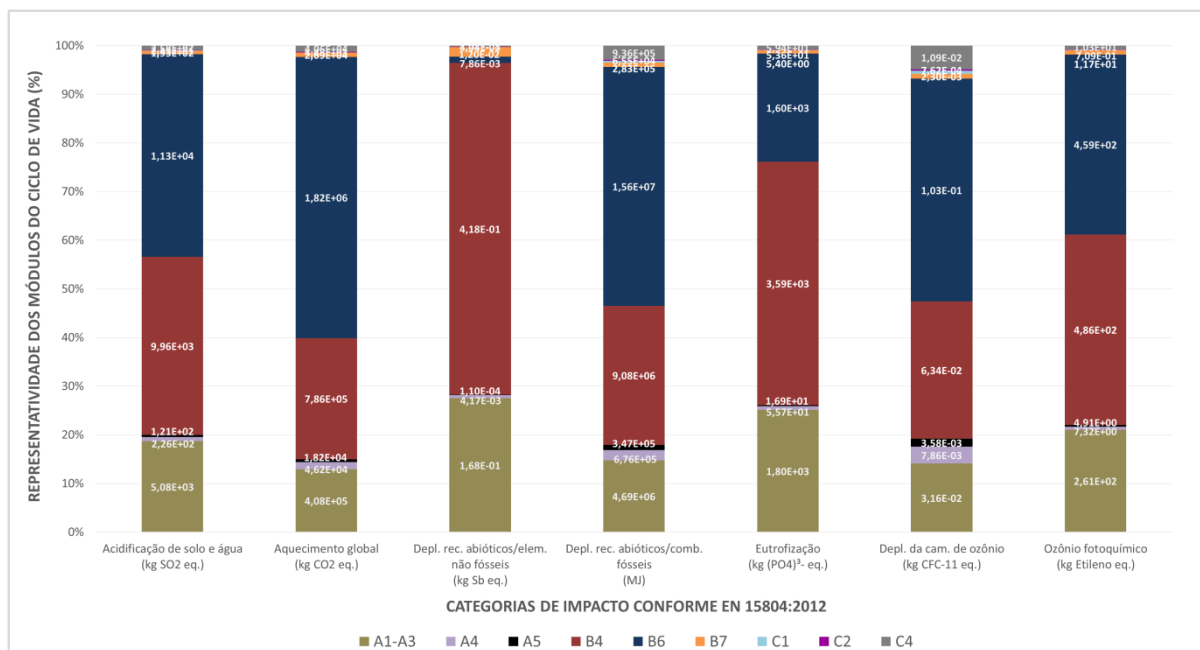
- i) A modelagem de ACV deve seguir os princípios, estrutura e requisitos das normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009, além das orientações contidas nas normas europeias EN 15978:2011 e EN 15804:2013.

5.2 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL AO ESTUDO DE CASO

5.2.1 Resultados para o cenário base de projeto

A partir da estrutura do ICV, conforme o subitem 4.4.2, a Tabela 11 e a Tabela 14 do Apêndice C, a modelagem de ACV foi conduzida seguindo as etapas da estrutura metodológica. Na Figura 16, constam os resultados totais de impactos para os módulos do ciclo de vida considerados, de acordo com as categorias avaliadas para o cenário base.

Figura 16 - Distribuição dos resultados totais de impactos ambientais do cenário base de projeto entre os módulos do ciclo de vida



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

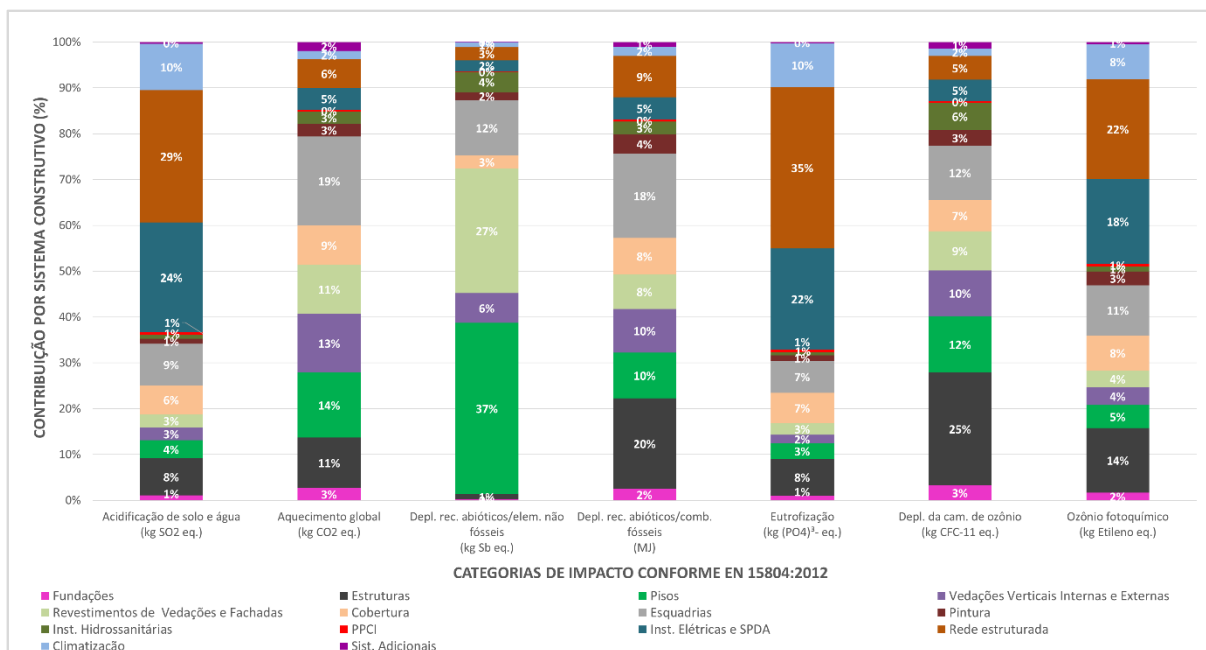
Os potenciais impactos ambientais estão concentrados nos módulos A1-A3, referentes à extração de matérias-primas e fabricação dos materiais, no B4, com as reposições dos sistemas construtivos com VUP menor que a da edificação, e no B6, quanto ao consumo energético no uso do edifício. Destes, o módulo B6 obteve o maior impacto em 4 das 7 categorias, com 57,8% do total de aquecimento global, por exemplo. Para as outras 3 categorias, a maior contribuição foi do módulo B4, com destaque para 68,3% do total de

depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis. Os módulos A1-A3 tiveram representatividade média de 19,2%, variando de 12,9% a 27,5% do total de cada categoria.

Considerando estes resultados, foi dado enfoque aos impactos dos módulos A1-A3 e B4, pela sua relação direta com as definições de projeto, para identificar soluções construtivas alternativas. Embora o módulo B6 possua significativa contribuição nos impactos totais, a redução dos seus impactos associados por alterações de projeto demandaria uma análise complexa, contemplando, por exemplo, simulações energéticas, avaliação de equipamentos de climatização artificial, e da envoltória do edifício, fatores que geralmente possuem grande influência no consumo energético. Tais avaliações ficaram de fora do escopo do estudo, caracterizando uma limitação da pesquisa. Adicionalmente, a abordagem atribucional, utilizada neste estudo, possui a limitação de não capturar os aspectos dinâmicos da matriz energética brasileira, decorrentes do processo de descarbonização (LOSEKANN, TAVARES; 2020). Desta forma, espera-se também que haja variação nos valores de impactos ambientais associados ao módulo B6, ao longo do tempo, os quais estão além do escopo deste trabalho.

Quanto ao estágio de produção, nos módulos A1-A3, foi verificada a distribuição dos impactos de acordo com a classificação dos sistemas construtivos da estrutura do ICV. Os resultados dos impactos potenciais para estes módulos são apresentados na Figura 17.

Figura 17 - Contribuição dos diferentes sistemas nos impactos ambientais do cenário base de projeto, nos módulos A1-A3 do ciclo de vida

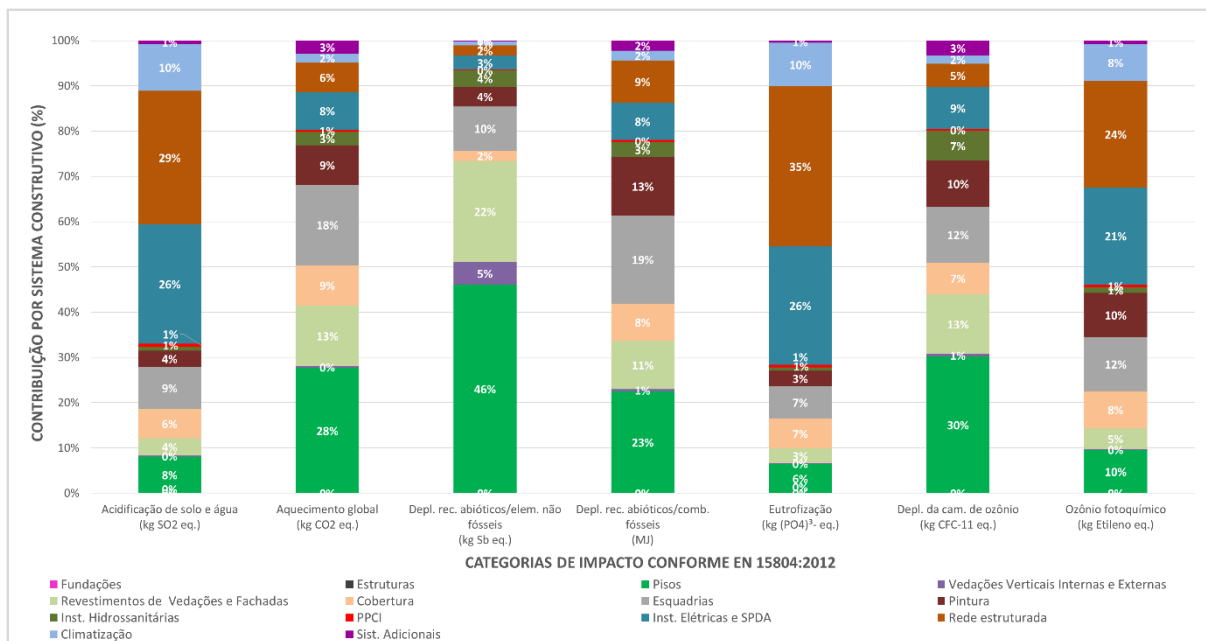


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os sistemas construtivos que apresentaram os maiores impactos ambientais neste estágio do ciclo de vida foram rede estruturada, esquadrias, pisos, estruturas e instalações elétricas e de SPDA. O item de rede estruturada foi o mais representativo em 3 das 7 categorias avaliadas (acidificação de solo e água, eutrofização e ozônio fotoquímico), tendo nestas 3 categorias as instalações elétricas e de SPDA como o segundo item com maior representatividade. As esquadrias figuraram com maiores impactos associados a duas categorias (aquecimento global e depleção de recursos abióticos – combustíveis fósseis). O sistema de pisos foi o mais representativo (37%) na categoria de depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis, e as estruturas de concreto armado da edificação se destacaram para a depleção da camada de ozônio, com 25% do total desta categoria de impacto para os módulos A1-A3.

Embora no módulo B4 sejam considerados os mesmos processos de materiais da base de dados que os utilizados para os módulos A1-A3, os resultados de impactos apresentaram variações quanto aos itens mais representativos em cada categoria, já que os quantitativos considerados no módulo B4 diferem em relação à construção da edificação, em função da vida útil de projeto considerada para os diferentes sistemas construtivos e, por consequência, do número de substituições necessárias. Na Figura 18 é possível visualizar os resultados de impactos ambientais relacionados ao módulo B4, no estágio de uso do ciclo de vida.

Figura 18 - Contribuição dos diferentes sistemas nos impactos ambientais do cenário base de projeto, no módulo B4 do ciclo de vida



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para o módulo B4, os sistemas mais representativos foram os pisos, rede estruturada, instalações elétricas e de SPDA, revestimentos de vedações e fachadas e esquadrias. Os pisos representaram o item de maior contribuição em 4 categorias (aquecimento global, depleção de recursos abióticos – tanto para combustíveis fósseis como para elementos não fósseis, depleção da camada de ozônio). Para as outras 3 categorias avaliadas, a maior contribuição percentual foi das instalações de rede estruturada, com variação de 24 a 35% dos impactos, seguida das instalações elétricas e de SPDA como segunda maior contribuição, com impactos associados variando de 21 a 26%. As esquadrias obtiveram uma representatividade média de 13% dos impactos para o módulo B4, variando entre 7 a 19% dos impactos em cada categoria. Já o item referente aos revestimentos de vedações e fachadas correspondeu a uma média de 10% dos impactos potenciais, com valores no intervalo de 3 a 22%.

Em comparação aos resultados dos módulos A1-A3, verifica-se um acréscimo da representatividade do sistema de pisos nos impactos relacionados ao módulo B4, tendo em vista que foi considerada a vida útil de projeto de 13 anos para os materiais deste sistema, conforme o período mínimo indicado na NBR 15575:2021. Assim, ao longo da vida útil da edificação, foram consideradas 3 substituições integrais dos itens que compõem o sistema de pisos. Em contrapartida, as estruturas de concreto armado da edificação, por exemplo, que possuem uma representatividade significativa em pelo menos duas categorias nos módulos A1-A3 (depleção de recursos abióticos – combustíveis fósseis com 20%, depleção da camada de ozônio com 25%), não contribuíram para os impactos do módulo B4, pois não possuem, em tese, reposições previstas para seus materiais constituintes ao longo da vida útil da edificação. Os resultados numéricos para a modelagem de ACV do cenário base de projeto constam na Tabela 16 do Apêndice E, incluindo os totais de impactos expressos por m² de construção e por m²/ano.

De acordo com o exposto, as definições de vida útil de projeto dos sistemas construtivos e o número de substituições integrais de seus componentes podem apresentar uma influência significativa nos resultados de impactos no estágio de uso da edificação. Portanto, após a definição dos cenários alternativos de projeto, foi realizada uma análise de sensibilidade para estimar a variabilidade que tais definições podem gerar nos resultados de impactos ambientais, a ser detalhada no subitem 5.2.3.

Nos resultados dos módulos A1-A3 e do módulo B4, os sistemas de rede estruturada e instalações elétricas e de SPDA figuram com notoriedade nas categorias de acidificação de solo e água, eutrofização e ozônio fotoquímico. Isso se dá principalmente pela presença do cobre no sistema de SPDA, com cabos de cobre nú, e na composição dos demais cabos das instalações elétricas e de rede estruturada, sendo que este componente possui impactos importantes relacionados ao seu processo produtivo. Entretanto, os sistemas construtivos relacionados não são de fácil otimização, dificultando a escolha de soluções alternativas de projeto para seus componentes. De qualquer forma, a identificação da relevância desses materiais nas categorias de impactos pode auxiliar para que sejam priorizados *layouts* de projeto com traçados de instalações e infraestrutura que reduzam, na medida do possível, os quantitativos previstos.

Como foi utilizada uma abordagem do berço ao túmulo para a modelagem de ACV, buscou-se incluir a maior parte possível dos sistemas construtivos do projeto do cenário base no ICV, conforme descrito no subitem 4.4.2. Porém, em função da escassez de dados ambientais para parte dos projetos complementares da edificação, foi necessário aplicar critérios de corte, ainda que para uma quantidade pouco expressiva (0,88%) da massa total da edificação.

Por exemplo, destaca-se o sistema de climatização, cujos equipamentos principais não puderam ser incluídos no escopo da avaliação. A definição deste sistema é uma questão relevante para os impactos operacionais da edificação, em especial quanto ao consumo de energia elétrica e as emissões de CO₂ relacionadas ao gás refrigerante que pode ser utilizado nas instalações (IEA, 2018; DE PAULA et al., 2020). Apesar desta limitação do estudo, o desenvolvimento do projeto de climatização deve levar em conta a avaliação de desempenho ambiental na definição das soluções técnicas, mesmo que de forma complementar a esta estrutura metodológica, principalmente com foco na análise de eficiência energética durante a operação dos sistemas da edificação. Tal entendimento se estende às demais disciplinas que não puderem ser contempladas integralmente no escopo do ICV.

De qualquer forma, é possível verificar a contribuição e a relevância das instalações complementares nos impactos totais da edificação, com a mesma tendência observada em outros estudos, conforme discussão constante no subitem 5.2.4. Porém, nem todos os sistemas construtivos podem ser facilmente alterados, já que, para parte das instalações, as soluções de mercado são padronizadas e não há uma variedade de soluções alternativas. Assim, neste

estudo de caso foi priorizada a definição de cenários para itens de maior relevância nos impactos totais, com soluções usuais de mercado, para verificar se a aplicação da estrutura metodológica auxiliaria na redução de impactos.

Portanto, foram definidos cenários alternativos de modelagem para os sistemas de piso e de esquadrias, cujos resultados são detalhados no subitem 5.2.2. Conforme apresentado acima, tanto nos módulos A1-A3 como no módulo B4, estes sistemas construtivos apresentaram contribuições relevantes para os impactos ambientais e possuem componentes de fácil alteração, sem grandes modificações de projeto.

5.2.2 Resultados para os cenários alternativos de projeto

Com o objetivo de identificar quais processos de materiais da base de dados possuíam os maiores impactos associados e proceder às alterações de projeto em relação ao cenário base, foram identificados os *hotspots*, conforme previsão do subitem 6.4.3 do *framework* proposto. Assim, a definição dos cenários alternativos teve por base, além dos resultados da ACV, as contribuições dos especialistas que participaram dos grupos focais.

Para as esquadrias da edificação, o inventário do cenário base contemplava um total de 11 componentes e, conforme a Tabela 2, a avaliação dos resultados dos módulos A1-A3 permitiu identificar que, para todas as categorias de impacto, os caixilhos e perfis de alumínio representavam a maior contribuição, com mais de 90% dos impactos para 6 das 7 categorias.

Tabela 2 - Identificação de *hotspots* nos resultados de impactos do cenário base para as esquadrias da edificação

Categoria de impacto	1º item mais representativo	(%)	2º item mais representativo	(%)
Acidificação de solo e água		92,89		5,99
Aquecimento global		98,32		3,96
Depl. de rec.abióticos – elem. não fósseis	Caixilhos e perfis de alumínio das esquadrias	70,33	Vidro laminado	29,15
Depl. de rec. abióticos – comb. fósseis		94,79		3,77
Eutrofização		95,68		3,01
Depl. da camada de ozônio		91,33		6,41
Ozônio fotoquímico		95,53		3,42

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Portanto, foram definidos 3 cenários alternativos para os caixilhos e perfis de alumínio, a partir de processos da base de dados *Ecoinvent*, com características próximas ao processo do cenário base de projeto, como a transmitância térmica, a fim de realizar comparações de soluções equivalentes.

A Tabela 3 apresenta a descrição dos cenários alternativos definidos, os processos utilizados na base de dados e a vida útil considerada para cada solução. Os demais itens do sistema de esquadrias foram mantidos conforme o cenário base. Na Tabela 12 do Apêndice C consta o detalhamento do inventário dos cenários alternativos modelados para as esquadrias.

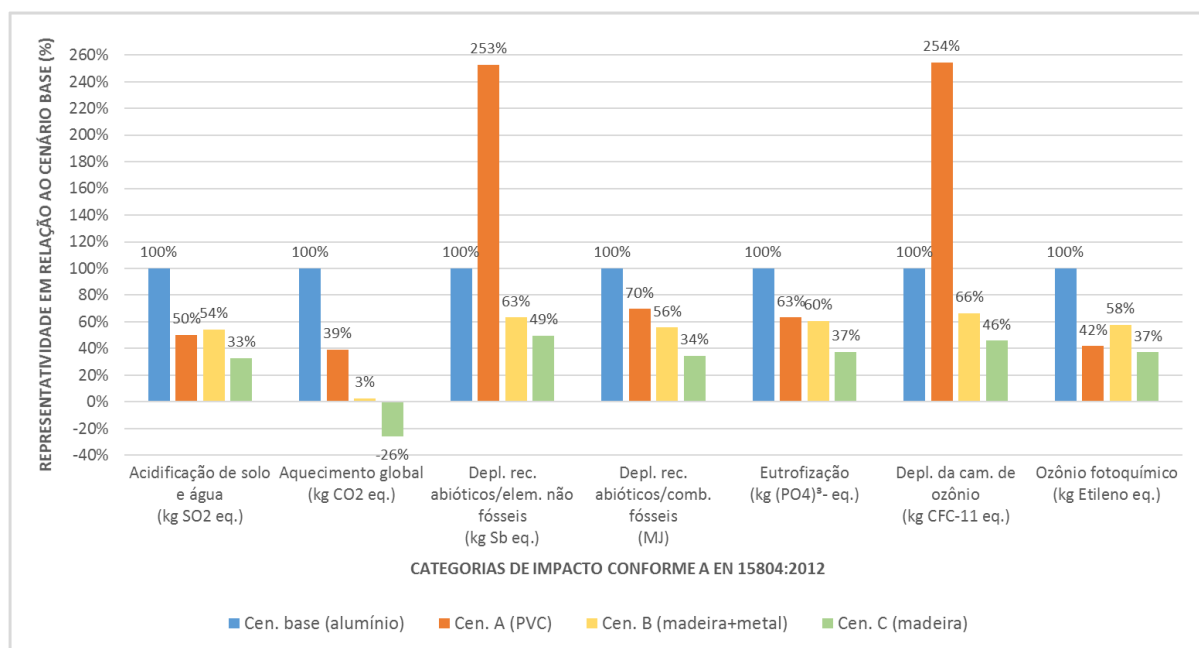
Tabela 3 - Descrição dos cenários alternativos definidos para as esquadrias do estudo de caso

Cenário	Descrição	Processo de material na base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)
Cenário base	Caixilhos e perfis de alumínio	<i>window frame, aluminium, U=1.6 W/m2K {RoW} production Cut-off, U</i>	20
A	Caixilhos e perfis de PVC	<i>window frame production, poly vinyl chloride, U=1.6 W/m2K window frame, poly vinyl chloride, U=1.6 W/m2K Cutoff, U</i>	20
B	Caixilhos e perfis de madeira-metal	<i>window frame production, wood-metal, U=1.6 W/m2K window frame, wood-metal, U=1.6 W/m2K Cutoff, U</i>	20
C	Caixilhos e perfis de madeira	<i>window frame production, wood, U=1.5 W/m2K window frame, wood, U=1.5 W/m2K Cutoff, U</i>	20

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Com a modelagem dos cenários alternativos, conforme a Figura 19, é possível verificar que os caixilhos de madeira (cenário C) possuem o melhor desempenho ambiental, representando apenas de 33 a 49% do total de impactos dos caixilhos de alumínio, quando considerados conjuntamente os impactos dos módulos A1-A3 e B4.

Figura 19 - Comparação dos resultados de impactos ambientais dos cenários alternativos A, B e C em relação ao cenário base, para os módulos A1-A3 e B4 do ciclo de vida



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Especificamente para a categoria de aquecimento global, o cenário C apresenta impacto negativo (-26%), em função do processo de material considerado na base de dados da modelagem, que leva em conta a absorção de CO₂ na produção da madeira. Porém, os impactos relacionados ao fim de vida deste item podem ser relevantes, em função das respectivas emissões do CO₂ incorporado, e não podem ser negligenciados. Por isso, foi realizada uma análise específica do fim de vida dos caixilhos e perfis de madeira, considerando o processo de material disponível na base de dados (*treatment of used window frame, wood, collection for final disposal / used window frame, wood / Cutoff, U – RoW*), a fim de verificar a sua influência nos resultados obtidos para o módulo C4 da edificação, no cenário alternativo C.

Os resultados mostraram relevância para 3 categorias de impacto, em especial eutrofização, em que a disposição dos caixilhos e perfis de madeira apresentou, isoladamente, o equivalente a todo o impacto de disposição no fim de vida da edificação, no fluxo utilizado inicialmente, sem considerar um processo específico para a madeira, na modelagem do módulo C4 (*inert waste, for final disposal*). Para o potencial de aquecimento global, a disposição da madeira representou 11% do total da disposição da edificação e 19% na categoria de ozônio fotoquímico, tomando por base a situação em que o fim de vida da madeira não foi analisado especificamente. Nas demais categorias, a disposição da madeira não ultrapassou 1% do montante total da disposição da edificação para o módulo C4, quando desconsiderado o processo da madeira. Apesar da significativa relevância dos processos relativos à disposição da madeira dentro das categorias citadas do módulo C4, tal contribuição não foi substancial, ao ponto de alterar a representatividade do fim de vida frente aos demais estágios do ciclo de vida do estudo de caso, neste cenário C.

Para os módulos A1-A3 e B4, assim como para o cenário C, o cenário B (caixilhos de madeira-metal) também apresentou resultados de impactos substancialmente inferiores ao cenário base das esquadrias, representando de 3 a 66% do total de impactos dos caixilhos de alumínio, a depender da categoria considerada. Já o cenário A (caixilhos de PVC) resultou em impactos significativamente maiores para duas categorias (depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis e depleção da camada de ozônio). Mesmo assim, para as demais categorias, o cenário A possibilitou reduções significativas de impactos em relação ao cenário base de projeto.

Quanto ao sistema de pisos da edificação, o inventário do cenário base possui 9 componentes e, de acordo com a Tabela 4, a avaliação dos resultados dos módulos A1-A3 mostrou que os revestimentos de porcelanato possuem a maior contribuição para 4 das 7 categorias avaliadas. O cimento foi o item mais representativo para duas categorias (aquecimento global e depleção da camada de ozônio) pois é previsto em quantidades significativas para a regularização sarrafeada de base e na própria base para execução dos pisos. Já as argamassas pré-fabricadas ou cimento colante corresponderam ao maior impacto na categoria de ozônio fotoquímico. A segunda maior contribuição nas diferentes categorias também ficou concentrada entre os três componentes citados.

Tabela 4 - Identificação de *hotspots* nos resultados de impactos do cenário base para os pisos da edificação

Categoria de impacto	1º item mais representativo	(%)	2º item mais representativo	(%)
Acidificação de solo e água	Revestimentos de porcelanato	31,54	Cimento	30,28
Aquecimento global	Cimento	53,50	Revestimentos de porcelanato	21,68
Depl. de rec.abióticos – elem. não fósseis	Revestimentos de porcelanato	91,50	Argamassas pré-fabricadas ou cimento colante	8,28
Depl. de rec. abióticos – comb. fósseis	Revestimentos de porcelanato	33,82	Cimento	27,85
Eutrofização	Revestimentos de porcelanato	37,97	Argamassas pré-fabricadas ou cimento colante	25,49
Depl. da camada de ozônio	Cimento	40,29	Revestimentos de porcelanato	26,08
Ozônio fotoquímico	Argamassas pré-fabricadas ou cimento colante	31,80	Cimento	29,90

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Nos cenários alternativos, optou-se por definir soluções para substituir os revestimentos de porcelanato, o que, por consequência, resulta na diminuição dos quantitativos de argamassas pré-fabricadas ou cimento colante, utilizados no assentamento dos pisos, caso as soluções alternativas possuam outros materiais ou formas de fixação. Assim, foram mantidos no projeto apenas os quantitativos de argamassa colante e revestimentos de porcelanato para as áreas úmidas, como banheiros e copas. Para salas de uso administrativo, escritórios e circulação foram estabelecidos 3 cenários alternativos, considerando o uso de pisos vinílico, laminado e de madeira, a partir de dados ambientais dos módulos A1-A3 obtidos de DAPs de soluções comerciais da marca Tarkett, disponíveis na plataforma *EPDSystem*. Os dados ambientais divulgados já consideram os insumos necessários para o assentamento de cada solução alternativa de piso. Os demais componentes do sistema de pisos foram mantidos conforme os quantitativos e períodos de vida útil previstos no cenário base. Na Tabela 13 do

Apêndice C consta o detalhamento do inventário do ciclo de vida dos cenários alternativos modelados.

Na Tabela 5 é apresentada a descrição dos cenários alternativos definidos, os processos utilizados na base de dados e a vida útil considerada para cada solução, a qual foi baseada nos períodos indicados nas DAPs da plataforma *EPDSystem*. Nesta etapa de comparação, para as substituições no módulo B4, foi adotado o critério de considerar no cenário base a VUP prevista na NBR 15575:2021, e para as soluções alternativas a vida útil indicada nas DAPs, com as trocas integrais necessárias para atender a vida útil da edificação. A influência das modificações nos períodos de vida útil de cada solução foi verificada na análise de sensibilidade, apresentada no subitem 5.2.3.

Tabela 5 - Descrição dos cenários alternativos definidos para os pisos do estudo de caso

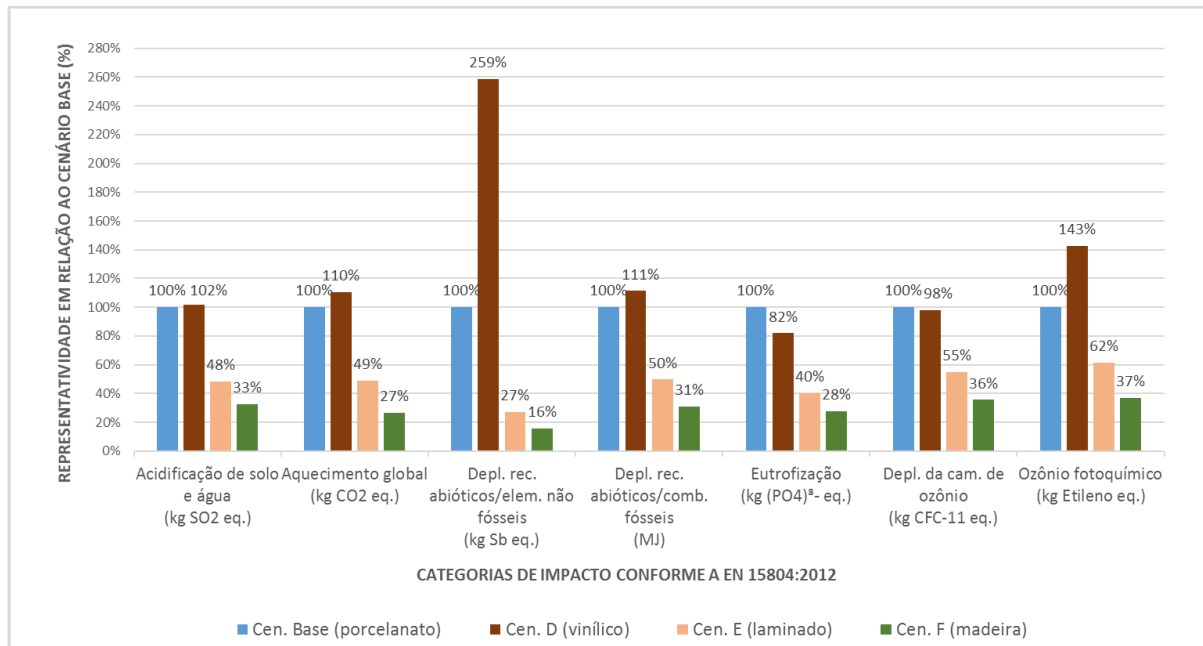
Cenário	Descrição	Processo de material na base de dados <i>Ecoinvent</i> ou DAP utilizada no <i>EPDSystem</i>	VUP (anos)
Cenário base	Revestimentos de porcelanato	<i>Ceramic tile {RoW} production Cut-off, U</i>	13
	Argamassas pré-fabricadas ou cimento colante	<i>Adhesive mortar {RoW} production Cut-off, U</i>	13
D	Piso vinílico	<i>LVT Click modular flooring - Tarkett - iD Inspiration Click, Starfloor Click 55</i>	10
E	Piso laminado	<i>Laminate flooring - Tarkett - Surface density between 6 and 8 kg/m² - Standard size (Nordic Soul 832, Vintage 832, Woodstock 832, Infinite 832)</i>	20
F	Piso de madeira	<i>Wood flooring - Tarkett - Cat. C - Professional - Total thickness of 22 mm from HSG plant</i>	25

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Com os resultados de impactos ambientais da Figura 20, é possível concluir que o piso de madeira (cenário F) apresenta o melhor desempenho ambiental, com impactos que variam de 16 a 37% do total de impactos para os pisos de porcelanato considerados no cenário base.

De acordo com o fabricante, o piso de madeira é projetado para uso doméstico e comercial, com várias camadas de madeira para garantir maior estabilidade e com resistência de longa duração. A DAP do produto informa que mais de 60% da madeira utilizada no processo de fabricação possui certificação florestal dos programas *Forest Stewardship Council* (FSC) e *Program for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC). Para uso doméstico, a vida útil recomendada é de 50 anos, porém como o estudo de caso trata de um edifício público, que se enquadra como uso comercial, foi adotada a VUP de 25 anos para o cenário F.

Figura 20 - Comparação dos resultados de impactos ambientais dos cenários alternativos D, E e F em relação ao cenário base, para os módulos A1-A3 e B4 do ciclo de vida



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

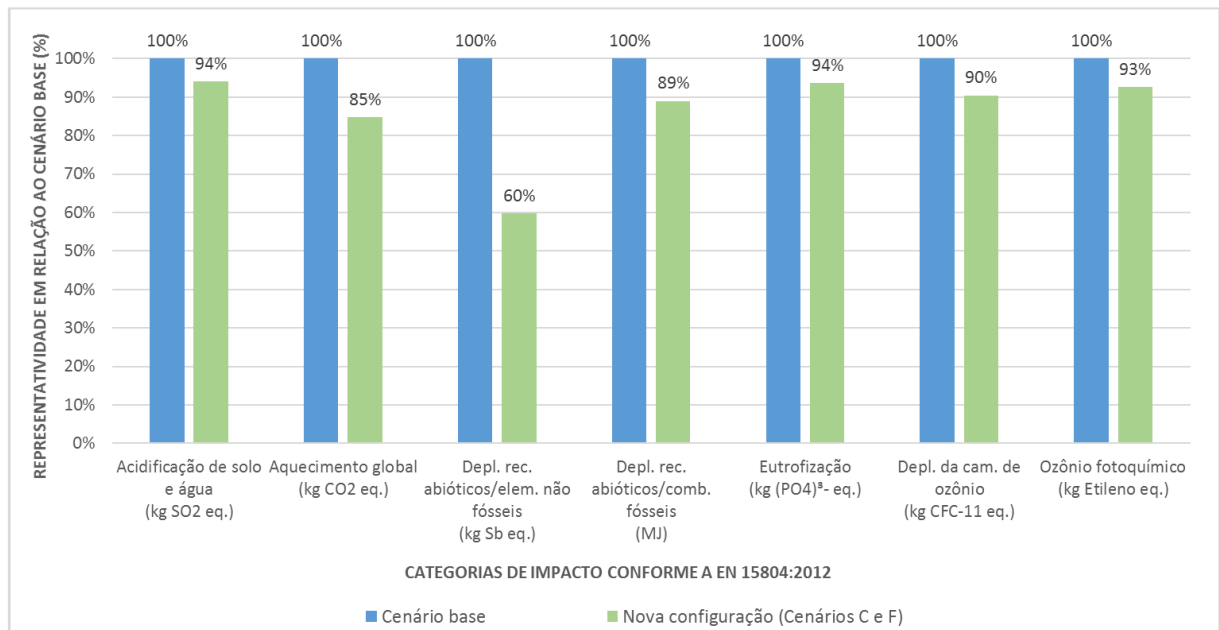
Como a solução alternativa com o melhor desempenho ambiental nos módulos A1-A3 e B4 é composta basicamente por madeira, foi realizada uma análise específica, a fim de verificar a influência das emissões do CO₂ incorporado na madeira sobre os resultados obtidos para o módulo C4 no fim de vida da edificação, no cenário alternativo F.

Para tanto, foram avaliados os impactos informados na DAP do fabricante do piso de madeira para o módulo C4, verificando-se a relevância para 4 categorias de impacto, principalmente aquecimento global, em que a disposição do piso de madeira apresentou, isoladamente, o equivalente a 44% de todo o impacto da disposição da edificação no fim de vida, no fluxo utilizado inicialmente, sem considerar um processo específico para a madeira, na modelagem do módulo C4 (*inert waste, for final disposal*). Na categoria de depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis, a disposição do piso informada na DAP representou 14% do total da disposição da edificação, e por volta de 5% nas categorias de ozônio fotoquímico e eutrofização, sendo que nas demais não ultrapassou 1% do montante total para o módulo C4, quando desconsiderado o processo da madeira. Apesar da significativa contribuição dos processos relativos à disposição da madeira dentro das categorias citadas do módulo C4, ainda assim, tal contribuição não foi substancial, ao ponto de alterar a representatividade do fim de vida frente aos demais estágios do ciclo de vida do estudo de caso, neste cenário F.

O cenário E (piso laminado) também apresentou redução significativa de impactos para todas as categorias, com resultados que variaram de 27 a 62% em relação ao cenário base de projeto, demonstrando ser também uma solução viável quanto ao desempenho ambiental. Já o cenário D (piso vinílico) apresentou impactos ambientais superiores em relação ao cenário base para 5 das 7 categorias avaliadas, e nas 2 categorias que apresentou impactos menores que os pisos de porcelanato, as reduções foram singelas. Isto deve-se ao fato da VUP indicada para o piso vinílico ser de 10 anos, sendo consideradas 4 trocas ao longo da vida útil do edifício. Assim, os impactos associados a esta solução foram ampliados em relação ao obtido nos módulos A1-A3.

Considerando as análises realizadas para os cenários alternativos, conclui-se que alterações pontuais em componentes chaves de dois sistemas construtivos podem auxiliar significativamente na redução de impactos ambientais de todo o ciclo de vida da edificação do estudo de caso. Conforme a comparação constante na Figura 21, é possível visualizar o potencial de redução de impactos em relação ao cenário base do ciclo de vida da edificação, quando consideradas conjuntamente as duas soluções alternativas (cenários C e F) que apresentaram o melhor desempenho ambiental associado.

Figura 21 - Comparação dos resultados de impactos ambientais totais do ciclo de vida entre o cenário base e a configuração de projeto com melhor desempenho ambiental (Cenários C e F)



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A configuração de projeto ajustada para considerar as esquadrias com perfis e caixilhos de madeira e pisos de madeira, com os critérios expostos anteriormente, geraria uma redução de

15% no potencial de aquecimento global de todo o ciclo de vida da edificação, por exemplo. Se considerados apenas os módulos A1-A3 e B4, a redução desta categoria chegaria a 40% em relação ao cenário base de projeto. De igual modo, para todas as demais categorias avaliadas são verificadas reduções, em especial para a depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis, para a qual as novas soluções de projeto reduziram em 40% os impactos no ciclo de vida completo da edificação. Importante frisar que tais resultados foram obtidos com a análise de apenas dois sistemas construtivos, o que poderia ser ampliado caso outras soluções de projeto fossem avaliadas paralelamente. Os resultados numéricos para a modelagem de ACV dos cenários alternativos de projeto constam nas Tabela 17 a 22 do Apêndice E, incluindo os totais de impactos expressos por m² de construção e por m²/ano.

A aplicação da estrutura metodológica com a adoção de cenários alternativos não visa determinar de forma permanente que uma solução técnica é melhor que outra, até porque a tomada de decisão na análise de desempenho ambiental deve ser realizada caso a caso, considerando os critérios utilizados em cada modelagem e o contexto de cada projeto. Porém, a partir dos resultados obtidos, verifica-se que é possível atingir reduções significativas de impactos ambientais de todo o CV através da definição das soluções de projeto, com a utilização de forma sistemática do instrumento proposto e alterações pontuais de soluções construtivas mais relevantes sob o ponto de vista ambiental.

5.2.3 Análise de sensibilidade

De modo a verificar a influência dos períodos de vida útil considerados nas comparações entre os cenários base e alternativos, e considerando que diferentes tipos de componentes podem possuir diferentes características de durabilidade, foi conduzida uma análise de sensibilidade para os sistemas de esquadrias e pisos.

A estruturação desta análise ocorreu a partir de uma definição matemática de possíveis períodos de vida útil das soluções construtivas, com foco nos cenários mais críticos e na percepção obtida sobre a durabilidade dos sistemas construtivos durante a realização dos grupos focais. Estes critérios de análise foram adotados também pois não foram encontrados dados suficientes ou referências para embasar outra forma de avaliar a sensibilidade.

No caso das soluções avaliadas para as esquadrias, a análise apresentada no subitem anterior considerou tanto o cenário base como os cenários alternativos de projeto com VUP de 20 anos, com 2 reposições integrais ao longo da vida útil da edificação, no módulo B4. Conforme

apresentado na Tabela 6, na análise de sensibilidade foram avaliadas outras duas situações de vida útil, a fim de verificar os resultados de impactos ambientais considerando 1 e 2 trocas adicionais das soluções alternativas (caixilhos e perfis de PVC, madeira-metal, madeira) em relação ao cenário base (caixilhos e perfis de alumínio).

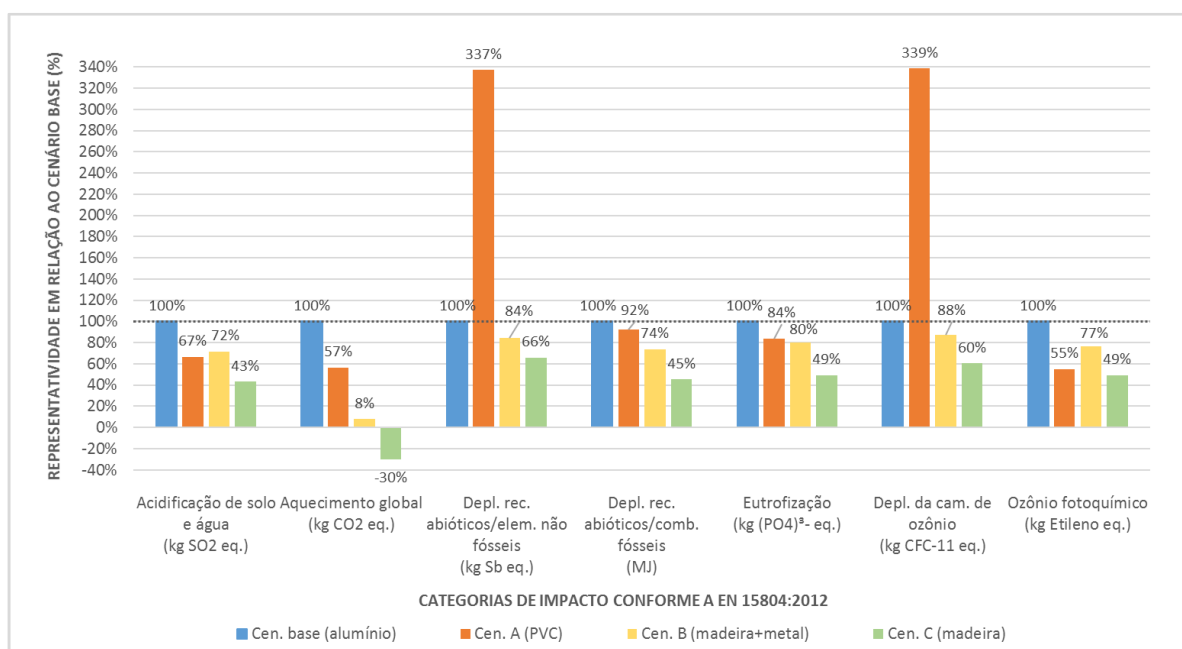
Tabela 6 - Estrutura da análise de sensibilidade conduzida para os cenários base e alternativos das esquadrias

Cenário	Descrição	Substituições consideradas no módulo B4		
		Análise inicial, conforme subitem 5.2.2	Análise de Sensibilidade 1	Análise de Sensibilidade 2
Cenário base	Caixilhos e perfis de alumínio	2	2	1
A	Caixilhos e perfis de PVC	2	3	3
B	Caixilhos e perfis de madeira-metal	2	3	3
C	Caixilhos e perfis de madeira	2	3	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A análise de sensibilidade 1, com 3 trocas das esquadrias nos cenários A, B e C, em relação às 2 trocas previstas para o cenário base, conforme a Figura 22, mostrou que os caixilhos e perfis de madeira-metal e madeira continuam com menores impactos em todas as categorias, em relação ao cenário base. O cenário A apresentou impactos menores para 5 categorias, e resultou em impactos que superaram mais de duas vezes os valores do cenário base para outras duas categorias (ADPnf e ODP).

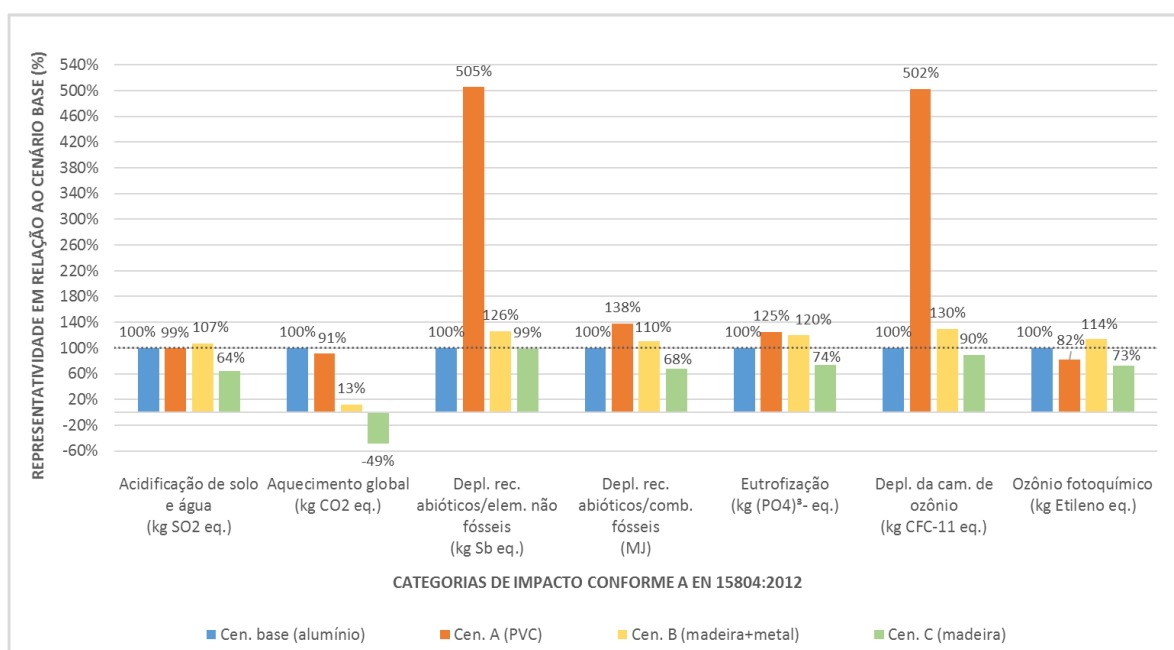
Figura 22 - Análise de sensibilidade 1, considerando 2 trocas das esquadrias no cenário base e 3 trocas nos cenários A, B e C, para os módulos A1-A3 e B4



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na análise de sensibilidade 2, foi considerada apenas 1 troca dos componentes das esquadrias externas no cenário base, e 3 trocas nos cenários A, B e C. De acordo com a Figura 23, mesmo com a diferença de 2 trocas adicionais dos cenários alternativos em relação ao cenário base, o cenário C apresenta impactos inferiores aos do cenário base, em todas as categorias avaliadas. O cenário B apresentou impactos inferiores ao do cenário base apenas em aquecimento global, com redução de 49% em relação a solução inicial. Já o cenário A apresentou impactos inferiores ao cenário base em 3 categorias.

Figura 23 - Análise de sensibilidade 2, considerando 1 troca das esquadrias no cenário base e 3 trocas nos cenários A, B e C, para os módulos A1-A3 e B4



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No caso das esquadrias, concluiu-se que a influência da VUP considerada para as soluções alternativas não foi tão significativa, especialmente para a solução de melhor desempenho ambiental, visto que, mesmo ampliando o número de suas reposições, os respectivos impactos ainda são significativamente inferiores a uma única troca da solução inicial de projeto.

Para as soluções alternativas de pisos, no subitem anterior foi considerado o cenário base com VUP de 13 anos, com 3 reposições integrais, e para os cenários D, E e F, a VUP considerada foi, respectivamente, de 10, 20 e 25 anos, de acordo com o informado pelo fabricante das soluções. Nesta análise de sensibilidade, outras duas situações de vida útil foram avaliadas, conforme a Tabela 7, para identificar a influência do número de substituições das soluções alternativas nos impactos do ciclo de vida, quando comparadas à solução inicial de projeto.

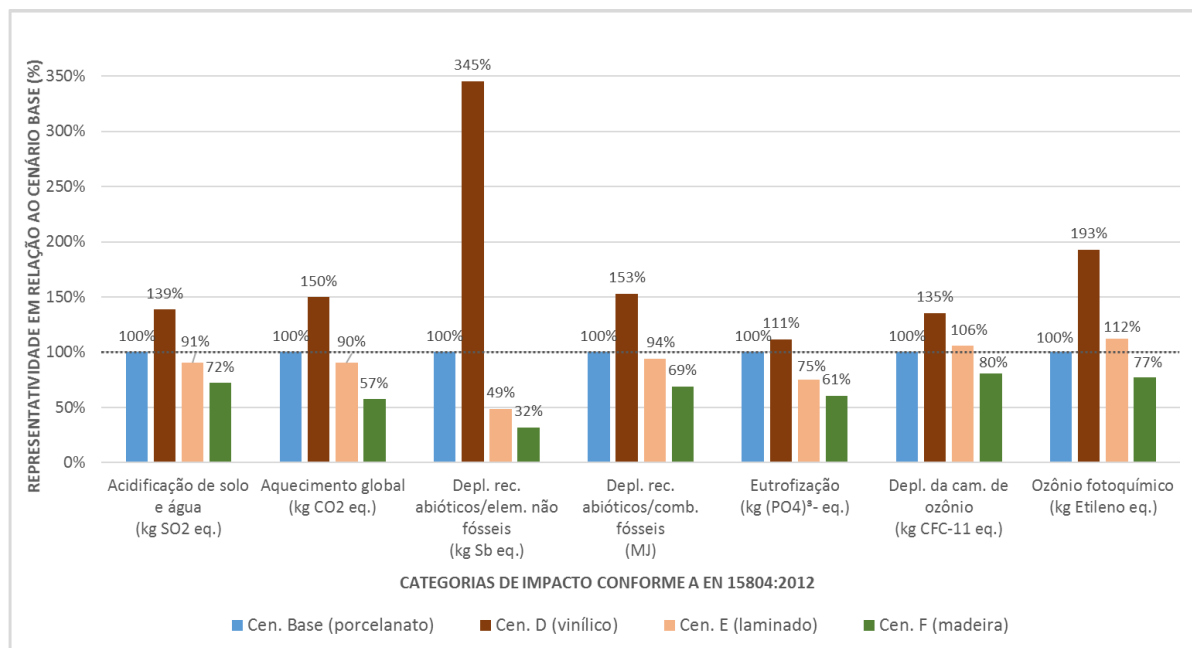
Tabela 7 - Estrutura da análise de sensibilidade conduzida para os cenários base e alternativos dos pisos

Cenário	Descrição	Substituições consideradas no módulo B4		
		Análise inicial, conforme subitem 5.2.2	Análise de Sensibilidade 3	Análise de Sensibilidade 4
Cenário base	Revest. de porcelanato e argamassas ou cimento colante	3	2	2
D	Piso vinílico	4	4	5
E	Piso laminado	2	3	4
F	Piso de madeira	1	2	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os resultados da análise de sensibilidade 3 constam na Figura 24 e mostram que considerando o mesmo número de substituições dos pisos de madeira (cenário F) em relação aos pisos de porcelanato, a solução de madeira ainda apresenta impactos inferiores, variando de 32 a 80% dos impactos do cenário base. Os pisos laminados, com uma troca além do previsto para os pisos de porcelanato, apresentaram impactos inferiores ao da solução do cenário base em 5 das 7 categorias. Já o piso vinílico, nesta simulação, supera os impactos do cenário base em todas as categorias, tendo em vista que na situação analisada o seu número de substituições é o dobro da solução de porcelanato, além de possuir altos impactos associados desde a análise inicial.

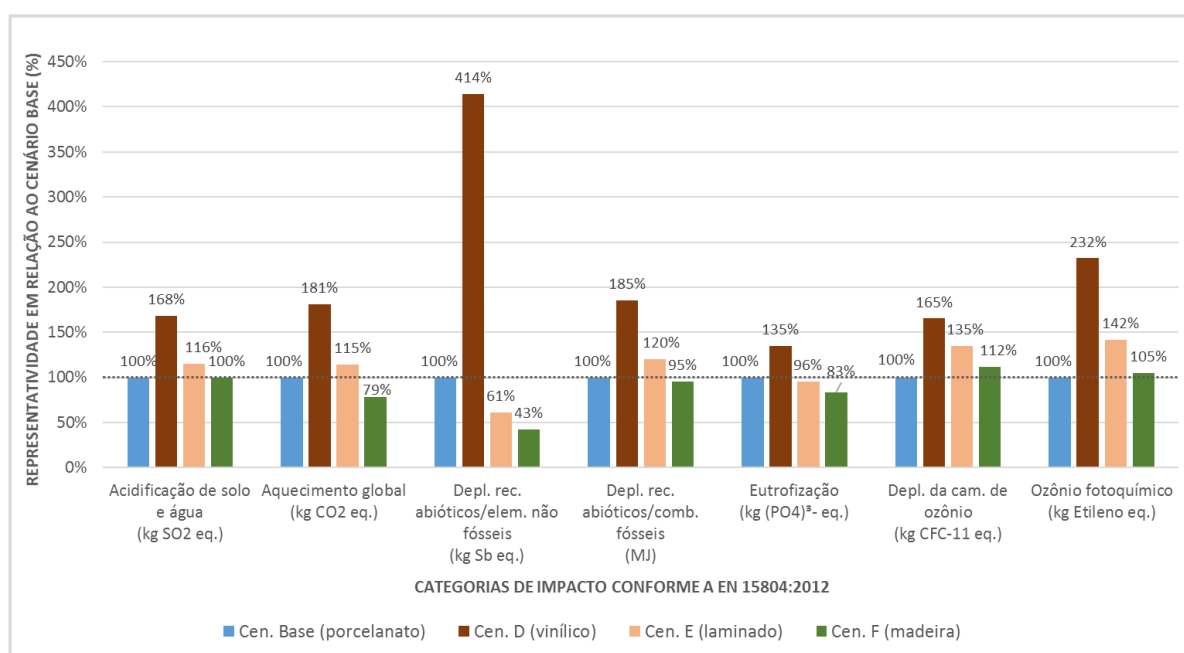
Figura 24 - Análise de sensibilidade 3, considerando 2 trocas dos pisos no cenário base, 4 trocas no cenário D, 3 trocas no cenário E e 2 trocas no cenário F, para os módulos A1-A3 e B4



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A fim de simular uma situação mais extrema, na análise de sensibilidade 4 considerou-se apenas 2 substituições dos pisos no cenário base, e 3 substituições para a solução de melhor desempenho ambiental (cenário F). Os resultados expressos na Figura 25 permitem verificar que, ainda assim, os pisos de madeira apresentam impactos ambientais menores que a solução do cenário base em 4 das 7 categorias de impacto, com valores entre 43 a 95% dos impactos dos pisos de porcelanato. Para acidificação do solo e água, os impactos se equivalem, e nas categorias de depleção da camada de ozônio e ozônio fotoquímico, os pisos de madeira superam em 12 e 5%, respectivamente, os impactos do cenário base. Os pisos laminados foram considerados com 4 substituições, o dobro do considerado para os pisos de porcelanato, e apresentam impactos inferiores à solução do cenário base apenas nas categorias de depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis (61%) e eutrofização (96%).

Figura 25 - Análise de sensibilidade 4, considerando 2 trocas dos pisos no cenário base, 5 trocas no cenário D, 4 trocas no cenário E e 3 trocas no cenário F, para os módulos A1-A3 e B4



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Através da análise realizada para as soluções de piso da edificação, verificou-se que a solução dos pisos de madeira, assim como na verificado inicialmente, resulta também em menores impactos ambientais quando considerado o mesmo número de substituições dos pisos em porcelanato, ao longo do estágio de uso do ciclo de vida. De modo complementar, na situação de uma substituição dos pisos de madeira a mais que os pisos de porcelanato, a solução alternativa do cenário F mantém menores impactos em 4 categorias avaliadas e, nas outras 3, apresenta um acréscimo discreto em relação aos impactos da solução do cenário base.

Portanto, seja para as soluções avaliadas dos sistemas de esquadrias ou de piso, a análise de sensibilidade permitiu concluir que a influência das definições dos períodos de vida útil dos materiais no estágio de uso da edificação não foi tão significativa, ao ponto de inviabilizar, sob o aspecto do desempenho ambiental, a adoção da configuração alternativa de projeto.

5.2.4 Discussão com outros estudos

Os resultados da modelagem de ACV para o estudo de caso foram comparados com outras pesquisas, realizadas preferencialmente no contexto brasileiro e, quando possível, com escopo similar ao contido nesta dissertação. Desta forma, buscou-se testar a aplicabilidade da estrutura metodológica e verificar se a mesma propiciou a execução da modelagem de ACV com resultados aderentes à literatura pertinente.

Pulgrossi (2020) investigou a influência das regras de corte nos resultados de ACV de edificações completas, com abordagem do berço ao túmulo, comparando cenários de modelagem para 4 estudos de caso. Dentre eles, um edifício escolar térreo, com área total de 1.100 m², é o que mais se aproxima do estudo de caso desta dissertação, em termos de soluções construtivas previstas e do escopo considerado. O estudo não incluiu os módulos B6, B7 e C4 nas fronteiras do sistema, considerou a localização da edificação em Campinas/SP, e o *software* utilizado para a modelagem foi o SimaPro 8.5/9.0. O período de referência de VUP foi o mesmo desta pesquisa, assim como a metodologia de categorias de impacto. A base de dados também foi a *Ecoinvent*, porém nas versões 3.4 e 3.5, com adaptações para o contexto brasileiro.

Nos resultados da modelagem de ACV, Pulgrossi (2020) observou que o módulo B4 possui maior expressividade no ciclo de vida da edificação, concentrando mais de 60% dos impactos em quase todas as categorias avaliadas. Esta pesquisa se alinha aos resultados reportados por Pulgrossi (2020), em que a etapa de uso deteve a maioria dos impactos. O módulo B4 só não foi o mais predominante neste estudo, pois foi considerado também o módulo B6, com a maior parcela dos impactos em 4 categorias. Quanto aos sistemas construtivos, a estrutura e o envelope da edificação escolar predominaram como maiores geradores de impacto para GWP (somados 51%), ADPf e ODP. De modo similar, nos resultados de GWP para os módulos A1-A3 deste estudo de caso, as esquadrias, sistemas de vedações verticais internas e externas, estrutura e revestimentos de vedações e fachadas somaram 54% dos impactos. Os sistemas citados também estiveram entre as 5 maiores contribuições para as categorias de ADPf e ODP nos módulos A1-A3, seguindo os resultados verificados na edificação escolar.

Para as demais categorias, a pesquisa de Pulgrossi (2020) apontou que as instalações elétricas, hidráulicas e adicionais apresentaram maior representatividade de impacto, chegando, por exemplo, a 57% do total de eutrofização, devido principalmente à presença do cobre no SPDA. No presente estudo, as instalações elétricas, de SPDA e rede estruturada também somaram 57% dos impactos de eutrofização para os módulos A1-A3, e para o módulo B4 representaram 61% desta categoria. Tais sistemas construtivos também tiveram destaque nas categorias de acidificação de solo e água e ozônio fotoquímico.

Christ (2022) comparou os impactos potenciais de diversas combinações de sistemas construtivos em uma edificação comercial padrão de 8 pavimentos, conforme a NBR 12721, e com área útil de 5.638,48 m². O escopo da avaliação foi do berço ao túmulo, considerando os sistemas de estruturas de concreto armado, vedações verticais (incluindo esquadrias externas) e cobertura, com diferentes tipologias construtivas usuais no contexto brasileiro, num total de 27 cenários de comparação. Os resultados das comparações dos sistemas construtivos demonstram que as lajes do sistema estrutural e o sistema de vedação vertical detêm as maiores contribuições para o impacto total de cada cenário, na maioria dos casos avaliados.

O estudo de Christ (2022) evidencia que as contribuições para os impactos ambientais podem ser bem diferentes entre os sistemas construtivos, quando consideradas edificações de diversos pavimentos, que possuem massa muito mais significativa das estruturas de concreto armado e das lajes no total da edificação. No presente trabalho, com a avaliação de edificação térrea, as estruturas tiveram representatividade máxima de 25% (depleção da camada de ozônio) dentre as categorias avaliadas nos módulos A1-A3, sem um destaque no ciclo de vida completo da edificação, como verificado na pesquisa citada. Outro fator que auxilia na diferença entre os resultados das edificações, é que Christ (2022) não considerou sistemas complementares, como as instalações elétricas e afins, nem sistemas de revestimentos de piso, por exemplo, os quais tiveram maior relevância nos impactos potenciais desta pesquisa. Isto reforça que os resultados de uma avaliação ambiental estão muito atrelados à extensão do escopo considerado e à tipologia de cada edificação, demandando uma análise individualizada para cada caso.

Quanto ao sistema de cobertura considerado na edificação avaliada por Christ (2022), por possuir menores quantitativos de material, tal sistema apresentou pouca relevância na contribuição dos impactos de cada cenário, em quase todas as categorias. Nesta pesquisa, de

modo similar, a cobertura da edificação teve uma representatividade máxima de 9% nos impactos das categorias avaliadas, tanto nos módulos A1-A3, como no módulo B4.

Frischknecht et al. (2019) desenvolveram estudo que avaliou todo o ciclo de vida de um edifício de escritórios referencial com área de 2.421 m², a partir de abordagens de ACV com dados nacionais ou regionais de 21 países, tendo como foco a comparação dos resultados de emissões de gases de efeito estufa e da demanda de energia primária. No caso do Brasil, a vida útil adotada foi de 50 anos, com abordagem do berço ao túmulo, tendo os mesmos módulos do ciclo de vida que os considerados na presente pesquisa, exceto o módulo C4. Foi utilizada a base de dados *Ecoinvent*, v3.4, adaptada para o contexto brasileiro. Em todas as avaliações, os autores verificaram que a maioria das emissões de GEE ocorreu durante o consumo de energia no estágio operacional, ou no estágio de produção da edificação, sendo que as diferenças nos resultados entre os países estão vinculadas à diferença substancial na intensidade de emissões de GEE das matrizes elétricas nacionais.

Para o GWP no estágio de produção, a presente pesquisa identificou um total de 9,83 kgCO₂-eq/m²/ano, o que se alinha ao verificado por Frischknecht et al. (2019), que obtiveram resultados entre 5,7 a 15 kgCO₂-eq/m²/ano nos diferentes países. Os pesquisadores relataram que o estágio de fim de vida teve baixa representatividade nas emissões e, para o ciclo de vida completo da edificação, o total de emissões de GEE variou entre 10 e 71 kgCO₂-eq/m²/ano, dependendo da abordagem nacional utilizada. No caso brasileiro, as emissões totais ficaram entre 20 e 30 kgCO₂-eq/m²/ano. Já na presente pesquisa, para a categoria de aquecimento global, foi obtido um montante bem superior ao do estudo, de 75,92 kgCO₂-eq/m²/ano. Tal diferença se deve muito provavelmente ao consumo de energia no estágio operacional, considerando que o estudo de Frischknecht et al. (2019) informa que a edificação de referência foi concebida no contexto austríaco, com envelope de alta capacidade térmica, esquadrias projetadas de forma inteligente, sendo o edifício aquecido exclusivamente pelas cargas internas de seus dispositivos, iluminação e pela dissipação de calor das pessoas, características que reduzem significativamente o consumo de energia considerado na modelagem de ACV. Em contrapartida, o estudo de caso desta pesquisa considerou dados de consumo de energia de uma edificação térrea, cujo projeto não foi concebido para baixo consumo energético e demanda condicionamento artificial para resfriamento na maior parte do ano, dada a sua localização no nordeste brasileiro, o que acaba por ampliar substancialmente o uso de energia no estágio operacional.

Evangelista (2017) avaliou o desempenho ambiental de edificações residenciais brasileiras, através da ACV completa em 4 estudos de caso, com abordagem do berço ao túmulo, analisando 8 categorias de impacto e apoiada pela ferramenta SimaPro. Embora a tipologia considerada seja diferente do estudo de caso da presente pesquisa, os resultados do estudo mencionado reforçaram a relevância da fase operacional (estágio de uso) da edificação, com contribuições superiores a 80% em várias categorias, seguida pela fase pré-operacional (construção da edificação) na representatividade dos impactos ambientais, o que se adere aos resultados verificados nesta modelagem de ACV.

A análise de contribuição dos sistemas construtivos nos impactos ambientais identificou diferentes itens predominantes em cada um dos estudos de caso considerados por Evangelista (2017). Isto se deu pelas diferentes tipologias, sistemas construtivos e padrões de acabamento previstos em cada situação. Porém, nos quatro estudos de caso, o concreto e os revestimentos cerâmicos apresentaram contribuições relevantes nos impactos ambientais. Os materiais cerâmicos que contemplavam revestimentos de piso, paredes e fachadas, por exemplo, tiveram liderança nas categorias de depleção de recursos. Tal resultado é coerente com o verificado na presente pesquisa, em que os itens de pisos e revestimentos de vedações e fachadas tiveram uma representatividade, somados, de 68% na depleção de recursos abióticos – elementos não fósseis (módulos A1-A3) e de 64% no módulo B4. Já para a depleção de combustíveis fósseis, a contribuição foi de 34% (módulos A1-A3) e 18% (módulo B4).

Moraga (2017) realizou a ACV com simulação termoenergética em uma unidade habitacional unifamiliar de interesse social. A pesquisa considerou uma edificação com VUP de 50 anos, e três cenários de vida útil dos materiais de construção, a partir das previsões da NBR 15575 e de referências bibliográficas. A base de dados utilizada foi a *Ecoinvent* v3.3, com adaptação de dados para o contexto brasileiro, e a ferramenta *OpenLCA* v1.6 foi adotada para o cálculo de avaliação de impactos. Diferentemente do presente estudo, não foram considerados no escopo os sistemas de pisos e instalações complementares da edificação. Os resultados confirmaram os impactos operacionais como os mais importantes ao longo do ciclo de vida, em pelo menos 5 das 7 categorias avaliadas, seguidos dos impactos incorporados e, com a menor contribuição, os impactos no fim de vida, de forma semelhante à contribuição de cada estágio obtida no presente estudo, embora se tratar de tipologia de construção diferente.

Adicionalmente, Moraga (2017) verificou que os processos envolvendo a produção de metais e alumínio possuem contribuição importante nos impactos, pelos intensos processos energéticos relacionados, destacando-se a produção de alumínio das esquadrias previstas para a edificação na categoria de aquecimento global. Tal resultado é semelhante ao verificado na presente pesquisa, em que as esquadrias obtiveram a maior contribuição (19%) para o potencial de aquecimento global (módulos A1-A3) da edificação, com concentração dos impactos no item de caixilhos e perfis de alumínio.

Em pesquisa que comparou duas tipologias convencionais de habitação popular no Sul do Brasil através da ACV, com utilização de dados regionalizados, Morales et al. (2019) verificaram que os principais impactos se concentraram no estágio de uso, nos módulos B4 e B6, para ambas as residências, em 6 das 7 categorias avaliadas. O estudo considerou o escopo do berço ao túmulo, com reposições dos sistemas construtivos previstas a partir da NBR 15575, a base de dados *Ecoinvent v3.3* e o *software OpenLCA v1.6*. Os dados foram regionalizados considerando a matriz energética brasileira e processos de produção local de materiais como concreto, aço, areia, argamassas, brita, cimento e janelas de alumínio.

Na análise de contribuição dos sistemas construtivos nos módulos A1-A3, Morales et al. (2019) concluíram que os materiais cimentícios, metálicos e cerâmicos apresentaram a maior contribuição no impacto total da categoria de aquecimento global, para ambas as tipologias, destacando-se dentre os produtos metálicos o alumínio previsto para as esquadrias. Tais resultados são similares aos encontrados nesta dissertação, em que as esquadrias, pisos cerâmicos e estruturas estão entre os 5 sistemas de maior contribuição na categoria de aquecimento global, no estágio de produção da edificação.

Mesmo com as diferenças metodológicas, de escopo e de tipologias dos edifícios considerados em cada pesquisa, a comparação da modelagem de ACV deste estudo de caso com outras publicações trouxe maior robustez aos resultados obtidos. Foi corroborada a maior contribuição do estágio operacional do ciclo de vida nos impactos totais, seguido do estágio de produção, e foram confirmados os sistemas construtivos de maior relevância nas diferentes categorias de impacto. Também foi possível reforçar o entendimento de que o escopo, os critérios da modelagem de ACV e as características construtivas de cada caso podem apresentar significativa influência nos resultados, sendo de vital importância considerar tais diferenças de modelagem em análises comparativas.

5.3 CONTRIBUIÇÕES DAS AVALIAÇÕES DA ESTRUTURA METODOLÓGICA POR INSTITUIÇÕES PÚBLICAS

A realização dos grupos focais com as instituições públicas foi de vital importância para o refinamento da estrutura metodológica e para realização de alterações e complementações, visando a sua aplicação no processo de projeto de edificações públicas. As contribuições recebidas dos profissionais da área técnica foram plurais e são descritas na sequência, sintetizadas de acordo com as questões que guiaram as entrevistas dos 4 grupos focais.

5.3.1 Questão 1: A etapa de projeto básico é adequada para a inclusão da avaliação de desempenho ambiental?

Os profissionais entrevistados das diferentes instituições concordaram que a etapa de projeto básico é a mais adequada para a execução da avaliação de desempenho ambiental, pois é a etapa em que as definições construtivas estão sendo esmiuçadas, com disponibilidade de maiores informações técnicas. Nesta etapa, também, há maior segurança quanto às soluções previstas em cada cenário base de projeto. Porém, a maioria dos profissionais destacou a necessidade de se prever requisitos de avaliação de desempenho ambiental desde a primeira etapa do desenvolvimento de projetos, no programa de necessidades, para influenciar as definições de soluções técnicas por projetistas e promover a inclusão da sustentabilidade de forma mais efetiva.

Foi destacado que em projetos desenvolvidos em BIM, antes mesmo do que seria o nível de desenvolvimento equivalente ao projeto básico, em algumas disciplinas de projeto já são definidas soluções e materialidades que podem ser discutidas na avaliação de desempenho ambiental. Portanto, parte dos entrevistados destacou a importância de haver premissas de desempenho ambiental para aplicação da estrutura metodológica nos documentos que orientem o desenvolvimento do projeto (como cadernos de encargos da contratação ou termos de referência). Assim, quando possível, a estrutura metodológica pode ser aplicada antecipadamente, ou soluções alternativas podem ser discutidas para pontos macro do projeto (como exemplos, foram citadas estruturas, fundações, soluções de fachada), permitindo que o projeto básico caracterize mais a finalização da avaliação de desempenho ambiental, com um marco de entrega da análise e da consolidação das definições de projeto.

Em função destes apontamentos, os requisitos e especificações para inclusão nas contratações públicas foram revisados e detalhados, de forma a permitir o desenvolvimento do projeto

focado na inclusão da avaliação de desempenho ambiental, com conhecimento das ações necessárias para sua inserção desde a contratação para elaboração do projeto.

5.3.2 Questão 2: Você considera que o método apresentado é adequado para auxiliar a equipe técnica de órgãos públicos e projetistas, na inclusão da avaliação de desempenho ambiental nos projetos de edifícios públicos?

De forma geral, os profissionais entenderam que o método é adequado para auxiliar as instituições públicas na inclusão da avaliação de desempenho ambiental, mas que isso implica em uma mudança de cultura, já que atualmente desconhecem ferramentas similares no processo de projeto, e há escassez de profissionais especializados no tema da pesquisa dentro das instituições. Parte dos entrevistados afirmou que, em alguns casos, os projetos são elaborados em um cronograma apertado, que nem todas as etapas são cumpridas de uma forma clara, portanto entendem que seria de mais fácil aplicação se houvesse uma lista previamente definida de materiais com melhor desempenho ambiental para orientar o desenvolvimento do projeto. Neste ponto, foi debatido que uma lista pré-definida poderia auxiliar na otimização do projeto, porém para avaliar os impactos das soluções em todo o ciclo de vida da edificação completa, seria necessário realizar a modelagem de ACV, considerar a vida útil dos materiais e suas reposições, descartes, não dispensando uma abordagem mais detalhada. Também se destacou a importância de haver normativas ou legislações que tratem de forma expressa sobre a obrigatoriedade de implantar a avaliação de desempenho ambiental nos projetos de obras públicas, assim como existe para a implantação do BIM, pois isso poderia acelerar a inclusão da avaliação de desempenho ambiental nas instituições.

Alguns profissionais avaliaram como bem positiva a aplicação do método proposto, com a necessidade de que sejam detalhados os critérios para sua inclusão nas contratações públicas, de forma expressa nas obrigações da empresa contratada para sua execução. Foi destacada também a importância de haver um treinamento ou material complementar que trate sobre os conceitos relacionados à avaliação de desempenho ambiental e à operacionalização da estrutura metodológica, facilitando o entendimento das equipes técnicas envolvidas na contratação e fiscalização dos projetos nas instituições públicas. De modo complementar, sugeriu-se que o método seja esmiuçado para que o mesmo possa ser aplicado também por instituições que não possuam corpo técnico, tornando-o mais acessível. Parte dos profissionais informou que o método poderia ser incluído nas contratações como uma modalidade adicional que entraria no desenvolvimento do projeto, similar a uma disciplina de

projetos complementares, desde que definidos os requisitos para a empresa ou consultoria que irá executá-lo dentro do processo de projeto.

5.3.3 Questão 3: A estrutura metodológica apresentada contempla as informações necessárias para subsidiar a tomada de decisão na escolha de soluções construtivas, considerando o desempenho ambiental no processo de projeto?

Parte dos entrevistados entendeu que a estrutura metodológica continha as informações suficientes para auxiliar no processo de tomada de decisão sobre soluções construtivas, que a forma de apresentação dos resultados e os gráficos auxiliam na visualização objetiva para a comparação de cenários. Já outros profissionais entenderam que a versão até então desenvolvida do método precisava de ajustes, tornando-o mais objetivo, para que os procedimentos de fiscalização e definição do projeto não pudessem ser questionados posteriormente quanto aos critérios utilizados.

Alguns profissionais entenderam que as soluções encontradas com melhor desempenho ambiental podem divergir das soluções mais usuais de mercado, pois considerando os resultados do estudo de caso, houve dúvidas, por exemplo, se o piso laminado demandaria mais trocas no estágio de uso que o piso porcelanato, superando os impactos da solução do cenário base. Foram realizados questionamentos sobre como foram consideradas essas trocas do módulo B4 da modelagem de ACV, e tais contribuições levaram à realização da análise de sensibilidade, que até então não tinha sido desenvolvida e incluída na estrutura metodológica. A partir disso, as subetapas do *framework* principal também foram melhor detalhadas e o texto atualizado, de forma mais didática.

5.3.4 Questão 4: É necessário incluir alguma informação à estrutura metodológica?

Foram realizadas sugestões pontuais de inclusões na estrutura metodológica, além das já indicadas nas contribuições das perguntas anteriores. Como exemplo, foi sugerido que o método aponte o *software* a ser utilizado para a modelagem de ACV, que seja previsto o requisito das empresas contratadas indicarem soluções usuais de mercado e produtos comerciais na avaliação de desempenho ambiental, compondo um leque mais fácil para a tomada de decisão e posterior aplicação em obra. Para projetos desenvolvidos em BIM, destacou-se a importância de prever que no início do projeto deve ser apresentado um plano de execução BIM, e que as informações técnicas a serem extraídas do modelo devem ser disponibilizadas, prioritariamente, em arquivos com extensões que permitam a inserção facilitada no *software* de ACV, otimizando a modelagem.

Em um dos grupos focais, sugeriu-se incluir na estrutura metodológica uma subetapa para a definição de quais categorias de impactos são mais relevantes para o contexto de cada organização ou sua política institucional, determinando um indicador norteador a ser mitigado, de forma prévia a modelagem de ACV. Tal sugestão se deu pelo entendimento de que os sistemas construtivos e materiais podem apresentar diferentes desempenhos em cada categoria, e podem gerar um número excessivo de dados para gerenciar, com pouco conhecimento especializado pelas partes interessadas. Desta forma, poderiam ser definidas categorias prioritárias e mais alinhadas ao objetivo de cada instituição, para a condução da avaliação de desempenho ambiental. Para atender esta demanda, foi criada a subetapa 3.4 no *framework* principal da estrutura metodológica.

Foi sugerido também que seja incluída a avaliação dos custos relacionados às soluções de projeto a serem comparadas, em alinhamento à avaliação do custo do ciclo de vida (ACCV), de forma a dar mais embasamento e para justificar as decisões a serem tomadas na fase de projeto, principalmente em instituições públicas, em que os custos, na maioria das contratações, acabam configurando um critério prioritário na tomada de decisão.

De modo geral, os entrevistados entenderam que os itens previstos no método estavam adequados, considerando que a sua execução deve ocorrer por profissionais especializados na técnica de ACV, com fiscalização e gerenciamento pelas equipes técnicas das instituições. Na medida do possível, tentou-se incluir todas as sugestões recebidas dos grupos focais no *framework* da estrutura metodológica ou em suas ferramentas auxiliares apresentadas no subitem 5.1 deste documento.

5.3.5 Questão 5: É necessário excluir alguma informação da estrutura metodológica?

Os profissionais entrevistados em todos os grupos focais não identificaram etapas ou subitens a serem excluídos da versão apresentada da estrutura metodológica desta pesquisa.

5.3.6 Questão 6: Você acha necessário detalhar mais as etapas da estrutura metodológica? Se sim, quais?

Neste tópico, não houve um consenso entre os profissionais entrevistados. Parte dos profissionais entendeu que o detalhamento da estrutura metodológica estava adequado, considerando que deverá ser executado por empresa especializada no tema, que deve dominar os conceitos envolvidos e as etapas previstas. Foi relatado também que se o método for muito complexo e detalhado poderá haver uma maior dificuldade de ser implementado na prática, principalmente por se tratar de um tema relativamente novo para as instituições públicas. Por

outro lado, alguns profissionais entenderam que, justamente por se tratar de uma inovação, a estrutura metodológica deve ser detalhada ao máximo, acompanhada de explicações e estruturas complementares que facilitem seu entendimento, para a avaliação de desempenho ambiental ser executada de forma objetiva, com identificação clara dos resultados que devem ser apresentados. Para atender esta demanda, foi realizado o detalhamento da estrutura metodológica contido no Apêndice D, de forma complementar e apartada ao *framework* principal, para não confundir ou prejudicar seu entendimento. Nesta tabela de detalhamento, consta a descrição de cada etapa/subetapa e seus exemplos de aplicação no estudo de caso.

5.3.7 Questão 7: Você considera adequadas as especificações e requisitos apresentados para inclusão da avaliação de desempenho ambiental nos processos de contratação de elaboração de projetos de edifícios públicos?

As equipes técnicas consideraram pertinentes as especificações e requisitos para previsão nos processos de contratações públicas de empresas para elaboração de projetos, e realizaram sugestões de alterações pontuais e detalhamentos do texto, além de reforçarem as sugestões de inclusões relatadas nas questões anteriores, as quais foram inseridas e distribuídas entre as diferentes ferramentas que compõem a estrutura metodológica.

5.3.8 Questão 8: Você tem alguma sugestão, crítica ou comentário adicional sobre a estrutura metodológica apresentada?

Alguns entrevistados ressaltaram que, infelizmente, a estrutura proposta ainda está longe da rotina das instituições públicas, pois não é comum levar em consideração o desempenho ambiental no processo de projeto, muito em função da cultura estabelecida dos processos de trabalho, assim como pela necessidade de haver maior detalhamento da legislação no sentido de determinar, de forma expressa, a obrigatoriedade de inserção da avaliação de desempenho ambiental desde o projeto das edificações públicas.

Porém, de forma geral, os profissionais entrevistados deram um retorno positivo quanto à estrutura metodológica, indicando a vantagem de que a ferramenta propõe a avaliação de desempenho ambiental no início do processo de concepção de uma edificação pública, em que são mais facilitadas as mudanças de soluções construtivas, e com reduções mais substanciais nos impactos associados a todo o ciclo de vida. Alguns profissionais sugeriram que a estrutura seja difundida e expandida, de forma a ser aplicada em outros tipos de edificações e empreendimentos públicos. Foi relatado também que a importância do trabalho está relacionada ao fato de ser uma estrutura que propicia resultados numéricos e gráficos, mostrando de forma prática como os impactos ambientais podem ser mitigados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de soluções de sustentabilidade nas edificações públicas ainda é limitada, pois a legislação existente sobre o tema não prevê meios para operacionalização de ações sustentáveis. Adicionalmente, a Administração Pública possui uma parcela significativa da construção de edifícios no contexto brasileiro e o setor da construção se destaca nos impactos ambientais globais. Frente a isso, o presente estudo propõe a inclusão da avaliação de desempenho ambiental no processo de projeto de edifícios públicos, utilizando a técnica de ACV, de modo a comparar impactos ambientais de soluções construtivas e subsidiar a tomada de decisão de projetistas e equipes técnicas das instituições públicas.

Para o desenvolvimento da estrutura metodológica, foi analisado o processo de projeto de edificações públicas, constatando-se que o mesmo possui uma série de normas legais e procedimentos a serem cumpridos, diferentes atores envolvidos, e com especificidades que o tornam diferenciado em relação à elaboração de projetos do setor privado. A revisão de estudos sobre a ACV nas fases iniciais de projeto permitiu identificar, principalmente, métodos que investigam a integração entre o BIM e a ACV no processo de projeto, além de outros métodos com diferentes abordagens, desenvolvidos a partir de projetos paramétricos, certificações ambientais, ou voltados para um determinado contexto geográfico. Com base nos estudos analisados, identificou-se a etapa de projeto básico como mais adequada para inclusão da avaliação de desempenho ambiental, por possuir os elementos técnicos mínimos para a modelagem de ACV, e por ser a etapa em que as soluções técnicas ainda estão em processo de definição, permitindo alterações, sem inviabilizar o desenvolvimento do projeto como um todo.

A estrutura metodológica obtida contempla um *framework* principal e outras quatro ferramentas auxiliares, cujo desenvolvimento foi pautado nas normas internacionais que tratam da ACV no setor da construção, na experiência de aplicação das versões preliminares do método em um estudo de caso e nas contribuições advindas da análise de equipes técnicas envolvidas no processo de projeto em instituições públicas.

A versão final do *framework* principal é composta por 7 etapas e percorre desde a definição do objetivo e escopo de cada avaliação, passando pela seleção dos dados para a modelagem de ACV, até a avaliação de impactos e a escolha da melhor configuração de projeto para cada

caso. O público-alvo do instrumento compreende os profissionais que executarão a avaliação de desempenho ambiental, projetistas e as equipes técnicas das instituições que gerenciam os projetos de edifícios públicos. Esta estrutura pode servir como balizadora para os profissionais que executarão a avaliação, em alinhamento às diretrizes normativas de ACV, permitindo futuras comparações, e pode auxiliar também as equipes técnicas de instituições na fiscalização de avaliações elaboradas por empresas contratadas.

As ferramentas auxiliares foram formuladas para tornar mais prática e didática a estrutura metodológica. O roteiro de aplicação permite verificar de forma esquemática a execução das etapas do *framework* para um cenário base de projeto e, na sequência, comparar os resultados com a aplicação em cenários alternativos. A matriz de partes interessadas é importante para definir objetivamente os responsáveis pelo cumprimento de cada etapa da avaliação e quais as principais ações devem ser tomadas, a fim de que a avaliação de desempenho ambiental seja empregada de maneira efetiva. A relação de especificações e requisitos para inserção nas contratações públicas corresponde à tradução da estrutura metodológica na forma de exigências contratuais, de modo a garantir que empresas projetistas contratadas pelo Poder Público a executem de acordo com os requisitos técnicos. Por fim, a tabela de detalhamento da estrutura metodológica com aplicação no estudo de caso decorre de demanda trazida pelas instituições públicas, para facilitar a utilização e o entendimento por profissionais sem conhecimento especializado sobre desempenho ambiental e a técnica de ACV.

Os resultados da aplicação da estrutura metodológica no estudo de caso mostraram as principais contribuições do estágio de uso, seguido do estágio de produção, para os impactos de todo o ciclo de vida do cenário base de projeto. No estágio de uso, se destacaram o consumo de energia operacional (módulo B6) e as reposições dos sistemas construtivos (módulo B4), durante a vida útil da edificação, com maior representatividade dos sistemas de pisos, rede estruturada, instalações elétricas e de SPDA, revestimentos de vedações e fachadas e esquadrias. Nos módulos A1-A3, além dos sistemas citados, as estruturas de concreto armado também se destacaram. Foi possível verificar a importância de se considerar as instalações complementares na avaliação, com relevância em pelo menos 3 categorias, devido principalmente à presença de cobre nos componentes das instalações elétricas e afins.

Na avaliação de cenários alternativos, a configuração de projeto composta pelas soluções de pisos de madeira e esquadrias com caixilhos de madeira apresentou melhor desempenho

ambiental e gera uma redução de até 40% dos impactos do cenário base para ADPnf, de 15% no GWP, e reduções de 6 a 11% nas demais categorias. Em função das limitações de prazo e escopo deste trabalho, não foram definidos cenários alternativos para outros itens caracterizados como *hotspots* no cenário base de projeto, o que poderia reduzir ainda mais os impactos associados ao edifício. Porém, é possível verificar que a alteração de poucos materiais com destaque nos impactos de um projeto com escopo de 160 itens gerou reduções importantes para o desempenho ambiental de todo o ciclo de vida da edificação.

A análise de sensibilidade conduzida para verificar a influência dos períodos de vida útil considerados para os pisos e esquadrias nos diferentes cenários revelou que o número de reposições destes itens no estágio de uso da edificação não foi tão significativo, ao ponto de inviabilizar a adoção da configuração de projeto mais vantajosa sob o aspecto ambiental.

Em discussão com a literatura de referência, os resultados da aplicação do instrumento no estudo de caso mostraram aderência às conclusões de modelagens de ACV para outras edificações no contexto nacional, em especial quanto à concentração dos impactos no estágio operacional, assim como os sistemas construtivos com maior representatividade nas diferentes categorias avaliadas. Neste ponto, destaca-se a importância do *framework* proposto prever a definição objetiva de itens como o escopo, inventário e os critérios da modelagem de ACV, pois tais decisões podem apresentar significativa influência nos resultados obtidos, sendo de vital importância considerar as diferenças de cada modelagem em estudos comparativos.

As contribuições das avaliações realizadas pelos profissionais de instituições públicas foram muito pertinentes e enriquecedoras, de modo a ajustar a estrutura metodológica da avaliação de desempenho ambiental ao público-alvo desta pesquisa, na tentativa de tornar as ferramentas desenvolvidas mais práticas e contextualizadas à realidade do processo de projeto de edifícios públicos. Os profissionais reforçaram a etapa de projeto básico como crucial para a execução da avaliação, mas também citaram a importância de previsão de requisitos e premissas sobre o tema nas contratações públicas e desde a primeira etapa de projeto.

Complementarmente, foi mencionada a necessidade da participação de especialistas em ACV para a execução da modelagem dos impactos ambientais, e para que a estrutura metodológica possa ser implantada de forma completa, com suporte técnico especializado aos projetistas e equipes técnicas de instituições públicas, em um processo integrativo.

Embora parte dos profissionais tenha ressaltado que a implantação da avaliação de desempenho ambiental represente uma mudança de cultura no processo de projeto atual da Administração Pública, foi citado como grande benefício o fato da estrutura metodológica possibilitar, ainda na concepção da edificação, a avaliação e redução dos impactos ambientais associados, pois este tipo de análise tende a ser realizada geralmente durante a obra ou na utilização do edifício, quando as ações possíveis para mitigar os impactos são mais limitadas.

O método proposto precisa superar também o desafio relacionado à prioridade na adoção de soluções construtivas baseadas apenas no menor custo, presentes nas instituições em função de imposições legais. Porém, com a estruturação da avaliação de desempenho ambiental de forma objetiva e científica, os processos de tomada de decisão podem ser mais bem justificados, motivando um aperfeiçoamento dos processos de aquisição no setor público.

Por fim, esta pesquisa buscou conectar os conhecimentos existentes da técnica de ACV ao processo de projeto de edificações públicas, criando um instrumento que possa auxiliar na inclusão da avaliação de desempenho ambiental na Administração Pública, de modo a influenciar positivamente a busca pelo desenvolvimento sustentável.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando a complexidade inerente à avaliação de desempenho ambiental no processo de projeto de edifícios públicos, assim como as limitações do presente estudo, são propostas as seguintes sugestões:

- a) Testar a estrutura metodológica em outros estudos de caso de projetos de edificações públicas, a fim de verificar sua adequação e possíveis melhorias;
- b) Entrevistar um número maior de profissionais potencialmente envolvidos na aplicação da avaliação de desempenho ambiental no processo de projeto de edifícios públicos, a fim de identificar ajustes e melhorias para sua utilização;
- c) Desenvolver um trabalho conjunto com instituições públicas para implantação da estrutura metodológica em processos de contratações públicas para elaboração de projetos, verificando as adequações necessárias nas ferramentas propostas, e acompanhando a execução da avaliação de desempenho ambiental durante o desenvolvimento dos projetos.

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. a.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009. b.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16636**: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos – Partes 1 e 2. Rio de Janeiro, 2017.
- ACERO, A. O. et al. LCIA methods Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. **Greendelta**. 2016. Disponível em: https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/openLCA_LCIA_METHODS-v.1.5.6.pdf . Acesso em: 12 de abril de 2021.
- ACHARYA, S.; CHAKRABARTI, A. Supporting Environmentally-Benign Design: Environmental Impact Estimation and Uncertainty Categories with Respect to Life Cycle Assessment in Conceptual Design. **Research into Design for Communities**. V. 2, 66. 2017.
- Acordo de Paris, 2015. **Organização da Nações Unidas** (ONU). Convenção Quadro sobre Mudança do Clima. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/node/88191>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- AIA. **AIA Document E202 – 2008 - Building Information Modeling Protocol Exhibit**. United States: [s. n.], 2015.
- AL-GHAMDI, S. G.; BILEC, M. M. Green Building Rating Systems and Whole-Building Life Cycle Assessment: Comparative Study of the Existing Assessment Tools. **Journal of Architectural Engineering**. 23. 2017.
- ANAND, C. K.; AMOR, B. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 67, p. 408–416. 2017.
- ANTÓN, L. Á.; DIÁZ, J. Integration of life cycle assessment in a BIM environment. **Creative Construction Conference**, v. 85, p. 26–32, 2014.
- AZARIJAFARI, H.; SAFARI, K. Challenges and opportunities for integrating BIM and LCA: Methodological choices and framework development. **Sustainable Cities and Society**. 67, 102728. 2021.
- AZZOUZ, A. et al. Life cycle assessment of energy conservation measures during early stage office building design: A case study in London, UK. **Energy and Buildings**. 139, p. 547-568. 2017.

- BAHRAMIAN, M.; YETILMEZSOY, K. Life cycle assessment of the building industry: An overview of two decades of research (1995-2018). **Energy and Buildings**. 219. 2020.
- BARROS, N. N. **Impactos da adoção de BIM na avaliação de energia e emissões de GHG incorporadas no ciclo de vida de edificações**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, 2016.
- BASBAGILL, J. P. et al. Measuring the impact of dynamic life cycle performance feedback on conceptual building design. **Journal of Cleaner Production**. 164, p. 726-735. 2017.
- BHATTA, B. *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data*. Springer. 2010.
- BIM FORUM. **Level of development (LOD) specification part I & commentary**. United States: [s. n.], 2019
- BJØRN, A. et al. LCA History. In: HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Cham: **Springer International Publishing**, p. 17–30. 2018.
- BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Instrução Normativa nº. 01/2010**. Brasília, 2010.
- BRASIL. **Decreto nº. 7.746**, de 5 de junho de 2012. Estabelecimento de critérios e práticas para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações públicas. Brasília, 2012.
- BRASIL. **Decreto nº. 10.306**, de 2 de abril de 2020. Utilização do BIM na Administração Pública Federal. Brasília, 2020.
- BRASIL. **Lei nº. 14.133**, de 1º de abril de 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, 2021.
- BRETAS, E. S. **O processo de projetos de edificações em instituições públicas: proposta de um modelo simplificado de coordenação**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. Belo Horizonte, 2010.
- BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development**. Oslo. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 23 de setembro de 2021.
- BUENO, C.; FABRICIO, M. M. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. **Automation in construction**. 90, p. 188-200. 2018.
- BUYLE, M. et al. Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 26, p. 379-388. 2013.
- CABEZA, L. F. et al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 29, p. 394–416. 2014.
- CAIXA, CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI: Metodologias e Conceitos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil** – 8ª Edição. Brasília, 2020.
- CARVALHO, M. T. M. et al. **Gerenciamento de Obras Públicas**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, 2017.

CASTRO, R. et al. Overview of Whole Building Life-Cycle Assessment for Green Building Certification and Ecodesign through Industry Surveys and Interviews. **Procedia CIRP**. 69, p. 178-183. 2018.

CAXIAS, Prefeitura Municipal de Caxias - Maranhão. Concorrência nº. 003/2021 – Parceria Público-privada. Disponível em: <http://sis.caxias.ma.gov.br/ccl/admin/view/14702450-72dc-11ec-82a6-83129bccf130>. Acesso em 19 fev. 2022.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15.978:2011**: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2011.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **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, 2013.

CHRIST, A. K. B. **Impactos ambientais do ciclo de vida de uma edificação comercial considerando diferentes sistemas construtivos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

COELHO FILHO, O. et al. **A avaliação do ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília, 2016.

COLLIN, C. et al. A case-based study on the use of life cycle assessment and life cycle costing in the building industry. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 323, 012163. 2019.

DALLA MORA, T. et al. Key Parameters Featuring BIM-LCA Integration in Buildings: A Practical Review of the Current Trends. **Sustainability**. 12, 7182. 2020.

DEJACO, M. C. et al. Combining LCA and LCC in the early-design stage: a preliminary study for residential buildings technologies. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 588, 042004. 2020.

DE PAULA, C. H. et al. Optimal design and environmental, energy and exergy analysis of a vapor compression refrigeration system R290, R1234yf, and R744 as alternatives to replace R134a. **International Journal of Refrigeration**. 113, 10-20. 2020.

DIAS, L. C. et al. Eco-efficiency in early design decisions: A multimethodology approach. **Journal of Cleaner Production**. 283, 124630. 2021.

DUPREZ, S. et al. Improving life cycle-based exploration methods by coupling sensitivity analysis and metamodels. **Sustainable Cities and Society**. 44, p. 70-84. 2019.

EEBGUIDE, Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative. Part B: Buildings. 2011.

EMMANUEL, U. et al. Life Cycle Energy Assessment (LCEA) Approach: A Prospect for Sustainable Architecture in Developing Countries. **Civil Engineering and Architecture**. 8, n. 5. p. 777-791. 2020.

EPD, The International Environmental Product Declarations System. Disponível em: <https://www.environdec.com/home>. Acesso em 06 jun. 2022.

EVANGELISTA, P. P. A. **Desempenho ambiental na construção civil: parâmetros para aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em edificações residenciais brasileiras**. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências, Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

FALUDI, J. et al. Using Life Cycle Assessment methods to guide architectural decision-making for sustainable prefabricated modular building. **Journal of Green Building**. 7, n. 3, p. 151 – 170. 2012.

FNAIS, A. et al. The application of life cycle assessment in buildings: challenges, and directions for future research. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 27, p. 627-654. 2022.

FREGONARA, E. et al. Economic-Environmental Indicators to Support Investment Decisions: A Focus on the Buildings' End-of-Life Stage. **Buildings**. 7, 65. 2017.

FRISCHKNECHT, R. et al. Comparison of the environmental assessment of an identical office building with national methods. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 323, 012037. 2019.

GALIMSHINA, A. et al. Probabilistic LCA and LCC to identify robust and reliable renovation Strategies. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 323, 012058. 2019.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**. Brasília, 23(1), p.183-184, 2014.

GARDEZI, S. S. S.; SHAFIQ, N. Prospects of a Sustainable EOL – Carbon Footprint Assessment of a Tropical Housing Habitat. **Lecture Notes in Civil Engineering**. 132. p. 545-554. 2021.

GBCBRASIL, Green Building Council Brasil. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacoes/>. Acesso em 27 set. 2021.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. **Atlas**. 2002. 4ª. Ed.

GOLDSTEIN; RASMUSSEN, 2018. LCA History. In: HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. Life Cycle Assessment: Theory and Practice. **Cham: Springer International Publishing**. p. 695-722. 2018.

GOMES, V.; BARROS, N. N. Contribuição da modelagem BIM para facilitar o processo de ACV de edificações completas. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São, Carlos, v. 13, n. 2, p. 19, 2018.

GOMES, V. et al. Exploring lifecycle energy and greenhouse gas emissions of a case study with ambitious energy compensation goals in a cooling-dominated climate. **Energy and Buildings**, v. 173, p. 302–314. 2018.

HASIK, et al. Whole building life cycle environmental impacts and costs: A sensitivity study of design and service decisions. **Building and Environment**. 163. 2019.

HESTER, J. et al. Actionable insights with less data: guiding early building design decisions with streamlined probabilistic life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 23, p. 1903–1915. 2018. a.

HESTER, J. et al. Building design-space exploration through quasi-optimization of life cycle impacts and costs. **Building and Environment**. 144, p. 34-44. 2018. b.

- HOLLBERG, A. et al. A data-driven parametric tool for under-specified LCA in the design phase. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 588, 052018. 2020.
- HOLLBERG, A. et al. Review of visualising LCA results in the design process of buildings. **Building and Environment**. 190. 2021.
- HOLMSTROM, J., KETOKIVI, M., HAMERI, A-P. Bridging practice and theory: a design science approach. **Decision Science**, v. 40, n. 1, p. 65-87. 2009.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa anual da Indústria da Construção**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=754>. Acesso em: 25 set. 2021.
- IBRAOP, Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas. **Orientação Técnica 006/2016 – Anteprojeto de Engenharia**. 2016.
- IEA, International Energy Agency. Energy Efficiency 2018: “Analysis and outlooks to 2040”. **International Energy Agency, 2018**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2018>. Acesso em: 14 abr. 2022.
- IERVOLINO, S.; PELICONI, M. **A utilização do grupo focal como metodologia qualitativa na promoção da saúde**. Rev.Esc.Enf. USP, v. 35, n. 2, p. 115-21, 2001.
- IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Suíça: Gian-Kasper Plattner, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 23 set. 2021.
- JOHN, V. M. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. G Isaia, editor. **IBRACON**, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- JUSSELME, T. et al. An integrative approach for embodied energy: Towards an LCA-based data driven design method. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 88, p. 123-132. 2018.
- KANAFANI, K. et al. Early Design Stage Building LCA using The LCAbyg Tool: New Strategies For Bridging The Data Gap. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 323, 012117. 2019.
- KREINER, H. et al. A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage. **Energy and Buildings**. 109, p. 385-396. 2015.
- KUMANAYAKE, R.; LUO, H. Development of automated tool for buildings’ sustainability assessment in early stage design. **Procedia Engineering**. 196, p. 903-910. 2017.
- LOBACCARO, G. et al. Parametric design to minimize the embodied GHG emissions in a ZEB. **Energy and Buildings**. 167, p. 106-123. 2018.
- LOSEKANN, L.; TAVARES, A. **Transição energética e potencial de cooperação nos BRICS em energias renováveis e gás natural**. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada. Brasília, 2020.
- LUKKA, K. The constructive research approach. Case study research in logistics. **Publications of the Turku School of Economics and Business Administration**. Series B, v. 1, p. 83-101. 2003.

- MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision support systems**. v. 15, n. 4, p. 251-266. 1995.
- MARJABA, G.E.; CHIDIAC, S.E. Sustainability and resiliency metrics for buildings – Critical review. **Building and Environment**. 101, p. 116-125. 2016.
- MARSH, R. LCA profiles for building components: strategies for the early design process. **Building Research and Information**. 44, p. 358-375. 2016.
- MATTHEWS, H. S. et al. Life cycle assessment: quantitative approaches for decisions that matter. **LCA textbook**, 2015.
- MEEEX, E. et al. Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. **Building and Environment**. 133, p. 228-236. 2018.
- MONCASTER, A. M. et al. Why method matters: Temporal, spatial and physical variations in LCA and their impact on choice of structural system. **Energy and Buildings**. 173, p. 389-398. 2018.
- MORAGA, G. L. **Avaliação do ciclo de vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- MORALES, M. et al. Regionalized inventory data in LCA of public housing: A comparison between two conventional typologies in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**. 238, 117869. 2019.
- NILSEN, M. BOHNE, R. A. Evaluation of BIM based LCA in early design phase (low LOD) of buildings. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 323, 012119. 2019.
- NOLAN, T; DOYLE-KENT, M. An investigation into the role of the building structure on energy use and CO2 emissions over the life cycle of a medium-rise residential building. **IFAC Papers on line**. 51-30. p. 60–65. 2018.
- PASSER, A. et al. BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review. **Sustainability**. 12, 5534. 2020.
- PETTICREW, M. Systematic Reviews from Astronomy to Zoology: Myths and Misconceptions. **British Medical Journal**. v.322, pp. 98-101, 2001.
- POMPONI, F; MONCASTER, A. Scrutinising embodied carbon in buildings: The next performance gap made manifest. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 81. p. 2431-2442. 2018.
- PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2021. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/pci/main.asp?View=%7b8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C%7d>. Acesso em: 27 set. 2021.
- PULGROSSI, L. M. **Influência das regras de corte nos resultados de avaliação do ciclo de vida de edificações completas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2020.
- ROBERTS, M. ALLEN, S. COLEY, D. Life cycle assessment in the building design process – A systematic literature review. **Building and Environment**. 185. 2020.

- RODGER, J. M. et al. Life Cycle Costing: An Introduction. In: HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. Life Cycle Assessment: Theory and Practice. **Cham: Springer International Publishing**. 2018.
- RODRIGUES, C. et al. Streamlined environmental and cost life-cycle approach for building thermal retrofits: A case of residential buildings in South European climates. **Journal of Cleaner Production**. 172, p. 2625-2635. 2018.
- ROSENBAUM, R. K. et al. Life Cycle Impact Assessment. In: HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. Life Cycle Assessment: Theory and Practice. **Cham: Springer International Publishing**. 2018.
- SAADE, M. R. M. et al. Comparative whole building LCAs: How far are our expectations from the documented evidence? **Building and Environment**. 167. 2020.
- SCHULTZ, J. et al. A benchmark study of BIM-based whole-building life-cycle assessment tools and processes. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**. 7:3-4, p. 219-229. 2016.
- SEV, A. How can the construction industry contribute to sustainable development? A conceptual framework. **Sustainable Development**. 17, p. 161-173. 2009.
- SILVA, R. C.; FREITAS, L.S. Diretrizes para a fase de projetos de edificações públicas sob o foco da sustentabilidade ambiental: estudo de caso de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) de acordo com o sistema de certificação LEED. **INTERAÇÕES**. Campo Grande, v. 17, n. 4, p. 767-780. 2016.
- TCU, Tribunal de Contas da União. **Obras Públicas – Recomendações básicas para a contratação e fiscalização de obras de edificações públicas**. 4ª. ed. Brasília, 2014.
- TCU, Tribunal de Contas da União. **Sustentabilidade na Administração Pública Federal. Sumário Executivo**. Brasília, 2017.
- TIMM, J. F. G. et al. Green public procurement model for environmental assessment of constructive systems. **International Journal of Construction Management**. 2021.
- UGAYA, C. M. L. et al. Life cycle thinking in Brazil: challenges and advances towards a more comprehensive practice. **International Journal of life Cycle Assessment**. 22, p. 462-465. 2017.
- UNEP. **Buildings and Climate Change – Summary of Decision Makers**. França, 2009. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/32152>. Acesso em: 24 set. 2021.
- VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**. 41:2. Blackwell, ed. 2004.
- VARELA, M. M. **Método para integração da ACV ao processo de modelagem da informação (BIM)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- VIGGIANO, M. H. S. Edifícios públicos sustentáveis. **Senado Verde**. Brasília, 2010.
- VINUTO, J. A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto. **Temáticas**, Campinas, 22, (44): 203-220, ago/dez. 2014.

VOLF, M. et al. Application of building design strategies to create an environmentally friendly building envelope for nearly zero-energy buildings in the central European climate. **Energy and Buildings**. 165, p. 35-46. 2018.

ZIMMERMANN, R. K. et al. Early Design Stage Building LCA using the LCAByg tool: Comparing Cases for Early Stage and Detailed LCA Approaches. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 323, 012118. 2019.

WAN OMAR, W. M. S. A hybrid life cycle assessment of embodied energy and carbon emissions from conventional and industrialised building systems in Malaysia. **Energy and Buildings**. 167, p. 253-268. 2018.

WASTIELS, L. DECUYPERE, R. Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies. **IOP Conference Series: Earth Environmental Science**. 323, 012101. 2019.

WEF, Shaping the Future of Construction - a Breakthrough in Mindset and Technology. World Economic Forum - prepared in collaboration with The Boston Consulting Group. **World Economic Forum**. 2016.

YAN, H. et al. Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong. **Building and Environment**, 45. p. 949-955. 2010.

**APÊNDICE A – Composição dos sistemas e elementos construtivos do
projeto de edifício público adotado como estudo de caso**

Tabela 8 - Composição dos sistemas e elementos construtivos do projeto do edifício público adotado como estudo de caso

Macroitem da planilha orçamentária do projeto	Sistemas ou elementos construtivos*	Principais materiais e insumos
Fundações e estrutura	Elementos estruturais, muros, contenções, reservatório, fossas	Aço, areia, cimento, concreto, chapas e tábuas de madeira, pregos, selante, desmoldante, escora metálica.
	Pisos	Pedra britada, areia média, cimento, porcelanato, rejuntas, argamassa colante, placas de granito, pisos táteis em placas de concreto, betoneira.
Arquitetura	Vedações	Tijolo cerâmico maciço, areia média, cal hidratada, cimento, betoneira, gesso acartonado, granito, lâ de vidro.
	Revestimentos de paredes e fachadas	Areia grossa, cimento, betoneira, cal hidratada, rejunte, argamassa colante, pastilha porcelanizada, granito.
	Forros, coberturas e proteções	Gesso acartonado, aço estrutural, aço galvanizado, pregos.
	Esquadrias	Caixilhos de alumínio, alumínio anodizado, vidros, areia média, cimento, betoneira, energia elétrica, madeira, poliuretano, solventes, verniz, ferro, tintas, fechaduras e metais.
	Pintura	Massa acrílica, lixas, tintas.
	Louças e bancadas de granito	Válvulas metálicas, fitas, sifões metálicos, lavatórios em louça branca, bacias em louça branca, parafusos, assentos sanitários, anéis de vedação em borracha, bolsas de ligação em PVC, granito, colas.
	Metais	Duchas, chuveiros, torneiras, válvulas de descarga, cuba de aço inoxidável, fitas, válvulas em metal cromado, barras de apoio em aço inox.
	Diversos	Espelhos, vidros temperados, escada de marinho metálica, mastro para bandeira em aço galvanizado, corrimão em aço inox, gradil com arames de aço, poste metálico.
	Paisagismo	Gramas, calcário dolomítico, adubo orgânico bovino.
	Impermeabilização	Pinturas e mantas asfálticas, proteção mecânica
Água fria		Tubo de PVC, adesivo de PVC, solução limpadora, fitas, válvulas de retenção, válvulas de descarga, registro de gaveta, aço, cimento, areia, pedra, hidrômetro, torneira de boia.
Instalações hidrossanitárias e drenagem de águas pluviais	Esgoto sanitário	Tubo de PVC, adesivo de PVC, solução limpadora, fitas, grelhas de inox, caixas sifonadas em PVC, aço, arruelas, chumbador, pedra britada, cimento, areia, tijolo cerâmico, cal hidratada.
	Drenagem de águas pluviais	Tubo de PVC, adesivo de PVC, solução limpadora, pedra britada, cimento, areia, tijolo cerâmico, cal hidratada.
	Drenos de ar condicionado	Tubo de PVC, adesivo de PVC, solução limpadora, braçadeira galvanizada, arruela, porca, tijolo cerâmico, cimento, aço.
Prevenção e combate a incêndio	Hidrantes (infraestrutura, obras civis e equipamentos)	Tubo de aço galvanizado, fitas, adaptadores em latão, tampos em latão, registros de gaveta, válvulas de retenção, vergalhões, arruelas, bombas centrífugas, cimento, areia, abrigo de mangueiras, mangueiras.
	Extintores	Extintores, suportes em aço galvanizado, buchas de nylon, areia, prego, cimento.
	Sinalização de emergência	Placas de plástico rígido, fitas dupla face.

Macroitem da planilha orçamentária do projeto	Sistemas ou elementos construtivos*	Principais materiais e insumos
Instalações elétricas e SPDA	Subestação em Poste	Poste, areia, cimento, No break completo, Quadros completos, janelas metálicas, arames, concreto, transformador trifásico.
	Alimentadores (infraestrutura e cabeamento)	Eletrodutos em ferro galvanizado, arame galvanizado, caixa de passagem em liga de alumínio, areia, cimento, tijolo cerâmico, tampa em latão, buchas e arruelas, cabos de cobre, terminais de bronze.
	Quadros	Quadros de força completos, conforme projeto.
	Tomadas (infraestrutura e cabeamento)	Eletrocalha galvanizada, parafusos, arruelas, curvas e tês, flanges, arames, caixas em ferro galvanizado, caixas em PVC, tomadas de embutir, tomadas de piso, eletrodutos metálicos, conectores, cabos de cobre.
	Iluminação (infraestrutura e cabeamento)	Perfilado em chapa de aço, caixas de derivação, parafusos, tês, emendas internas, curvas, buchas e arruelas em alumínio fundido, tijolos cerâmicos, areia, cimento, cal hidratada, aço, cabos, fitas, vergalhões.
	Luminárias	Luminárias de embutir, lâmpadas fluorescentes, luminárias de emergência, lâmpadas dicróicas, reatores, alarme de emergência.
	SPDA e Aterramento	Cabo de cobre nu, eletroduto de PVC, terminal aéreo em aço galvanizado, tijolos cerâmicos, cal hidratada, areia, cimento, mastro galvanizado, parafusos, arruelas, suportes, chumbadores, captor Franklin de latão.
Rede estruturada e Antena de TV	Infraestrutura e cabeamento	Antenas, cabos, eletrodutos de ferro galvanizado, eletroduto de PVC rígido, arame, placas cegas, conectores, cimento, tijolo cerâmico, eletrocalha galvanizada, parafusos, junções, tês, chumbadores, patch cable.
Climatização	Equipamentos	Condensadoras, evaporadoras, exaustores, ventilador, eletroduto de ferro galvanizado, arame, cabo.
	Rede frigorígena	Tubos de cobre, borracha elastomérica, soldas, fitas, gás refrigerante, folhas de alumínio corrugado, colas, arruelas, perfilados em chapa de aço, borracha, vergalhão.
	Rede de dutos	Chapas galvanizadas, chumbadores, difusores, colarinhos, venezianas, dutos flexíveis, Tubo PVC, adesivos, difusores de ar, juntas flexíveis.
Instalações de GLP	Instalações de GLP	Tubos, fitas, joelhos em ferro galvanizado, mangueiras, tês, registros, cimento, tijolo cerâmico.

* As definições e enquadramentos de sistemas e elementos construtivos seguiram a estrutura prevista na planilha orçamentária e nos projetos do estudo de caso avaliado.

Fonte: adaptado de MPF (2019).

**APÊNDICE B – Itens de projeto excluídos do escopo de aplicação da
estrutura metodológica**

Tabela 9 - Relação dos itens de projeto do estudo de caso excluídos da aplicação da estrutura metodológica e sua representatividade mássica

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
09705.3.2.12.2	REJUNTE MONOCOMPONENTE PARA PORCELANATO E GRANITO, REF.: QUARTZOLIT OU EQUIVALENTE	1240,46
7325	ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA CONCRETO E ARGAMASSA	464,00
1380	CIMENTO BRANCO	14,49
11029	HASTE RETA P/ GANCHO FG C/ ROSCA - 1/4" X 30CM - P/ FIXACAO TELHA METALICA - INCL PORCA E ARRUELAS DE 1VEDACAO	6,27
13388	SOLDA 50/50	4,76
3089	FECHADURA EMBUTIR EXTERNA (C/ CILINDRO) COMPLETA - ACAB SUPERIOR (LINHA LUXO)	21,70
2.2.02.171	PORTA DE 4 FOLHAS DE COMPENSADO COM BANDEIRA, COM REFORÇOS PARA FERRAGENS; INCLUI INSTALAÇÃO DE FECHADURAS, DOBRADIÇAS E FECHOS, DIMENSÕES 400 X 270 CM	25,10
11523	PUXADOR CONCHA LATAO CROMADO OU POLIDO P/ PORTA/JAN CORRER - 3 X 9CM	0,48
02822.3.3.3	TELA ONDULADA GALVANIZADA, MALHA 25 X 25 MM, FIO Ø 3,4 MM, PINTADA EM ESMALTE SINTÉTICO	5,10
08110.3.3.2	ALÇAPÃO DE FERRO COM REQUADRO	22,22
08110.3.3.6	KIT COMPLETO DE FECHADURA ELÉTRICA PARA PORTÃO ELETRÔNICO	1,60
VÁRIOS	ALÇAPÃO DE FERRO COM REQUADRO COM BATENTE	29,33
15155.3.14.2	VÁLVULA DE ESCOAMENTO METÁLICA PARA LAVATÓRIO / BIDÊ (DIÂMETRO DE ENTRADA: 1 ")	0,87
15410.3.29.1.2	TORNEIRA DE MESA PARA LAVATÓRIO COM ACIONAMENTO HIDROMECHANICO (REF.: PRESSMATIC 110, DOCOL OU EQUIVALENTE)	8,14
6137	SIFAO EM METAL CROMADO 1 X 1 1/2"	6,82
11683	ENGATE OU RABICHO FLEXIVEL EM METAL CROMADO 1/2" X 30CM	0,01
VÁRIOS	ASSENTO PARA BACIA SANITÁRIAS, DIVERSAS REFERÊNCIAS	6,83
15105.3.1.1	TUBO DE LIGAÇÃO DE LATÃO COM CANOPLA PARA BACIA (COMPRIMENTO: 250,00 MM / DIÂMETRO DA SEÇÃO: 1 1/2 " / TIPO DE ACABAMENTO: CROMADO)	0,18
11955	PARAFUSO LATAO ACAB CROMADO P/ FIXAR PECA SANITARIA - INCL PORCA CEGA, ARRUELA E BUCHA DE NYLON S-10	2,88
6140	BOLSA DE LIGACAO EM PVC FLEXIVEL P/ VASO SANITARIO 1.1/2" (40MM)	0,20
15410.3.12.1	JOGO DE METAIS PARA MICTÓRIO 1 ENGATE FLEXIVEL, 1 PAR DE PARAFUSOS, BUCHA E ARRUELAS (TIPO DE ACABAMENTO: CROMADO)	0,60
15155.3.14.3	VÁLVULA DE ESCOAMENTO METÁLICA PARA TANQUE / MICTÓRIO (DIÂMETRO DE ENTRADA: 1 1/4 ")	0,18
6136	SIFAO EM METAL CROMADO 1 1/2 X 1 1/2"	0,62
4381	PARAFUSO ROSCA SOBERBA ACO ZINC CABECA CHATA FENDA SIMPLES 8 X 100MM	4,96
16588.3.6.3	MÃO FRANCESA METÁLICA	41,30
15410.3.54.2	DUCHA HIGIÊNICA COM REGISTRO E DERIVAÇÃO, GATILHO CROMADO (REF.: LINHA IZY, 1984.C37.ACT.CR, DECA OU EQUIVALENTE)	10,89
11679	BRACO OU HASTE C/CANOPLA PLASTICA 1/2" P/ CHUVEIRO ELETRICO"	0,19
1368	CHUVEIRO ELETRICO COMUM PLASTICO TP DUCHA 110/220V	0,60
15110.3.7.6	ACABAMENTO PARA VÁLVULA DE DESCARGA (ACABAMENTO: CROMADA ACETINADA / REF.: HYDRAMAX, DECA OU EQUIVALENTE)	13,29
15110.3.7.5	ACABAMENTO (VOLANTE E CANOPLA) PARA REGISTRO DE PRESSÃO E GAVETA (REF.: LINHA IZY, 4900.C37, DECA OU EQUIVALENTE)	2,56
15110.3.7.8	VÁLVULA DE DESCARGA PARA MICTÓRIO COM FECHAMENTO AUTOMÁTICO (REF.: DECAMATIC 2570 C, DECA OU EQUIVALENTE)	3,33
6150	SIFAO EM METAL CROMADO 1 1/2 X 2"	0,85

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
6157	VALVULA EM METAL CROMADO TIPO AMERICANA 3.1/2" X 1.1/2" P/ PIA DE COZINHA	0,11
1744	CUBA ACO INOXIDAVEL NUM 3 (40,0X34,0X11,5) CM	1,33
11762	TORNEIRA CROMADA 1/2" OU 3/4" REF 1153 P/ JARDIM/TANQUE - PADRAO ALTO	3,34
VÁRIOS	TORNEIRAS REF.: LINHA IZY, 1153.C37, DECA OU EQUIVALENTE	5,24
11186	ESPELHO CRISTAL E = 4 MM	160,00
7331	EMULSAO ASFALTICA COMPOSTA POR ASFALTOS MODIFICADOS (1,02 KG/L)	403,92
116	REVESTIMENTO IMPERMEABILIZANTE SEMI-FLEXIVEL BI-COMPONENTE TP VIAPLUS 1000 VIAPOL OU MARCA EQUIVALENTE	1914,12
11625	EMULPRIMER - TINTA PRIMARIA BETUMINOSA EM SUSPENSAO AQUOSA	81,90
12613	TUBO DE DESCARGA DE PVC PARA VÁLVULA, COM JOELHO AZUL	1,98
10418	VALVULA RETENCAO VERTICAL BRONZE (PN-16) 1" 200PSI - EXTREMIDADES C/ ROSCA"	0,66
10228	VÁLVULA DE DESCARGA DE *1 1/2"* COM REGISTRO E ACABAMENTO EM METAL CROMADO	13,24
VÁRIOS	REGISTRO GAVETA BRUTO LATAO REF 1502-B, VÁRIAS DIMENSÕES	20,24
6024	REGISTRO PRESSAO 3/4" REF 1416 - C/ CANOPLA ACAB CROMADO SIMPLES	0,76
13105.3.3.96	CHUMBADOR COM ROSCA INTERNA COMPLETO Ø 1/4 " X 50 MM	50,32
16115.3.2.74	ARRUELA LISA DE Ø 1/4 " - GALVANIZADA	170,66
397.1	BRAÇADEIRA TIPO A GALVANIZADA - Ø 1 1/2 " A 2 1/2 " - CHAPA #18	2,22
14148	PORCA ZINCADA SEXTAVADA ALTA 1/4"	12,58
11824	TORNEIRA DE BOIA VAZAO TOTAL 3/4" C/ BALAO PLASTICO OU METALICO	0,33
VÁRIOS	BRAÇADEIRA TIPO A GALVANIZADA - DIVERSOS DIÂMETROS - CHAPA #18	3,36
21072	TAMPA QUADRADA FOFO C/ BASE 600 X 600MM CARGA MAX 2000KG P/ CAIXA INSPECAO, ESGOTO, AGUA, ELETRICA ETC	499,80
VÁRIOS	RALO SEMI-ESFERICO FOFO TP ABACAXI P/ LAJES, CALHAS ETC, VÁRIOS DIÂMETROS	4,20
11284	GRELHA BOCA DE LOBO FOFO 95KG C/REQUADRO ARTICULADA 290 X 870MM P/CAIXA RALO CARGA MAXIMA 7.200KG P/CAPTACAO AGUA PLUVIAL	380,00
16115.32.99.1	ISOLAMENTO TÉRMICO DE TUBULAÇÕES Ø 25 A 50 MM EM ESPUMA ELASTOMÉRICA (E = 10 MM)	36,80
11315.1	TAMPAO FOFO T-16 (7KG) - 30X30CM (P/ CAIXA DE INSPECAO)	357,00
20972	REDUCAO FIXA TIPO STORZ LATAO P/ INST. PREDIAL COMBATE A INCENDIO ENGATE RAPIDO 2.1/2" X 1.1/2"	2,00
80000.1.3.1	ADAPTADOR ROSCA INTERNA X STORZ Ø 2 1/2 " X 38 MM	1,51
10899	ADAPTADOR EM LATAO P/ INSTALACAO PREDIAL DE COMBATE A INCENDIO ENGATE RAPIDO 2 1/2" X ROSCA INTERNA 5 FIOS 2 1/2"	1,60
10905	TAMPAO LATAO C/ CORRENTE P/ INSTALACAO PREDIAL COMBATE A INCENDIO ENGATE RAPIDO 2 1/2"	1,15
10904	REGISTRO OU VÁLVULA GLOBO ANGULAR DE LATÃO, 45 GRAUS, D = 2 1/2", PARA HIDRANTES EM INSTALAÇÃO PREDIAL DE INCÊNDIO	5,25
VÁRIOS	VALVULA RETENCAO VERTICAL BRONZE, DIVERSAS MEDIDAS - EXTREMIDADES C/ ROSCA"	1,27
21073	TAMPA RETANGULAR FOFO C/ BASE 1000 X 700MM	52,70
80000.1.3.9	SUPORTE L EM AÇO GALVANIZADO	1,45
VÁRIOS	EXTINTORES DE INCENDIO	195,00
VÁRIOS	PLACAS DE PLÁSTICO RÍGIDO, C/ PICTOGRAMA CONFORME PROJETO - DIVERSOS TIPOS - PPCI	0,94
08530.3.1.6U	JANELA METÁLICA COM VENEZIANAS FIXAS, DIMENSÕES 0,80X0,60 M	13,60
15100.3.1.42UU	PORTA METÁLICA COM VENEZIANAS FIXAS, DIMENSÕES 0,80X2,10M	21,00

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
16136.3.1.3UU	CAIXA DE PASSAGEM EM LIGA DE ALUMÍNIO SILÍCIO, BLINDADA	1,00
7552	TAMPA CEGA EM LATAO POLIDO PARA CONDULETE EM LIGA DE ALUMINIO 4 X 4"	10,92
2582	CONDULETE TIPO "X" EM LIGA ALUMINIO P/ ELETRODUTO ROSCADO 1 1/2"	0,20
1535 A 1541	TERMINAL A PRESSAO DE BRONZE P/ CABO A BARRA, DIFERENTES CABOS, C/ 1 FURO DE FIXACAO	5,10
90001	ELETROCALHA GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA - DIM. 50 X 50 X 3000 MM	168,00
16110.3.2.6	TÊ HORIZONTAL PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, PERFURADA, CHAPA #16, COM TAMPA, MEDINDO 50X50MM	3,16
16110.3.2.2.5	CURVA 90 HORIZONTAL PARA ELETROCALHA GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, CHAPA #16, COM TAMPA, MEDINDO 50X50MM	2,28
VÁRIOS	CURVA 90 VERTICAL EXTERNA/INTERNA PARA ELETROCALHA GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, CHAPA #16, COM TAMPA, MEDINDO 50X50MM	0,87
16110.3.2.2.9	FLANGE PARA LIGAÇÃO EM PAINEL PARA ELETROCALHA GALVANIZADA A FOGO, CHAPA #16, MEDINDO 50X50MM	0,29
16110.3.2.2.4U	TERMINAL PARA ELETROCALHA GALVANIZADA A FOGO, CHAPA #16, MEDINDO 50X50MM	0,10
VÁRIOS	CAIXA DE PASSAGEM EM FERRO GALV"	39,60
VÁRIOS	CAIXA EM PVC P/ DIVISÓRIA EM GESSO (DRYWALL)	9,07
7531	TOMADA EMBUTIR 3P 20A/250V C/PLACA, TIPO SILENTOQUE PIAL OU EQUIV	15,30
7535	TOMADA DUPLA EMBUTIR 2 X 2P UNIVERSAL 10A/250V C/PLACA, TIPO SILENTOQUE PIAL OU EQUIV	4,86
16135.3.10.11.1	CAIXA DE TOMADA DE PISO 2X(2P+T) (20A/250V) REF.: SPE-700 SPERONE	13,95
VÁRIOS	ELETRODUTO METALICO FLEXIVEL REV EXT PVC PRETO TIPO COPEX OU EQUIV., DIV. DIÂMETROS	429,15
851	BUCHA E ARRUELA ALUMINIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO 20MM (3/4")	6,07
2488	CONECTOR RETO 3/4" EM FERRO GALV OU ALUMINIO P/ ADAPTAR ENTRADA DE ELETRODUTO METALICO FLEXIVEL EM QUADROS	0,53
90002	ELETROCALHA GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA - DIM. 100 X 50 X 3000 MM	196,24
16110.3.6.34	TÊ HORIZONTAL PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA, MEDINDO 100X50MM	3,58
16110.3.2.5	CURVA 90 VERTICAL EXTERNA PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA, MEDINDO 100X50MM	0,72
16110.3.2.24	TERMINAL PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA A FOGO, CHAPA #16, MEDINDO 100X50MM	0,12
16110.3.5.78	SAÍDA SUPERIOR DE ELETROCALHA PARA PERFILADO 38X38 MM, COFECCIONADO EM FERRO GALVANIZADO A FOGO, CHAPA #16 - REF: MOPA	6,45
16134.3.3.1	CAIXA PARA TOMADA COM TAMPA FIXO PERFIL PARA PERFILADO	16,70
2580	CONDULETE TIPO "X" EM LIGA ALUMINIO P/ ELETRODUTO ROSCADO 3/4"	14,80
2555	CAIXA DE PASSAGEM 3" X 3" SEXTAVADA EM FERRO GALV"	3,06
16110.3.2.43	TOMADA UNIVERSAL 2P+T (20A/250V), EM ESPELHO 4 X 4	5,15
16143.3.4.1.1U	PLUG, PADRÃO BRASILEIRO, DE 3 PINOS	5,86
16134.3.7.1	SUPORTE PARA PERFILADO EM CHAPA DE AÇO (COMPRIMENTO: 100,00 MM)	28,50
2674	ELETRODUTO DE PVC ROSCÁVEL DE 3/4" (19 MM), SEM LUVA	149,76
16115.3.2.121	PORCA PERFIL COM PINO Ø 1/4 ", REF.: 1512 MARVITEC	15,90
16580.3.5.4.1	REATOR ELETRÔNICO PARA LAMPADA 28 W - AFP (NÚMERO DE LÂMPADAS: 2 / POTÊNCIA: 28 W). REF: INTRAL OU EQUIVALENTE	21,24

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
1651.3.1.12.1	LUMINÁRIA DE EMBUTIR EM FORRO DE GESSO OU MODULADO PARA 2 LÂMPADAS FLUORESCENTES TUBULARES DE 28W, CORPO E ALETAS PLANAS EM CHAPA DE AÇO, PINTURA ELETROSTÁTICA EPÓXI-PÓ BRANCA, REFLETOR EM ALUMÍNIO ANODIZADO DE ALTO BRILHO E COBRE-SOQUETE, COM PORTA-LÂMPADA ANTIVIBRATÓRIO EM POLICARBONATO, REF.: 2006, ITAIM OU EQUIVALENTE	94,40
16510.3.1.12.6	LUMINÁRIA DE EMBUTIR CIRCULAR 2 X 26W (LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS) EM ALUMÍNIO REPUXADO NA COR BRANCA, REFLETOR EM ALUMÍNIO, DIFUSOR RECUADO EM VIDRO PLANO TEMPERADO, REF.: OPALA, ITAIM OU EQUIVALENTE	72,77
16580.3.11.10.1	REATOR AFP PARA LÂMPADA MULTIVAPOR METÁLICO ATÉ 400 W - REF: KEIKO OU EQUIVALENTE	1,26
16110.3.2.32 E 16110.3.2.44	SUPORTE PARA PERFILADO CONFECCIONADO EM FERRO GALVANIZADO, ALTURA 100MM	70,80
1082	REATOR P/ LAMPADA VAPOR DE SODIO 250W USO EXT	56,20
16115.3.2.129	ARRUELA (DIÂMETRO DA SEÇÃO: 8,00 MM)	8,40
2581	CONDULETE TIPO "X" EM LIGA ALUMINIO P/ ELETRODUTO ROSCADO 1"	0,60
VÁRIOS	ESPELHO PARA CAIXA 4 " X 4 " COM PARA CONECTOR RJ-45	4,95
16110.3.5.43	CONECTOR TIPO RJ-45, CATEGORIA 6	0,29
21080	TAMPAO FOFO 57KG CARGA MAX 12500KG DIAM ABERT 600MM P/ POCO VISITA DE REDE AGUA PLUVIAL, ESGOTO ETC EM VIA TRAFEGO LEVE	228,00
VÁRIOS	ELETROCALHA GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA - VÁRIAS DIMENSÕES	26,88
VÁRIOS	CURVA 90 HORIZONTAL PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, CHAPA #16, COM TAMPA, VÁRIAS DIMENSÕES	1,52
16110.3.6.7	JUNÇÃO SIMPLES PARA ELETROCALHA LISA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, CHAPA #16, REF. 008, H=50 MM	50,31
VÁRIOS	TÊ HORIZONTAL PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA, VÁRIAS DIMENSÕES	3,16
VÁRIOS	REDUÇÃO HORIZONTAL CONCÊNTRICA PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA, VÁRIAS DIMENSÕES	6,49
VÁRIOS	GANCHO METÁLICO DUPLO TIPO B GALVANIZADO PARA ELETROCALHAS VÁRIAS DIMENSÕES	10,78
16110.3.6.19	LEITO TIPO MÉDIO PARA CABOS, CONFECCIONADOS DE FERRO GALVANIZADO, EM BARRAS, REF. 3000, 300X750X3000MM	12,51
16110.3.6.21	CURVA 90 VERTICAL INTERNA PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA, MEDINDO 300X50MM	1,23
16110.3.6.20	CURVA 90 VERTICAL EXTERNA PARA ELETROCALHA, GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, COM TAMPA, MEDINDO 300X50MM	1,27
16110.3.6.26	TAMPA CEGA 1U	6,30
11.01.1-CLI	UNIDADE CONDENSADORA E EVAPORADORA TIPO MINI SPLIT HIGH WALL C/ COMPRESSOR INVERTER E CONTROLE REMOTO, CAPACIDADE 9000 BTU/H - FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO, FLUIDO REFRIGERANTE E DEMAIS SERVIÇOS - REF.: FUJITSU ASBA 09 JGC/AOBR 09 JGC C/ ACESSÓRIOS	71,00
11.01.2-CLI	UNIDADE CONDENSADORA E EVAPORADORA TIPO MINI SPLIT HIGH WALL C/ COMPRESSOR INVERTER E CONTROLE REMOTO, CAPACIDADE 12000 BTU/H - FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO, FLUIDO REFRIGERANTE E DEMAIS SERVIÇOS - REF.: FUJITSU ASBA 12 JGC/AOBR 12 JGC C/ ACESSÓRIOS	241,50
11.01.3-CLI	UNIDADE CONDENSADORA E EVAPORADORA TIPO MINI SPLIT CASSETE C/ COMPRESSOR INVERTER E CONTROLE REMOTO, CAPACIDADE 17000 BTU/H - FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO, FLUIDO REFRIGERANTE E DEMAIS SERVIÇOS - REF.: FUJITSU AUBF 18 LAL/AOBA 18 LALL	165,00

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
11.01.4-CLI	UNIDADE CONDENSADORA E EVAPORADORA TIPO MINI SPLIT CASSETE C/ COMPRESSOR INVERTER E CONTROLE REMOTO, CAPACIDADE 23000 BTU/H - FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO, FLUIDO REFRIGERANTE E DEMAIS SERVIÇOS - REF.: FUJITSU AUBA 24 LBL/AOBA 24 LALL	261,00
11.01.5-CLI	UNIDADE CONDENSADORA E EVAPORADORA TIPO MINI SPLIT CASSETE C/ COMPRESSOR INVERTER E CONTROLE REMOTO, CAPACIDADE 42000 BTU/H - FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO, FLUIDO REFRIGERANTE E DEMAIS SERVIÇOS - REF.: FUJITSU AUBG 45 LRLA/AOBG 45 LATV	260,00
11.01.6-CLI	UNIDADE CONDENSADORA E EVAPORADORA TIPO MINI SPLIT CASSETE C/ COMPRESSOR INVERTER E CONTROLE REMOTO, CAPACIDADE 48000 BTU/H - FORNECIMENTO, INSTALAÇÃO, FLUIDO REFRIGERANTE E DEMAIS SERVIÇOS - REF.: FUJITSU AUBG 54 LRLA/AOBG 54 LATV	224,00
11.01.71-CLIU	EXAUSTOR DE AR TIPO "INLINE" C/ DUAS VELOCIDADES, Ø 150MM, VAZÃO MÁX. 450 M³/H - REF. MULTIVAC TURBO 150	1,92
11.01.8-CLI	VENTILADOR TIPO SIROCO, VAZÃO MÁX. 1200 M³/H E PRESSÃO 60 MCA - REF.: BERLINER LUFT BBT160	15,00
11.01.9-CLI	VENTILADOR TIPO SIROCO, VAZÃO MÁX. 1400 M³/H E PRESSÃO 60 MCA - REF.: BERLINER LUFT BBT160	15,00
VÁRIOS	ISOLAMENTO TÉRMICO EM BORRACHA ELASTOMÉRICA, DIVERSOS DIÂMETROS	138,00
11.02.2-CLI	FOLHA DE ALUMÍNIO CORRUGADO, E=0,15MM	33,58
11.02.3-CLI	CINTA DE ALUMÍNIO	5,60
11.02.4-CLI	SELO DE ALUMÍNIO	4,48
16134.3.5.3	PERFILADO EM CHAPA DE AÇO PERFURADO (LARGURA: 38,00 MM / ALTURA: 38,00 MM) - REF: CEMAR OU EQUIVALENTE	82,42
16115.3.2.80	COXIM DE BORRACHA 10 CM X 10 CM X 1 "	30,00
12.2.18.02-CLI	VENEZIANA DE AR EXTERIOR COM MOLDURA, 297X197 MM, REF.: TROX AWK	6,18
3455	JOELHO FERRO GALV 90G ROSCA 1/2"	0,41
6294	TE FERRO GALVANIZADO 90G 1/2"	0,18
1162	CAP OU TAMPÃO FERRO GALV ROSCA 1/2"	0,04
11748	VALVULA DE ESFERA EM BRONZE REF 1552-B 1/2" BRUTA	0,14
2692	DESMOLDANTE PARA FORMA DE MADEIRA	22,16
11849	COLA BRANCA	20,80
142	SELANTE ELÁSTICO MONOCOMPONENTE À BASE DE POLIURETANO SIKAFLEX 1A PLUS OU EQUIVALENTE	55,82
01.001.000001.MAT	MANGUEIRA CRISTAL CONVENCIONAL (DIÂMETRO DA SEÇÃO: 3/8 " / ESPESSURA: 3,00 MM)	5,38
123	ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PEGA NORMAL PARA ARGAMASSA SIKAI1 OU EQUIVALENTE	824,47
10270.6.6.1.1	PISO ELEVADO CONTRAVENTADO, COLOCADO (DIMENSÕES: 62 X 62 CM / ALTURA REGULÁVEL / REVESTIMENTO: LAMINADO MELAMÍNICO TEXTURIZADO)	1073,10
10270.6.1.1UD	FECHAMENTO LATERAL PARA PISO ELEVADO COLOCADO EM CHAPA DE AÇO GALVANIZADO (ESPESSURA: 30,00 MM / ALTURA: 150,00 MM)	100,80
10580.1	ELEMENTO VAZADO NEO-REX 16 - 19 X 19 X 10 CM	1333,80
08210.3.1.5	BATEDOR DE BORRACHA	0,16
3767	LIXA P/ PAREDE OU MADEIRA	38,77
10475	VERNIZ COPAL	34,74
3104	JOGO DE FERRAGENS CROMADAS P/ PORTA DE VIDRO TEMPERADO, UMA FOLHA COMPOSTA: DOBRADICA 1SUPERIOR (101) E INFERIOR (103),TRINCO (502), FECHADURA (520),CONTRA FECHADURA (531),COM CAPUCHINHO	5,88

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
08210.3.9.1.3.2	PORTA PARA BOX EM LAMINADO ESTRUTURAL TS-10MM, ACABAMENTO DUPLA FACE TEXTURIZADO, INCLUINDO PERFIS, FERRAGENS E ACESSÓRIOS (DIMENSÕES: 84 X 165 CM / REF.: NEOCOM OU EQUIVALENTE)	83,16
08210.3.9.1.3.3	PORTA PARA BOX EM LAMINADO ESTRUTURAL TS-10MM, ACABAMENTO DUPLA FACE TEXTURIZADO, INCLUINDO PERFIS, FERRAGENS E ACESSÓRIOS (DIMENSÕES: 84 X 165 CM / REF.: NEOCOM OU EQUIVALENTE)	62,37
08210.3.9.19.1	VENEZIANA 90 X 130 CM	29,25
3768	LIXA P/ FERRO	1,44
08110.3.3.6	KIT COMPLETO DE FECHADURA ELÉTRICA PARA PORTÃO ELETRÔNICO	1,60
3146	FITA VEDA ROSCA EM ROLOS 18MMX10M	0,02
12815	FITA CREPE EM ROLOS 25MMX50M	7,38
15155.3.15.1	ANEL DE VEDAÇÃO PARA SAÍDA DE VASO SANITÁRIO (DIÂMETRO DA SEÇÃO: 100,00 MM)	3,33
4376	BUCHA NYLON S-8	12,16
4823	COLA IBERE P/ MARMORE/GRANITO	4,13
VÁRIOS	BARRAS DE APOIO DE ACESSIBILIDADE, EM INOX, VÁRIAS DIMENSÕES	13,45
15110.3.7.7.1	BANQUETA ARTICULADA 70 X 45 CM, REF.: EAN980, LINHA PHD SYSTEMS OU EQUIVALENTE	30,00
13105.3.9.4	ESCADA MARINHEIRO	66,30
1511.3.7.3.11	CORRIMÃO LATERAL DE AÇO INOX EM DUAS ALTURAS, COM BALAUÍSTRES E SUPORTES, CONFORME PROJETO	133,50
4015	MANTA IMPERMEABILIZANTE A BASE DE ASFALTO MODIFICADO C/ POLIMEROS DE APP TIPO TORODIM 4MM VIAPOL OU EQUIV	1690,92
122	ADESIVO PVC FRASCO C/ 850G	3,71
12773.1	HIDRÔMETRO Ø 1 " MONOJATO COM SAÍDA DIGITAL	1,75
02050.3.2.4.1	MANGUEIRA FLEXÍVEL Ø 25 MM	2,14
118	PASTA VEDA JUNTAS LATA C/ 0,50 KG TIPO PASTA NIAGARA OU SIMILAR	0,04
1513.5.2.4.11	BOMBA CENTRÍFUGA DE INCÊNDIO, PRESSÃO 45 MCA, VAZÃO 36,0 M³/H, POT. 10,0 CV, SCHNEIDER OU EQUIVALENTE	202,00
80000.1.5.5	CHAVE DE FLUXO (FLOW SWITCH), MOD. F-01 (SPRINK-FLUX), FAB. ALL-MEX CONTROLS OU EQUIV. - Ø 2 1/2 "	0,80
20971	CHAVE DUPLA P/ CONEXOES TIPO STORZ EM LATAO ENGATE RAPIDO 1 1/2" X 2 1/2"	0,80
10885	CAIXA DE INCENDIO/ABRIGO DE MANGUEIRAS EM CHAPA SAE 1020 LAMINADA A FRIO, PORTA C/ VENTILACAO E VISOR SUPORTE 1/2 LUA P/ MANG, DE EMBUTIR, INSCR. INCENDIO 90 X 60 X 17CM	21,12
21030.1	MANGUEIRA DE INCENDIO C/ CAPA TECIDO FIO POLIESTER TUBO INT BORRACHA TIPO 2, C/ UNIOES E EMPAT INT LATAO C/ ENG RAP E ANEIS EXP P/ EMP MANG COBRE D = 1 1/2 L = 15 M	40,00
20967	ESGUICHO EM LATAO JATO SOLIDO P/ INSTALACAO PREDIAL COMBATE A INCENDIO ENGATE RAPIDO 2 1/2" X 16MM	1,20
151433.5.2.1	FITA ADESIVA PLÁSTICA ANTICORROSIVA, PROVIDA DE ADESIVO SENSÍVEL À PRESSÃO, LARGURA 0,05 M E COMPRIMENTO 30,50 M, REF.: TORFITA OU EQUIVALENTE	2,25
4350	BUCHA NYLON S-8 C/ PARAF ROSCA SOBERBA ACO ZINCADO CAB CHATA FENDA SIMPLES 4,8 X 75MM	9,20
05.11.006	FITA DUPLA FACE DE ALTA RESISTÊNCIA	1,72
16110.3.1.96U	NO BREAK DE 40KVA/32KW, ENTRADA 380/220V, SAÍDA 380/220V, COM BANCO DE BATERIAS PARA AUTONOMIA DE 09 MINUTOS A CARGA PLENA, COMPLETO, REF.: ENGETRON DWTT40-380 OU EQUIVALENTE TÉCNICO	191,20

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
1611.3.1.96	NO BREAK DE 15KVA/12KW, ENTRADA 380/220V, SAÍDA 380/220V, COM BANCO DE BATERIAS PARA AUTONOMIA DE 11 MINUTOS A CARGA PLENA, COMPLETO, REF.: ENGETRON DWTT15-380 OU EQUIVALENTE TÉCNICO	161,80
16110.3.1.78D	QE-NO BREAK COMPLETO, FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO - CONFORME PROJETO	15,00
16110.3.1.42D	QGU - COMPLETO, FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO - CONFORME PROJETO	43,50
16110.3.1.45D	QGBT-N - COMPLETO, FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO - CONFORME PROJETO	43,50
1611.3.1.47	CHAVE DE DESVIO TETRAPOLAR 80A COMPLETA, FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	3,20
7620	TRANSFORMADOR TRIFASICO 13,8KV/220-127V; 225KVA IMERSO EM OLEO MINERAL"	900,00
VÁRIOS	BUCHA E ARRUELA ALUMINIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO DIVERSAS MEDIDAS	0,43
VÁRIOS	CONECTOR RETO DIVERSOS DIÂMETROS EM FERRO GALV OU ALUMINIO P/ ADAPTAR ENTRADA DE ELETRODUTO METALICO FLEXIVEL EM QUADROS	0,16
845	BUCHA E ARRUELA ALUMINIO FUNDIDO P/ ELETRODUTO 100MM (4)	0,02
21127	FITA ISOLANTE ADESIVA ANTI-CHAMA EM ROLOS 19MM X 5M	59,59
1611.3.1.90.1	QFL COMPLETO, FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO - CONFORME PROJETO	43,50
1611.3.1.91.1	QTU COMPLETO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO CONFORME PROJETO	43,50
1611.3.1.90.02	QFL-EX COMPLETO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO CONFORME PROJETO	43,50
1611.3.1.95	QCPD-X COMPLETO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO CONFORME PROJETO	43,50
1611.3.1.94	QINC COMPLETO (10 CV) - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO CONFORME PROJETO	43,50
16134.3.11.2	DERIVAÇÃO LATERAL PARA ELETRODUTO - SIMPLES (DIÂMETRO DA SEÇÃO: 3/4 ")	29,61
16110.3.2.7	SAÍDA HORIZONTAL, CONFECCIONADO EM FERRO GALVANIZADO, PARA ELETRODUTO DE Ø 3/4 "	0,56
7525	TOMADA EMBUTIR 3P + T 30A/440V REF 56404 USO INDUSTRIAL C/ PLACA, PIAL OU EQUIV	0,10
12145	TOMADA DE PISO 2P UNIVERSAL 10A/250V C/ PLACA 4 X 4 EM TERMOPLASTICO ALTA RESISTENCIA, TIPO PIAL OU EQUIV	0,40
VÁRIOS	CONJUNTOS EMBUTIR 1 INTERRUPTOR SIMPLES, TP SILENTOQUE PIAL OU EQUIV	3,60
2483	CONECTOR RETO 1" EM FERRO GALV OU ALUMINIO P/ ADAPTAR ENTRADA DE ELETRODUTO METALICO FLEXIVEL EM QUADROS	0,36
VÁRIOS	UNIDUT EM ALUMÍNIO FUNDIDO SEM ROSCA INTERNA - DIVERSOS DIÂMETROS	3,30
16134.3.2.4.1	EMENDA INTERNA "I" PARA PERFILADO 38 X 38 MM EM CHAPA DE AÇO COM TAMPA	9,36
16134.3.2.03	CAIXA DE DERIVAÇÃO EM CHAPA DE FERRO GALVANIZADO, COM TAMPA, PARA PERFILADO 38X38MM - TIPO "L", MEDINDO 100X100X57MM	1,90
16134.3.2.4	CAIXA DE DERIVAÇÃO EM CHAPA AÇO PARA PERFILADO - TIPO "T"	8,40
7557	CONJUNTO EMBUTIR 1 INTERRUPTOR PARALELO SIMPLES 10A/250V C/ PLACA, TP SILENTOQUE PIAL OU EQUIV	1,28
05678U	BOTOEIRA COM INTERTRAVAMENTO	1,07
16110.3.6.32	GANCHO METÁLICO DUPLO TIPO B GALVANIZADO PARA ELETROCALHAS 100X50MM, CHAPA #18	18,04
394	ABRACADEIRA TIPO D 1 1/2" C/ PARAFUSO"	7,80
16510.3.1.12.14	PROJETOR DE SOBREPOR ORIENTÁVEL PARA 1 X 150W (LÂMPADA HIT) EM ALUMÍNIO INJETADO, REFLETOR SIMÉTRICO, DIFUSOR EM VIDRO TEMPERADO TRANSPARENTE, PROTEÇÃO IP65, REF.: GUAPI, ITAIM OU EQUIVALENTE	6,65
16580.3.1.3.60	LÂMPADA HIT (POTÊNCIA: 150 W)	5,60

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
16510.3.1.12.13	EMBUTIDO MONTADO MÓVEL, REF.: ITÁ, ITAIM OU EQUIVALENTE	3,00
16110.3.4.19	LÂMPADA DICRÓICA 50W - REF: PHILIPS, OSRAM OU EQUIVALENTE	0,22
16100.3.2.7.1	KIT DE ALARME DE EMERGÊNCIA PARA BANHEIRO DE DEFICIENTE. REF: KIT-CAD-1 DA ALARMSEG OU EQUIVALENTE TÉCNICO	0,27
3379	HASTE DE ATERRAMENTO COM 3 M, Ø 5/8 ", EM AÇO REVESTIDA COM COBRE COM CONECTOR TIPO GRAMPO	29,29
7571.10	TERMINAL AEREO EM ACO GALV DN 5/16, COMPRIM= 600MM	20,48
16110.3.3.15D	CAIXA DE EQUALIZAÇÃO COM TAMPA E BARRAS DE COBRE (ENTRADA E SAÍDA), CONFORME PROJETO	2,45
16110.3.3.20	SUPORTE GUIA TEL-240	16,50
16110.3.3.21	CAIXA TEL-541 COM CONECTOR DE MEDIÇÃO	4,56
16110.3.3.22	CHUMBADOR TIPO UR Ø 3/8 "	0,16
1611.3.3.21	SUPORTE GUIA REFORÇADO TEL-280	1,20
VÁRIOS	LUVA REDUCAO FERRO GALV ROSCA	1,15
4177	NIPEL FERRO GALV ROSCA 1/2"	0,47
16110.3.3.32	BRAÇADEIRA GUIA REFORÇADA TEL-380	0,60
16110.3.3.33	CONECTOR DE 2 DESCIDAS TEL-801	0,10
4274	CAPTOR FRANKLIN DE LATÃO - 4 PONTAS COM 1 DESCIDA (DIÂMETRO DA SEÇÃO: 350,00 MM / TIPO DE ACABAMENTO: CROMADO)	0,36
16110.3.5.7	CONECTOR TIPO F (P/ TV) PROFISSIONAL - REF: PROELETRONIC OU EQUIVALENTE	0,04
12120	PLACA CEGA 4 X 4 EM TERMOPLASTICO, TIPO SILENTOQUE PIAL OU EQUIV	0,20
16110.3.5.11	DIVISOR PARA TV - TIPO 01 ENTRADA E 04 SAÍDAS	0,20
16110.3.5.74	CAIXA DE PASSAGEM COM TAMPA EM CHAPA #14, TIPO SOBREPOR - 400X400X200 MM	0,18
11299	TAMPA FOFO TIPO R2 PADRAO TELEBRAS 545 X 1104MM 75KG CARGA MAX 2000KG P/ CAIXA TELEFONE	225,00
16110.3.6.22	CURVA 135 DE FERRO GALVANIZADO ELETROLITICAMENTE, PESADO - Ø 1 "	0,38
VÁRIOS	EMENDA INTERNA TIPO U PARA ELETROCALHA GALVANIZADA ELETROLITICAMENTE, LISA, CHAPA #16, DIVERSAS MEDIDAS	50,50
06.08.08.MAT1	ADAPTER CABLE (COMPRIMENTO: 1,0M / COR: CINZA / CATEGORIA: 6) - REF: FURUKAWA OU EQUIVALENTE	1,47
06.09.05.MAT	ANTENA COLETIVA, LOG. PERIÓDICO DE 15 ELEMENTOS PARA VHF MULTICANAIS/BANDA TOTAL, GANHO 11 DBI, IMPEDÂNCIA DE 750 OHMS, COMPLETA COM MASTRO E FIXAÇÃO	20,00
06.09.06.MAT	ANTENA COLETIVA, LOG. PERIÓDICO DE 15 ELEMENTOS PARA UHF MULTICANAIS/BANDA TOTAL, GANHO 14 DBI, IMPEDÂNCIA DE 750 OHMS, COMPLETA COM MISTURADOR VHF/UHF	20,00
16110.3.5.63	RACK PADRÃO 19 ", ALTURA ÚTIL 44U, PORTA FRONTAL DE VIDRO, TAMPA TRASEIRA, ANÉIS GUIAS NAS LATERAIS, PROFUNDIDADE DE 670MM - REF: FURUKAWA OU EQUIVALENTE	186,00
16110.3.5.64	RÉGUA COM 4 TOMADAS TIPO 2P+T PADRÃO NBR14136 DE 20A PARA FIXAÇÃO EM RACKS - REF: ITW-REVESI/420A DA ITCOMTECH OU EQUIVALENTE TÉCNICO	8,76
06.08.02.MAT	PATCH PANEL 24 PORTAS (CATEGORIA: 6) - REF: FURUKAWA T568A/B	7,74
16110.3.6.28	GUIA DE CABOS FECHADO HORIZONTAL 1U	2,25
11.02.1-CLI	FITA ALUMINIZADA 45MM (ROLO 45M)	0,30
16115.3.2.65	COLA DE CONTATO	126,00
16115.3.2.66	CINTA HELLERMAN PRETA DE 20CM	0,65
11051.1U	DIVERSOS SOBRE MATERIAIS PARA REDE DE DUTOS DE AR-CONDICIONADO COM CHAPA DE AÇO GALVANIZADA Nº 26, SEM ISOLAMENTO TÉRMICO	408,00
VÁRIOS	DIFUSOR REGULÁVEL, DVK-R, DIVERSOS DIÂMETROS	48,00

Item/Código SINAPI	Descrição	Massa (kg)
VÁRIOS	COLARINHO COM REGISTRO, DIVERSOS DIÂMETROS	5,40
VÁRIOS	VENEZIANA DE AR EXTERIOR COM MOLDURA, VÁRIAS MEDIDAS, REF.: TROX AWK	12,36
12.2.22.01-CLI	GRELHA DE PORTA COM CONTRA MOLDURA, REF.: TROX AGS-T 325X165	3,04
VÁRIOS	DUTO FLEXÍVEL C/ DUPLA PAREDE DE ALUMÍNIO E POLIÉSTER, DIVERSOS DIÂMETROS – REF: MULTIVAC ALUDEC 60	77,00
130.1.5.03.5-CLIU	REGISTRO DE VAZÃO PARA DUTOS, 200MM X 200MM – REF: TROX REGISTRO LEVE RL-B 200X205	40,00
130.1.5.03.6-CLI E 130.1.5.03.7-CLI	DIFUSOR DE AR DE TETO QUADRADO COM REGISTRO E CAIXA PLENUM – 300MM X 300MM – REF: TROX ADLQ-AK-AG TAM. 2 E 3	120,00
130.1.5.03.8-CLI	JUNTA FLEXÍVEL PARA ATENUAÇÃO DE VIBRAÇÕES C/ CHAPA GALVANIZADA DE 45MM DE LARGURA E LONA DE VINIL DE 100MM DE LARGURA	90,00
20257	TUBO 1/2" DIN 2440 PSI 300 C/ COSTURA ROSCA CONICA	13,99
7307	FUNDO ANTICORROSIVO TIPO ZARCAO OU EQUIV	1,31
02050.3.2.3	MANGUEIRA REFORÇADA P/ GLP Ø 1/2 ", COMPRIMENTO 1,0 M, COM BRAÇADEIRA PIGTAIL	1,90
11756	REGISTRO OU REGULADOR P/ GAS COZINHA MARCA ALIANCA REF 76506/1	2,00
01.06.013	BOTIJÃO P/ GLP - CHEIO - 13KG	26,00
02050.3.2.5	ADAPTADOR PARA MANGUEIRA DE GLP Ø 1/2 " DE BRONZE OU LATÃO	0,01
16110.3.1.95	QFAC COMPLETO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO CONFORME PROJETO	43,50
1511.3.7.7.31	BARRA DE APOIO PARA LAVATÓRIO EM AÇO INOX Ø 1 3/4"	6,75
TOTAL ITENS EXCLUÍDOS (kg):		19.052,97
TOTAL ITENS INCLUÍDOS NA MODELAGEM DE ACV (kg):		2.158.404,14
MASSA TOTAL DA EDIFICAÇÃO (kg):		2.177.457,11
REPRESENTATIVIDADE ITENS EXCLUÍDOS:		0,88%
REPRESENTATIVIDADE ITENS INCLUÍDOS NA MODELAGEM DE ACV:		99,12%

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

**APÊNDICE C – Inventário do ciclo de vida do cenário base e cenários
alternativos**

Tabela 10 - Processo de adaptação de *datasets* realizado na base de dados *Ecoinvent*

Item do projeto do cenário base	Dataset adaptado	Dataset original	Provider original - 1º nível	Provider escolhido
Tijolos e lajotas cerâmicas	<i>clay brick production / clay brick / Cutoff, U - BR</i>	<i>clay brick production / clay brick / Cutoff, U - RoW</i>	<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RNA</i>	<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>
			<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - NZ</i>	
			<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - AU</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RLA</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RAS</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RAF</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RLA</i>	
			<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RU</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RAF</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RAS</i>	
Pedra britada nº. 1 e 2	<i>gravel and sand quarry operation / gravel, round / Cutoff, U - BR</i>	<i>gravel and sand quarry operation / gravel, round / Cutoff, U - RoW</i>	<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RLA</i>	<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>
			<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RU</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RAF</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RAS</i>	
			<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - NZ</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - Europe without Switzerland</i>	
			<i>market group for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - RNA</i>	
			<i>market for electricity, medium voltage / electricity, medium voltage / Cutoff, U - AU</i>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 11 - Dados do inventário do ciclo de vida do cenário base para os módulos A1-A3, A4, B4, C2

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
1. FUNDAÇÕES									
1357	CHAPA MADEIRA COMPENSADA RESINADA 2,2 X 1,1M (12MM) P/ FORMA CONCRETO	<i>Plywood, for outdoor use {RoW} production / Cut-off, U</i>	50	m ³	1,09	0,00	0,65 ^a	2,20	4,10
VÁRIOS	PEÇAS DE MADEIRA NATIVA NÃO APARELHADA 2ª QUALIDADE	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	50	m ³	2,05	0,00	1,23 ^a	2,20	4,10
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production Cutoff, U – RoW</i>	50	kg	1.778,19	0,00	1,78	86,30	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	50	kg	4.410,00	0,00	4,41	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6- 14% - Cutoff U-BR</i>	50	kg	900,00	0,00	0,90	344,00	4,10
4718	PEDRA BRITADA N. 2 - POSTO PEDREIRA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>Gravel, round gravel and sand quarry operation Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	50	kg	9.408,00	0,00	9,41	61,80	4,10
1527	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 25 MPA (INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO)	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	50	m ³	42,00	0,00	100,80 ^b	77,50	4,10
2. ESTRUTURA									
1357	CHAPA MADEIRA COMPENSADA RESINADA 2,2 X 1,1M (12MM) P/ FORMA CONCRETO	<i>Plywood, for outdoor use {RoW} production / Cut-off, U</i>	50	m ³	9,80	0,00	5,88 ^a	2,20	4,10
VÁRIOS	PEÇAS DE MADEIRA NATIVA NÃO APARELHADA 2ª QUALIDADE	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	50	m ³	38,04	0,00	22,83 ^a	2,20	4,10
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production Cutoff, U – RoW</i>	50	kg	16.143,99	0,00	16,14	86,30	4,10
1527	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 25 MPA (INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO)	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	50	m ³	274,60	0,00	659,03 ^b	77,50	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	50	kg	3.675,00	0,00	3,68	80,30	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	50	kg	750,00	0,00	0,75	344,00	4,10
4718	PEDRA BRITADA N. 2 - POSTO PEDREIRA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>Gravel, round gravel and sand quarry operation Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	50	kg	7.840,00	0,00	7,84	61,80	4,10
NA	LAJOTA CERÂMICA PARA LAJE PRÉ-MOLDADA 20x30x8CM	<i>Clay brick production Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	50	kg	15.024,24	0,00	15,02	3,60	4,10
11615	ISOPOR E = 1CM - PLACA 100X50CM P/ JUNTA DILATAÇÃO	<i>polystyrene production, expandable polystyrene, expandable Cutoff, U - RoW</i>	50	kg	30,00	0,00	0,03	701,00	4,10
3. PISOS									
4721	PEDRA BRITADA N. 1 OU 19 MM POSTO PEDREIRA (SEM FRETE)	<i>Gravel, round gravel and sand quarry operation Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	13	kg	88.155,52	264.466,56	352,62	61,80	4,10
367/370	AREIAS MÉDIA E GROSSA	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	13	kg	367.330,50	1.101.991,50	1.469,32	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	13	kg	42.650,93	127.952,79	170,60	344,00	4,10
3777	LONA PLÁSTICA, COR PRETA, ESPESURA DE 150 MICRAS	<i>packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U - RoW</i>	13	kg	125,21	375,63	0,50	1.221,00	4,10
2705	ENERGIA ELÉTRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>Electricity, low voltage {BR} market for Cut-off, U (considerado grid nordeste)</i>	13	Kw/h	89,16	267,47	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	ARGAMASSAS PRÉ-FABRICADAS OU CIMENTO COLANTE	<i>Adhesive mortar {RoW} production Cut-off, U</i>	13	kg	6.188,50	18.565,50	24,75	76,40	4,10
VÁRIOS	REVESTIMENTOS DE PORCELANATO	<i>Ceramic tile {RoW} production Cut-off, U</i>	13	kg	17.431,70	52.295,11	69,73	704,00	4,10
VÁRIOS	PISOS TÁTEIS EM PLACAS DE CONCRETO, MEIO-FIO OU GUIAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	13	m³	8,68	26,04	83,33 ^b	77,50	4,10
VÁRIOS	SOLEIRAS E PLACAS DE GRANITO	<i>natural stone plate production, polished -/ Cutoff U - RoW</i>	13	kg	1.351,32	4.053,97	5,41	436,00	4,10
4. VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS - SVVIE									
VÁRIOS	TIJOLOS CERÂMICOS	<i>Clay brick production Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	50	kg	187.880,20	0,00	187,88	3,60	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	50	kg	39.450,50	0,00	39,45	80,30	4,10
1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	<i>lime production; hydraulic - Cutoff U - RoW</i>	50	kg	3.877,69	0,00	3,88	874,00	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6- 14% - Cutoff U-BR</i>	50	kg	3.985,18	0,00	3,99	344,00	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	50	Kw/h	0,62	0,00	0,00	0,00	4,10
07210.3. 2.8.1	PAINEL DE LÃ DE VIDRO SEMI-RÍGIDO (LARGURA: 0,60 M / COMPRIMENTO: 1,20 M / ESPESSURA: 50 MM / DENSIDADE: 32 KG/M ³)	<i>Glass wool mat {RoW} production Cut-off, U</i>	20	kg	277,44	554,88	0,83	2.689,00	4,10
04840.6. 4.3.1	PAREDE DE GESSO ACARTONADO SIMPLES COLOCADA (ESPESSURA: 100,00 MM)	<i>gypsum plasterboard production - Cutoff U - RoW</i>	20	kg	1.700,00	3.400,00	5,10	657,00	4,10
1064.3.4. 11	PLACA DE GRANITO PARA DIVISÓRIA (ESPESSURA: 30,00 MM / COR: BRANCO SIENA)	<i>natural stone plate production, polished -/ Cutoff U - RoW</i>	20	kg	78,00	156,00	0,23	436,00	4,10
5. REVESTIMENTOS DE VEDAÇÕES E FACHADAS									
VÁRIOS	AREIAS MÉDIA E GROSSA	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	20	kg	156.497,25	312.994,50	469,49	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6- 14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	19.516,25	39.032,50	58,55	344,00	4,10
1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	<i>lime production; hydraulic - Cutoff U - RoW</i>	20	kg	11.830,00	23.660,00	35,49	874,00	4,10
VARIOS	PORCELANATO E PASTILHAS PORCELANIZADAS	<i>Ceramic tile {RoW} production Cut-off, U</i>	20	kg	12.294,15	24.588,31	36,88	704,00	4,10
1381	ARGAMASSA OU CIMENTO COLANTE EM PO PARA FIXACAO DE PECAS CERAMICAS E PORCELANATO	<i>Adhesive mortar {RoW} production Cut-off, U</i>	20	kg	6.090,00	12.180,00	18,27	76,40	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>Electricity, low voltage {BR} market for Cut- off, U (considerado grid nordeste)</i>	20	Kw/h	8,22	16,44	0,00	0,00	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
9285.6.1 8.1	PEITORIL DE GRANITO TIPO RETO (COR: VERDE UBATUBA / LARGURA: 18 CM / ESPESSURA: 2 CM)	<i>natural stone plate production, polished -/ Cutoff U - RoW</i>	20	kg	982,80	1.965,60	2,95	436,00	4,10
6. COBERTURA									
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production Cutoff, U – RoW</i>	17	kg	15.433,58	30.867,16	46,30	86,30	4,10
5104	REBITE DE ALUMINIO VAZADO DE REPUXO, 3,2 X 8MM - (1KG=1025UNID)	<i>sheet rolling; aluminium - Cutoff U - RoW</i>	17	kg	2,72	5,44	0,01	337,00	4,10
VÁRIOS	GALVANIZAÇÃO DOS AÇOS	<i>zinc coating; coils - Cutoff U – RoW</i>	17	m ²	999,46	1.998,92	0,30 ^c	78,70	4,10
7. ESQUADRIAS									
VÁRIOS	CAIXILHOS E PERFIS DE ALUMÍNIO DAS ESQUADRIAS	<i>Window frame, aluminium, U=1.6 W/m2K {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m ²	122,38	244,76	18,61 ^d	72,90	4,10
881.3.5.3 .1	VIDRO LAMINADO REFLETIVO (ESPESSURA TOTAL: 8MM / COR: PRATA / REF. VTX 120SP II 44, VITRAL OU EQUIVALENTE)	<i>flat glass production, coated flat glass, coated Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	2.834,88	5.669,76	8,50	75,60	4,10
VÁRIOS	VIDRO TEMPERADO INCOLOR	<i>tempering, flat glass tempering, flat glass Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	293,47	586,94	0,88	75,60	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6- 14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	597,98	1.195,96	1,79	344,00	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	20	kg	3.285,00	6.570,00	9,86	80,30	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	3,23	6,46	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	PORTAS E ALIZARES DE MADEIRA, REF. JEQUITIBÁ	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	5	m ³	2,29	20,59	13,73 ^a	2,20	4,10
11614	ESPUMA DE POLIURETANO E=20 A 25MM TEMP DE TRABALHO -50 A +100 GC DENS 29 A 35KG/M3	<i>polyurethane production, flexible foam polyurethane, flexible foam Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	0,03	0,27	0,00	2.671,00	4,10
5318	SOLVENTE DILUENTE A BASE DE AGUARRAS	<i>market for solvent for paint solvent for paint Cutoff, U - GLO</i>	5	kg	7,22	64,94	0,07	76,40	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
05060.3. 16.3	PERFIL DE ALUMÍNIO ANODIZADO NA COR PRETA INSTALADOS COM TODOS OS ACESSÓRIOS E VEDAÇÕES NECESSÁRIAS, COM MODULAÇÕES, DIMENSÕES DE ACORDO COM O PROJETO ARQUITETÔNICO	<i>sheet rolling, aluminium / sheet rolling, aluminium / Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	855,88	1.711,76	2,57	337,00	4,10
7311	TINTA ESMALTE SINTETICO ACETINADO	<i>alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state / alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state / Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	2,30	20,67	0,02	76,40	4,10
8. PINTURA									
VÁRIOS	TINTA LÁTEX PVA E ACRÍLICA	<i>alkyd paint production, white, water-based, product in 60% solution state / alkyd paint, white, without water, in 60% solution state / Cutoff, U - RoW</i>	8	kg	1.083,42	6.500,54	7,58	76,40	4,10
4056	MASSA ACRILICA P/ PAREDES INTERIOR/EXTERIOR	<i>vinyl acetate production / vinyl acetate / Cutoff, U - RoW</i>	8	kg	2.029,62	12.177,73	14,21	76,40	4,10
9. INSTALAÇÕES HIDROSSANITÁRIAS									
VÁRIOS	PEÇA DE MADEIRA NATIVA / REGIONAL DIVERSAS DIMENSÕES	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} / production / Cut-off, U</i>	20	m ³	0,40	0,79	0,71 ^a	2,20	4,10
VÁRIOS	AÇO, VÁRIOS (PREGO, ARAME, VERGALHÕES, AÇO CA-50)	<i>reinforcing steel production / Cutoff, U – RoW</i>	20	kg	388,53	777,05	1,17	86,30	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	20	kg	18.710,95	37.421,90	56,13	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6- 14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	2.282,23	4.564,45	6,85	344,00	4,10
4718/472 1	PEDRA BRITADA N. 1 e 2 - POSTO PEDREIRA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>Gravel, round / gravel and sand quarry operation / Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	9.834,88	19.669,76	29,50	61,80	4,10
1527	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 25 MPA (INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO)	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	20	m ³	2,52	5,04	18,14 ^b	77,50	4,10
VÁRIOS	BACIAS, LAVATÓRIOS E LOUÇAS CERÂMICAS	<i>Sanitary ceramics {RoW} / production / Cut-off, U</i>	20	kg	322,18	644,37	0,97	678,00	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
VÁRIOS	GRANITO BRANCO SIENA POLIDO	<i>natural stone plate production, polished -/ Cutoff U - RoW</i>	20	kg	679,64	1.359,28	2,04	436,00	4,10
VÁRIOS	TUBULAÇÕES (PVC - CLORETO DE POLIVINILA) DE ÁGUA FRIA E ESGOTO	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised {RoW} polyvinylchloride production, suspension polymerisation Cut-off, U</i>	20	kg	1.183,84	2.367,68	3,55	341,00	4,10
5318	SOLVENTE DILUENTE A BASE DE AGUARRAS	<i>market for solvent for paint solvent for paint Cutoff, U - GLO</i>	20	kg	5,85	11,70	0,02	76,40	4,10
7288	TINTA ESMALTE SINTETICO FOSCO	<i>alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	48,38	96,75	0,15	76,40	4,10
1346	CHAPA MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA 2,2 X 1,1M X 10MM P/ FORMA CONCRETO	<i>Plywood, for outdoor use {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m³	0,25	0,50	0,45 ^a	2,20	4,10
1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	<i>lime production; hydraulic - Cutoff U - RoW</i>	20	kg	677,12	1.354,24	2,03	874,00	4,10
7258/727 1	TIJOLO CERÂMICO VÁRIOS	<i>Clay brick production Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	13.499,87	26.999,75	40,50	3,60	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	0,08	0,15	0,00	0,00	4,10
10. INSTALAÇÕES DE PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO									
VÁRIOS	TUBOS DE AÇO GALVANIZADO, VÁRIOS DIÂMETROS E DENSIDADES	<i>zinc coating; coils - Cutoff U – RoW</i>	20	m²	44,09	88,17	0,01 ^c	78,70	4,10
VÁRIOS	REGISTROS DE GAVETA, DIFERENTES DIÂMETROS	<i>Copper {RoW} production, primary Cut-off, U</i>	20	kg	27,20	54,39	0,08	1.207,00	4,10
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production Cutoff, U – RoW</i>	20	kg	753,73	1.507,46	2,26	86,30	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	20	kg	535,39	1.070,79	1,61	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6- 14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	91,69	183,38	0,28	344,00	4,10
4718/472 1	PEDRA BRITADA N. 1 e 2 - POSTO PEDREIRA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>Gravel, round gravel and sand quarry operation Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	496,10	992,19	1,49	61,80	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	0,13	0,25	0,00	0,00	4,10
9837	TUBO PVC P/ ESG PREDIAL DN 75MM	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised {RoW} polyvinylchloride production, suspension polymerisation Cut-off, U</i>	20	kg	1,14	2,27	0,00	341,00	4,10
7271	TIJOLO CERAMICO FURADO 8 FUROS 10 X 20 X 20CM	<i>Clay brick production Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	304,13	608,26	0,91	3,60	4,10
1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	<i>lime production; hydraulic - Cutoff U - RoW</i>	20	kg	14,94	29,88	0,04	874,00	4,10
5318	SOLVENTE DILUENTE A BASE DE AGUARRAS	<i>market for solvent for paint solvent for paint Cutoff, U - GLO</i>	20	kg	0,74	1,48	0,00	76,40	4,10
7288	TINTA ESMALTE SINTETICO FOSCO	<i>alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	6,13	12,26	0,02	76,40	4,10
1346	CHAPA MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA 2,2 X 1,1M X 10MM P/ FORMA CONCRETO	<i>Plywood, for outdoor use {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m ³	0,01	0,01	0,01 ^a	2,20	4,10
VÁRIOS	PEÇA DE MADEIRA NATIVA / REGIONAL DIVERSAS DIMENSÕES	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m ³	0,01	0,01	0,01 ^a	2,20	4,10
11. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS E SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS									
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	20	kg	4.579,14	9.158,28	13,74	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	734,70	1.469,40	2,20	344,00	4,10
4718/4721	PEDRA BRITADA N. 1 e 2 - POSTO PEDREIRA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>Gravel, round gravel and sand quarry operation Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	2.726,50	5.452,99	8,18	61,80	4,10
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	2.191,57	4.383,13	6,57	86,30	4,10
1527	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 25 MPA (INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO)	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	20	m ³	0,53	1,05	3,78 ^b	77,50	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	<i>lime production; hydraulic - Cutoff U - RoW</i>	20	kg	297,61	595,22	0,89	874,00	4,10
VÁRIOS	TUBOS DE AÇO GALVANIZADO, VÁRIOS DIÂMETROS E DENSIDADES	<i>zinc coating; coils - Cutoff U – RoW</i>	20	m ²	202,00	403,99	0,06 ^c	78,70	4,10
VÁRIOS	PEÇA DE MADEIRA NATIVA / REGIONAL DIVERSAS DIMENSÕES	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m ³	0,03	0,06	0,06 ^a	2,20	4,10
1346/135 7	CHAPA MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA 2,2 X 1,1M X 10MM E 12 MM P/ FORMA CONCRETO	<i>Plywood, for outdoor use {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m ³	0,03	0,06	0,06 ^a	2,20	4,10
VÁRIOS	TIJOLOS CERÂMICOS	<i>Clay brick production Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	5.415,96	10.831,92	16,25	3,60	4,10
2685/268 3	ELETRODUTOS DE PVC ROSCÁVEL	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised {RoW} polyvinylchloride production, suspension polymerisation Cut-off, U</i>	20	kg	314,10	628,20	0,94	341,00	4,10
VÁRIOS	CABOS DE COBRE	<i>Copper {RoW} production, primary Cut-off, U</i>	20	kg	1.697,26	3.394,53	5,09	1.207,00	4,10
VÁRIOS	LÂMPADAS FLUORESCENTES	<i>compact fluorescent lamp compact fluorescent bulb Cutoff, U - GLO</i>	3	Unid.	438,00	7.008,00	0,66 ^e	1.123,00	4,10
16110.3. 2.40	CABO PP 3 X 1,5MM ² FLEXÍVEL 750V - REF: MEGATRON OU EQUIVALENTE	<i>Cable, three-conductor cable {GLO} production Cut-off, U</i>	20	m	440,00	880,00	0,06 ^f	78,00	4,10
12. REDE ESTRUTURADA									
VÁRIOS	AÇOS GALVANIZADOS	<i>zinc coating; coils - Cutoff U – RoW</i>	20	m ²	41,08	82,16	0,01 ^c	78,70	4,10
VÁRIOS	ELETRODUTOS DE PVC ROSCÁVEL	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised {RoW} polyvinylchloride production, suspension polymerisation Cut-off, U</i>	20	kg	433,05	866,11	1,30	341,00	4,10
VÁRIOS	TIJOLO CERÂMICO	<i>Clay brick production Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	1.127,28	2.254,56	3,38	3,60	4,10
VÁRIOS	AREIAS MÉDIA E GROSSA	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	20	kg	1.691,03	3.382,06	5,07	80,30	4,10
1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	<i>lime production; hydraulic - Cutoff U - RoW</i>	20	kg	43,30	86,60	0,13	874,00	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	303,08	606,16	0,91	344,00	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	0,25	0,50	0,00	0,00	4,10
4718/472 1	PEDRA BRITADA 1 E 2	<i>Gravel, round gravel and sand quarry operation Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	1.776,00	3.552,00	5,33	61,80	4,10
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production Cutoff, U – RoW</i>	20	kg	356,29	712,58	1,07	86,30	4,10
VÁRIOS	PEÇA DE MADEIRA NATIVA / REGIONAL DIVERSAS DIMENSÕES	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m³	0,00	0,01	0,01 ^a	2,20	4,10
1346/135 7	CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA	<i>Plywood, for outdoor use {RoW} production Cut-off, U</i>	20	m³	0,00	0,01	0,01 ^a	2,20	4,10
857	CABO DE COBRE NU 16MM2 MEIO-DURO	<i>Copper {RoW} production, primary Cut-off, U</i>	20	kg	1,27	2,53	0,00	1.207,00	4,10
VÁRIOS	CABOS ELÉTRICOS E DE REDE ESTRUTURADA	<i>Cable, three-conductor cable {GLO} production Cut-off, U</i>	20	m	5.692,00	11.384,00	0,75 ^f	78,00	4,10
13. CLIMATIZAÇÃO									
VÁRIOS	AÇOS GALVANIZADOS	<i>zinc coating: coils - Cutoff U – RoW</i>	20	m²	182,62	365,24	0,05 ^c	78,70	4,10
VÁRIOS	TUBOS DE COBRE	<i>Copper {RoW} production, primary Cut-off, U</i>	20	kg	606,72	1.213,44	1,82	1.207,00	4,10
VÁRIOS	TUBOS DE PVC	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised {RoW} polyvinylchloride production, suspension polymerisation Cut-off, U</i>	20	kg	111,47	222,95	0,33	341,00	4,10
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production Cutoff, U – RoW</i>	20	kg	1.094,73	2.189,46	3,28	86,30	4,10
16110.3. 49	CABO PP 3 X 2,5MM² FLEXÍVEL 750V - REF: MEGATRON OU EQUIVALENTE	<i>Cable, three-conductor cable {GLO} production Cut-off, U</i>	20	m	400,00	800,00	0,05 ^f	78,00	4,10
14. SISTEMAS ADICIONAIS (IMPERMEABILIZAÇÃO, INSTALAÇÕES DE GLP E DIVERSOS)									
VÁRIOS	VIDRO TEMPERADO INCOLOR	<i>tempering, flat glass tempering, flat glass Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	135,84	271,68	0,41	75,60	4,10
367/370	AREIA MEDIA E GROSSA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U – BR</i>	20	kg	43.154,11	86.308,22	129,46	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	9.082,46	18.164,91	27,25	344,00	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)		
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2	
5318	SOLVENTE DILUENTE A BASE DE AGUARRAS	<i>market for solvent for paint / solvent for paint / Cutoff, U - GLO</i>	20	kg	0,12	0,24	0,00	76,40	4,10	
VÁRIOS	TINTAS ESMALTE SINTÉTICO FOSCO E ACETINADO	<i>alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state / alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state / Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	0,84	1,69	0,00	76,40	4,10	
4718	PEDRA BRITADA N. 2 - POSTO PEDREIRA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>Gravel, round / gravel and sand quarry operation / Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	149.065,89	298.131,78	447,20	61,80	4,10	
VÁRIOS	AÇOS	<i>reinforcing steel production / Cutoff, U - BR</i>	20	kg	15,31	30,61	0,05	86,30	4,10	
3777	LONA PLÁSTICA, COR PRETA, ESPESURA DE 150 MICRAS	<i>packaging film production, low density polyethylene / packaging film, low density polyethylene / Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	131,78	263,56	0,40	1.221,00	4,10	
4030	TELA POLIÉSTER 3X3MM	<i>polyester fibre production, finished / fibre, polyester / Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	0,23	0,46	0,00	1.221,00	4,10	
2705	ENERGIA ELÉTRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage / electricity, low voltage / Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	30,79	61,58	0,00	0,00	4,10	
7271	TIJOLO CERÂMICO FURADO 8 FURAS 10 X 20 X 20CM	<i>Clay brick / production / Cut-off, U - BR (adaptado)</i>	20	kg	306,24	612,48	0,92	3,60	4,10	
1106	CAL HIDRATADA, DE 1A. QUALIDADE, PARA ARGAMASSA	<i>lime production; hydraulic - Cutoff U - RoW</i>	20	kg	5,81	11,61	0,02	874,00	4,10	
1357	CHAPA MADEIRA COMPENSADA RESINADA 2,2 X 1,1M (12MM) P/ FORMA CONCRETO	<i>Plywood, for outdoor use {RoW} / production / Cut-off, U</i>	20	m³	0,00	0,01	0,01 ^a	2,20	4,10	
4006	MADEIRA PINHO SERRADA 3A QUALIDADE NÃO APARELHADA	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} / production / Cut-off, U</i>	20	m³	0,02	0,03	0,03 ^a	2,20	4,10	
Total							4.870,81	ton		

^a Considerado o peso específico de 600 kg/m³ para conversão dos itens referentes à madeira, conforme referência para madeiras leves consultada em <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/8142480/4217656/TABELASOFGV02.pdf>

^b Considerado o peso específico de 2.400 kg/m³ para conversão dos itens referentes ao concreto, conforme referência consultada em <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/8142480/4217656/TABELASOFGV02.pdf>

^c Considerada a estimativa média do fator de conversão de 100 g/m², conforme referência consultada em http://www.icz.org.br/site/pdf/galvanizacao/GalvInfoNote_1_1.pdf

^d Considerado o fator de conversão de 50,7 kg/m², constante nas informações descritivas do processo utilizado na base de dados do *Ecoinvent*.

^e Considerada a massa unitária 0,08802 kg, conforme catálogo de luminária equivalente da marca Osram, modelo T5 HE 28 W/830, consultado em https://www.google.com/url?sa=t&rc=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjY0PHotJv2AhU5HbkGHcfDDCYQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.osram.com.br%2Fapps%2Fpdc%2Fpdf.do%3Fcid%3DGPS01_1027863%26vid%3DPP_EUROPE_PT_eCat%26lid%3DPP%26mpid%3D&usg=AOvVaw2Q6wikPatSFBm6B_BhKn5v

^f Considerado o peso do cabo UTP Furukawa categoria 6 de 44 kg/km, com maior representatividade do total de cabos (75%), conforme catálogo disponível em https://www.furukawatam.com/pt_BR/versao-et-pdf/gigalan-premium-cat6-uutp-cmr

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 12 - Dados do inventário do ciclo de vida dos cenários alternativos (Cen. A, B e C) para as Esquadrias do estudo de caso, referentes aos módulos A1-A3, A4, B4, C2

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Estágios A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
ESQUADRIAS - CENÁRIO A - CAIXILHOS DE PVC									
VÁRIOS	CAIXILHOS E PERFIS DE PVC DAS ESQUADRIAS	<i>window frame production, poly vinyl chloride, U=1.6 W/m2K window frame, poly vinyl chloride, U=1.6 W/m2K Cutoff, U</i>	20	m ²	122,38	244,76	34,69 ^g	72,90	4,10
881.3.5.3 .1	VIDRO LAMINADO REFLETIVO (ESPESSURA TOTAL: 8MM / COR: PRATA / REF. VTX 120SP II 44, VITRAL OU EQUIVALENTE)	<i>flat glass production, coated flat glass, coated Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	2.834,88	5.669,76	8,50	75,60	4,10
VÁRIOS	VIDRO TEMPERADO INCOLOR	<i>tempering, flat glass tempering, flat glass Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	293,47	586,94	0,88	75,60	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	597,98	1.195,96	1,79	344,00	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	20	kg	3.285,00	6.570,00	9,86	80,30	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	3,23	6,46	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	PORTAS E ALIZARES DE MADEIRA, REF. JEQUITIBÁ	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	5	m ³	2,29	20,59	13,73	2,20	4,10
11614	ESPUMA DE POLIURETANO E=20 A 25MM TEMP DE TRABALHO -50 A +100 GC DENS 29 A 35KG/M3	<i>polyurethane production, flexible foam polyurethane, flexible foam Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	0,03	0,27	0,00	2.671,00	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Estágios A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
5318	SOLVENTE DILUENTE A BASE DE AGUARRAS	<i>market for solvent for paint solvent for paint Cutoff, U - GLO</i>	5	kg	7,22	64,94	0,07	76,40	4,10
05060.3. 16.3	PERFIL DE ALUMÍNIO ANODIZADO NA COR PRETA INSTALADOS COM TODOS OS ACESSÓRIOS E VEDAÇÕES NECESSÁRIAS, COM MODULAÇÕES, DIMENSÕES DE ACORDO COM O PROJETO ARQUITETÔNICO	<i>sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	855,88	1.711,76	2,57	337,00	4,10
7311	TINTA ESMALTE SINTETICO ACETINADO	<i>alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	2,30	20,67	0,02	76,40	4,10
ESQUADRIAS - CENÁRIO B - CAIXILHOS DE MADEIRA-METAL									
VÁRIOS	CAIXILHOS E PERFIS DE MADEIRA-METAL DAS ESQUADRIAS	<i>window frame production, wood-metal, U=1.6 W/m2K window frame, wood-metal, U=1.6 W/m2K Cutoff, U</i>	20	m ²	122,38	244,76	30,62 ^h	72,90	4,10
881.3.5.3 .1	VIDRO LAMINADO REFLETIVO (ESPESSURA TOTAL: 8MM / COR: PRATA / REF. VTX 120SP II 44, VITRAL OU EQUIVALENTE)	<i>flat glass production, coated flat glass, coated Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	2.834,88	5.669,76	8,50	75,60	4,10
VÁRIOS	VIDRO TEMPERADO INCOLOR	<i>tempering, flat glass tempering, flat glass Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	293,47	586,94	0,88	75,60	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	597,98	1.195,96	1,79	344,00	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	20	kg	3.285,00	6.570,00	9,86	80,30	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	3,23	6,46	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	PORTAS E ALIZARES DE MADEIRA, REF. JEQUITIBÁ	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	5	m ³	2,29	20,59	13,73	2,20	4,10
11614	ESPUMA DE POLIURETANO E=20 A 25MM TEMP DE TRABALHO -50 A +100 GC DENS 29 A 35KG/M3	<i>polyurethane production, flexible foam polyurethane, flexible foam Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	0,03	0,27	0,00	2.671,00	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Estágios A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
5318	SOLVENTE DILUENTE A BASE DE AGUARRAS	<i>market for solvent for paint solvent for paint Cutoff, U - GLO</i>	5	kg	7,22	64,94	0,07	76,40	4,10
05060.3. 16.3	PERFIL DE ALUMÍNIO ANODIZADO NA COR PRETA INSTALADOS COM TODOS OS ACESSÓRIOS E VEDAÇÕES NECESSÁRIAS, COM MODULAÇÕES, DIMENSÕES DE ACORDO COM O PROJETO ARQUITETÔNICO	<i>sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	855,88	1.711,76	2,57	337,00	4,10
7311	TINTA ESMALTE SINTETICO ACETINADO	<i>alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	2,30	20,67	0,02	76,40	4,10
ESQUADRIAS - CENÁRIO C - CAIXILHOS DE MADEIRA									
VÁRIOS	CAIXILHOS E PERFIS DE MADEIRA DAS ESQUADRIAS	<i>window frame production, wood, U=1.5 W/m2K window frame, wood, U=1.5 W/m2K Cutoff, U</i>	20	m²	122,38	244,76	29,45 ⁱ	72,90	4,10
881.3.5.3 .1	VIDRO LAMINADO REFLETIVO (ESPESSURA TOTAL: 8MM / COR: PRATA / REF. VTX 120SP II 44, VITRAL OU EQUIVALENTE)	<i>flat glass production, coated flat glass, coated Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	2.834,88	5.669,76	8,50	75,60	4,10
VÁRIOS	VIDRO TEMPERADO INCOLOR	<i>tempering, flat glass tempering, flat glass Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	293,47	586,94	0,88	75,60	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	597,98	1.195,96	1,79	344,00	4,10
370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA / FORNECEDOR (SEM FRETE)	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	20	kg	3.285,00	6.570,00	9,86	80,30	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	20	Kw/h	3,23	6,46	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	PORTAS E ALIZARES DE MADEIRA, REF. JEQUITIBÁ	<i>Sawnwood, softwood, dried (u=10%), planed {RoW} production Cut-off, U</i>	5	m³	2,29	20,59	13,73	2,20	4,10
11614	ESPUMA DE POLIURETANO E=20 A 25MM TEMP DE TRABALHO -50 A +100 GC DENS 29 A 35KG/M3	<i>polyurethane production, flexible foam polyurethane, flexible foam Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	0,03	0,27	0,00	2.671,00	4,10
5318	SOLVENTE DILUENTE A BASE DE AGUARRAS	<i>market for solvent for paint solvent for paint Cutoff, U - GLO</i>	5	kg	7,22	64,94	0,07	76,40	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Estágios A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
05060.3. 16.3	PERFIL DE ALUMÍNIO ANODIZADO NA COR PRETA INSTALADOS COM TODOS OS ACESSÓRIOS E VEDAÇÕES NECESSÁRIAS, COM MODULAÇÕES, DIMENSÕES DE ACORDO COM O PROJETO ARQUITETÔNICO	<i>sheet rolling, aluminium / sheet rolling, aluminium / Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	855,88	1.711,76	2,57	337,00	4,10
7311	TINTA ESMALTE SINTETICO ACETINADO	<i>alkyd paint production, white, solvent-based, product in 60% solution state / alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state / Cutoff, U - RoW</i>	5	kg	2,30	20,67	0,02	76,40	4,10

^g Considerado o fator de conversão de 94,5 kg/m², constante nas informações descritivas do processo utilizado na base de dados do *Ecoinvent*.

^h Considerado o fator de conversão de 83,4 kg/m², constante nas informações descritivas do processo utilizado na base de dados do *Ecoinvent*.

ⁱ Considerado o fator de conversão de 80,2 kg/m², constante nas informações descritivas do processo utilizado na base de dados do *Ecoinvent*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 13 - Dados do inventário do ciclo de vida dos cenários alternativos (Cen. D, E e F) para os Pisos do estudo de caso, referentes aos módulos A1-A3, A4, B4, C2

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
PISOS - CENÁRIO D - PISO VINÍLICO									
	PISO VINÍLICO LVT MODULAR FLOORING - TARKETT	<i>EPD LVT Click modular flooring - TARKETT</i>	10	m ²	736,40	2.945,60	29,46 ^j	10.050,17 ^k	4,10
4721	PEDRA BRITADA N. 1 OU 19 MM POSTO PEDREIRA (SEM FRETE)	<i>Gravel, round {RoW} gravel and sand quarry operation Cut-off, U</i>	10	kg	88.155,52	352.622,08	440,78	61,80	4,10
367/370	AREIAS MÉDIA E GROSSA	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	10	kg	367.330,50	1.469.322,00	1.836,65	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	10	kg	42.650,93	170.603,72	213,25	344,00	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
3777	LONA PLASTICA, COR PRETA, ESPESSURA DE 150 MICRAS	<i>packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U - RoW</i>	10	kg	125,21	500,84	0,63	1.221,00	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>Electricity, low voltage {BR} market for Cut-off, U (considerado grid nordeste)</i>	10	Kw/h	89,16	356,63	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	ARGAMASSAS PRÉ-FABRICADAS OU CIMENTO COLANTE	<i>Adhesive mortar {RoW} production Cut-off, U</i>	10	kg	718,50	2.874,00	3,59	76,40	4,10
VÁRIOS	REVESTIMENTOS DE PORCELANATO	<i>Ceramic tile {RoW} production Cut-off, U</i>	10	kg	1.591,74	6.366,96	7,96	704,00	4,10
VÁRIOS	PISOS TÁTEIS EM PLACAS DE CONCRETO, MEIO-FIO OU GUIAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	10	m³	8,68	34,72	104,16	77,50	4,10
VÁRIOS	SOLEIRAS E PLACAS DE GRANITO	<i>natural stone plate production, polished -/ Cutoff U - RoW</i>	10	kg	1.351,32	5.405,30	6,76	436,00	4,10
PISOS - CENÁRIO E - PISO LAMINADO									
	PISO LAMINADO LAMINATE FLOORING - TARKETT	<i>EPD Laminate flooring - TARKETT</i>	20	m²	736,40	1.472,80	5,30 ^l	8.402,55 ^m	4,10
4721	PEDRA BRITADA N. 1 OU 19 MM POSTO PEDREIRA (SEM FRETE)	<i>Gravel, round {RoW} gravel and sand quarry operation Cut-off, U</i>	20	kg	88.155,52	176.311,04	264,47	61,80	4,10
367/370	AREIAS MÉDIA E GROSSA	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	20	kg	367.330,50	734.661,00	1.101,99	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6-14% - Cutoff U-BR</i>	20	kg	42.650,93	85.301,86	127,95	344,00	4,10
3777	LONA PLASTICA, COR PRETA, ESPESSURA DE 150 MICRAS	<i>packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U - RoW</i>	20	kg	125,21	250,42	0,38	1.221,00	4,10
2705	ENERGIA ELETRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>Electricity, low voltage {BR} market for Cut-off, U (considerado grid nordeste)</i>	20	Kw/h	89,16	178,32	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	ARGAMASSAS PRÉ-FABRICADAS OU CIMENTO COLANTE	<i>Adhesive mortar {RoW} production Cut-off, U</i>	20	kg	718,50	1.437,00	2,16	76,40	4,10
VÁRIOS	REVESTIMENTOS DE PORCELANATO	<i>Ceramic tile {RoW} production Cut-off, U</i>	20	kg	1.591,74	3.183,48	4,78	704,00	4,10
VÁRIOS	PISOS TÁTEIS EM PLACAS DE CONCRETO, MEIO-FIO OU GUIAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	20	m³	8,68	17,36	62,50	77,50	4,10

Item/ Cód. SINAPI	Descrição	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	VUP (anos)	Quantitativos			Massa Módulos A1-A3 e B4 (ton)	Distâncias de transporte (km)	
				Unid.	Módulos A1-A3	Módulo B4		Módulo A4	Módulo C2
VÁRIOS	SOLEIRAS E PLACAS DE GRANITO	<i>natural stone plate production, polished -/ Cutoff U - RoW</i>	20	kg	1.351,32	2.702,65	4,05	436,00	4,10
PISOS - CENÁRIO F - PISO DE MADEIRA									
	PISO DE MADEIRA WOOD FLOORING TARKETT	<i>EPD Wood flooring - TARKETT</i>	25	m ²	736,40	736,40	16,79 ⁿ	9.217,84 ^o	4,10
4721	PEDRA BRITADA N. 1 OU 19 MM POSTO PEDREIRA (SEM FRETE)	<i>Gravel, round {RoW} gravel and sand quarry operation Cut-off, U</i>	25	kg	88.155,52	88.155,52	176,31	61,80	4,10
367/370	AREIAS MÉDIA E GROSSA	<i>sand quarry operation, extraction from river bed - Cutoff U - BR</i>	25	kg	367.330,50	367.330,50	734,66	80,30	4,10
1379	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II- 32	<i>cement production, pozzolana and fly ash 6- 14% - Cutoff U-BR</i>	25	kg	42.650,93	42.650,93	85,30	344,00	4,10
3777	LONA PLÁSTICA, COR PRETA, ESPESSURA DE 150 MICRAS	<i>packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U - RoW</i>	25	kg	125,21	125,21	0,25	1.221,00	4,10
2705	ENERGIA ELÉTRICA ATE 2000 KWH INDUSTRIAL, SEM DEMANDA	<i>Electricity, low voltage {BR} market for Cut- off, U (considerado grid nordeste)</i>	25	Kw/h	89,16	89,16	0,00	0,00	4,10
VÁRIOS	ARGAMASSAS PRÉ-FABRICADAS OU CIMENTO COLANTE	<i>Adhesive mortar {RoW} production Cut-off, U</i>	25	kg	718,50	718,50	1,44	76,40	4,10
VÁRIOS	REVESTIMENTOS DE PORCELANATO	<i>Ceramic tile {RoW} production Cut-off, U</i>	25	kg	1.591,74	1.591,74	3,18	704,00	4,10
VÁRIOS	PISOS TÁTEIS EM PLACAS DE CONCRETO, MEIO-FIO OU GUIAS DE CONCRETO PRÉ- MOLDADO	<i>concrete production 25MPa, ready-mix, with cement limestone 6-10% - Cutoff U - BR</i>	25	m ³	8,68	8,68	41,66	77,50	4,10
VÁRIOS	SOLEIRAS E PLACAS DE GRANITO	<i>natural stone plate production, polished -/ Cutoff U - RoW</i>	25	kg	1.351,32	1.351,32	2,70	436,00	4,10

^j Considerado o fator de conversão de 8 kg/m² informado na DAP/EPD do produto de referência.

^k Como o produto é fabricado na Europa, foram considerados os deslocamentos de transporte marítimo (9.412,74 km) e terrestre (637,43 km), desde a fábrica até a localização do estudo de caso. Os processos utilizados na base de dados são relacionados na Tabela 14.

^l Considerado o fator de conversão de 2,4 kg/m² informado na DAP/EPD do produto de referência.

^m Como o produto é fabricado na Europa, foram considerados os deslocamentos de transporte marítimo (7492,91 km) e terrestre (459,64 km), desde a fábrica até a localização do estudo de caso. Os processos utilizados na base de dados são relacionados na Tabela 14.

ⁿ Considerado o fator de conversão de 11,4 kg/m² informado na DAP/EPD do produto de referência.

^o Como o produto é fabricado na Europa, foram considerados os deslocamentos de transporte marítimo (8831,86 km) e terrestre (385,98 km), desde a fábrica até a localização do estudo de caso. Os processos utilizados na base de dados são relacionados na Tabela 14.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 14 - Informações complementares de consumos, referências e processos da base de dados utilizados na modelagem dos cenários base e alternativos

Módulo do ciclo de vida	Item	Referência	Processo de material da base de dados <i>Ecoinvent</i>	Unid.
A4 e B4	Transporte rodoviário até o canteiro de obras	Coleta de dados e distâncias estimadas pelo <i>Google Maps</i>	<i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 Cutoff, U - RoW</i>	ton.km
	Transporte marítimo até o canteiro de obras	Coleta de dados e distâncias estimadas em https://www.searates.com/es/services/distances-time/	<i>transport, freight, sea, transoceanic ship transport, freight, sea, transoceanic ship cut-off, U - GLO</i>	ton.km
A5	Consumo de energia elétrica na construção	Yan et al. (2010) - 36,81 kWh/m ²	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	kWh
	Consumo de diesel na construção	Yan et al. (2010) - 4,7796 kg/m ²	<i>market for diesel, low-sulfur diesel, low-sulfur Cutoff, U - BR</i>	kg
B6	Consumo de energia elétrica no uso	Baseado em 1 ano de utilização da edificação do estudo de caso, com projeção para 50 anos	<i>market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	kWh
B7	Consumo de água potável no uso		<i>market for tap water tap water Cutoff, U - BR</i>	kg
C1	Consumo de diesel de equipamentos na demolição	Gomes et al. (2018) e Pulgrossi (2020) - 2,407 kg/m ²	<i>market for diesel, low-sulfur diesel, low-sulfur Cutoff, U - BR</i>	kg
C2	Destinação final de resíduos - transporte rodoviário	Coleta de dados e distâncias estimadas pelo <i>Google Maps</i>	<i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO3 Cutoff, U - RoW</i>	ton.km
C4	Disposição dos resíduos no estágio de fim de vida	Coleta de dados do sistema de destinação de resíduos do município do estudo de caso	<i>inert waste, for final disposal</i>	kg

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

APÊNDICE D – Detalhamento da estrutura metodológica e aplicação no estudo de caso

Tabela 15 - Descrição detalhada da estrutura metodológica com exemplos de aplicação no estudo de caso

Etapa/subetapa da estrutura metodológica	Descrição	Exemplo na aplicação do estudo de caso
1.1. Definição de objetivo e escopo	Deve ser definido o objetivo pretendido com o resultado da avaliação, incluindo eventuais metas de redução de impactos ambientais em relação ao cenário base, ou se há um limite para avaliar soluções alternativas durante o desenvolvimento do projeto. O objetivo declara também o público-alvo da avaliação. O escopo inclui o sistema de produto a ser estudado, suas funções, fronteiras do sistema, pressupostos, limitações, entre outros itens relacionados na NBR ISO 14040:2009.	Objetivo: Avaliar os potenciais impactos ambientais de todo o ciclo de vida de edifício público térreo de uso administrativo, com base em comparações de cenários de ciclo de vida na etapa de projeto básico, subsidiando a escolha de soluções de melhor desempenho ambiental. O público-alvo são a área técnica (engenheiros e arquitetos) de instituições públicas e projetistas de edificações, com poder decisório durante a concepção das edificações públicas. O escopo da avaliação abrange o ciclo de vida do berço ao túmulo, com a aplicação de critérios de corte, conforme descrito no subitem 4.4.1.
1.2. Definição da unidade funcional	É a principal forma como os resultados da avaliação de desempenho ambiental serão expressos, para fins da tomada de decisão. Corresponde ao desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência.	Unidade funcional: Edificação completa, com área construída total de 830,85 m ² .
2.1. O Projeto está em desenvolvimento em BIM?	Para definir a forma de seleção dos dados de projeto para a modelagem de ACV, se manual ou automatizada (através do BIM). Se o projeto estiver em BIM, deve ser precedido de um Plano de Execução BIM (PEB), com um conjunto de protocolos e diretrizes para implementação do modelo BIM no projeto analisado.	Projeto não desenvolvido em BIM.
2.2. Verificação de áreas, geometria e envelope 2.3. Levantamento de códigos SINAPI de serviços e insumos	Compreendem a verificação das informações técnicas do projeto do cenário base, para seleção dos dados com vistas à modelagem de ACV.	Conforme descrição da edificação constante no subitem 4.3 e dados de projeto constante no inventário do Apêndice C.
2.4. Previsão de vida útil da edificação e dos sistemas construtivos	Necessário para modelagem da ACV no estágio de uso do ciclo de vida.	Para o cenário base foi considerada a vida útil da edificação de 50 anos e reposições dos sistemas construtivos conforme NBR 15575. A relação por item consta no Apêndice C. Para cenários alternativos, considerada previsão de vida útil dos fabricantes e realizada análise de sensibilidade, conforme subitem 5.2.3.
2.5. Localização da edificação	Necessário para modelagem da ACV referente aos módulos A4, B4 e C2, e também para a seleção dos dados de modelagem no contexto regional, sempre que possível.	Caxias, Maranhão - Brasil.

Etapa/subetapa da estrutura metodológica	Descrição	Exemplo na aplicação do estudo de caso
3.1. Definição dos critérios de corte e itens a serem excluídos	Corresponde à especificação, em termos de fluxo de material ou energia ou do nível de significância ambiental associados a processos elementares ou a sistemas de produto, dos limites que definem a exclusão de dados de uma avaliação. A EN 15804 estabelece os critérios de exclusão em relação a massa e energia. Todo o processo de exclusão de dados deve ser documentado.	Atendidos os critérios de corte normativos quanto à representatividade mássica (considerada 99,12% da massa do edifício no inventário), conforme detalhado no subitem 4.4.1. Os itens de projeto excluídos da avaliação constam relacionados na Tabela 9 do Apêndice B.
3.2. Definição dos estágios e módulos do ciclo de vida a serem avaliados	Relacionado ao escopo da avaliação, se faz necessário para conduzir a modelagem de ACV, obtenção de dados sobre cada módulo do ciclo de vida e para futuras comparações.	Considerados os estágios de produção (módulos A1-A3), construção (módulos A4-A5), uso (módulos B4, B6, B7) e fim de vida (módulos C1, C2, C4).
3.3. Definição do método de avaliação de impactos	Necessário para definir como será conduzida a modelagem de ACV no <i>software</i> e como serão expressos os resultados de potenciais impactos ambientais.	Utilizado o método CML (<i>baseline</i>) v4.4, Janeiro/2015.
3.4. Definição da(s) categoria(s) de impacto prioritária(s) para o projeto da instituição	A categoria é a classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do inventário podem ser associados. Quando possível, determinar categoria(s) prioritária(s) em um projeto específico pode auxiliar no processo de tomada de decisão, pois um mesmo material ou sistema construtivo apresenta diferentes resultados de desempenho ambiental, a depender da categoria considerada.	Foram avaliadas as 7 categorias de impactos em <i>midpoint</i> , estabelecidas pela EN 15804, conforme Quadro 1.
3.5. Definição quanto à inclusão da avaliação do custo do ciclo de vida da edificação	A avaliação do custo do ciclo de vida dos diferentes cenários de projeto pode contribuir para o processo de tomada de decisão, de forma integrada ao desempenho ambiental.	Não foi considerado no escopo deste estudo.
4.1. Levantamento de dados primários (quando possível)	A NBR ISO 14044 dispõe que é conveniente que dados de locais de produção específicos ou médias representativas sejam usados para aqueles processos elementares que contribuem com a maioria dos fluxos de massa e energia nos sistemas em estudo. É indicado também que, quando possível, dados de locais de produção específicos sejam usados para processos elementares que tenham entradas e saídas consideradas ambientalmente relevantes.	Foi realizado o levantamento dos consumos de energia elétrica e água potável durante um ano de utilização da edificação, os dados para o estágio de construção foram coletados conforme o projeto existente, porém os dados de substituições dos sistemas construtivos, estimativas de consumo de energia e diesel (na construção e demolição) foram baseados em referências bibliográficas, conforme descrito na Tabela 14 do Apêndice C.
4.2. Quando incluídos os módulos de transporte na avaliação, levantamento das distâncias entre indústria, canteiro de obras e disposição no fim de vida, assim como o(s) modal(is) de transporte previsto(s)	Necessário para modelagem da ACV referente aos módulos A4, B4 e C2 e para definição dos processos correspondentes na base de dados.	Realizado o levantamento das distâncias de transporte, piorizando-se indústrias e fornecedores próximos ao canteiro de obras. A relação das distâncias consideradas para cada item do inventário do ciclo de vida consta nas Tabelas 11, 12 e 13 do Apêndice C.
4.3. Definição da(s) bases(s) de dado(s) a serem utilizadas	Permite selecionar processos de materiais com dados de desempenho ambiental associados, criar sistemas de produto para a modelagem dos materiais e sistemas construtivos dentro do <i>software</i> escolhido.	<i>Ecoinvent</i> , versão 3.6.

Etapa/subetapa da estrutura metodológica	Descrição	Exemplo na aplicação do estudo de caso
4.4. Definição dos processos da base de dados a serem utilizados e organização dos dados disponíveis de projeto	Corresponde à organização dos dados coletados, ajustando-os aos processos de materiais existentes na base de dados, para permitir a modelagem de ACV no <i>software</i> .	Conforme organização e estrutura apresentada nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 do Apêndice C.
4.5. Conversão dos quantitativos para as unidades dos processos da bases de dados		
4.6. Análise quanto à adaptação dos processos de materiais da base de dados para o contexto regional	Permite dar maior robustez ao estudo, quando não disponíveis processos de materiais da base de dados diretamente voltados ao contexto geográfico avaliado.	Realizada a adaptação de dados de dois processos representativos em massa para a matriz energética nacional, em primeiro plano, conforme Tabela 1 e Tabela 10.
5.1. Definição do <i>software</i> de modelagem	Necessário para a modelagem da ACV.	OpenLCA, versão 1.10.2.
5.2. Inclusão dos dados coletados, base de dados e método de avaliação de impactos no <i>software</i>		
5.3. Criação dos processos (sistema de produto) no <i>software</i>	Inclusão dos dados no <i>software</i> de acordo com o ICV definido.	
5.4. Inserção dos dados de entrada e de saída		
5.5. Configuração dos processos (<i>providers</i>) da base de dados		Procedimentos realizados no <i>software</i> OpenLCA.
5.6. Revisão dos processos, dados e definições realizadas no <i>software</i>	Importante revisar se os processos de materiais, quantitativos, unidades de medição e <i>providers</i> escolhidos estão de acordo com o ICV.	
5.7. Cálculo dos impactos	Para o cálculo de impactos, é importante verificar se a metodologia de impactos está correta, bem como se as etapas anteriores foram cumpridas integralmente.	
6.1. Exportação dos resultados para planilha eletrônica	Procedimento realizado no <i>software</i> para possibilitar a interpretação e avaliação dos impactos ambientais.	Os dados foram exportados para planilhas do <i>Microsoft Excel</i> , categorizados e ajustados para a avaliação de impactos.
6.2. Ajuste dos dados para a vida útil da edificação (se necessário)	Parte dos sistemas e elementos construtivos possuem vida útil menor que a da edificação, sendo necessário considerar os potenciais impactos ambientais das suas substituições e reposições no estágio de uso da edificação (módulo B4).	Foram realizados os cálculos de substituições dos sistemas construtivos, conforme períodos de vida útil de projeto (VUP) detalhados nas Tabelas 11, 12, 13 e 14 do Apêndice C..
6.3. Ajuste dos dados para considerar substituições e reposições no estágio de uso		
6.4. Avaliação de impactos do cenário-base		
6.4.1. Análise de contribuição dos módulos do ciclo de vida com maiores impactos potenciais	Permite focar a avaliação nos módulos que possuem maiores impactos ambientais associados.	Identificados os módulos A1-A3, B4 e B6 como mais representativos.

Etapa/subetapa da estrutura metodológica	Descrição	Exemplo na aplicação do estudo de caso
6.4.2. Análise dos sistemas construtivos com maior representatividade nos impactos potenciais	Dentro de cada módulo, a identificação dos sistemas construtivos com maior representatividade permite buscar uma redução mais significativa dos impactos potenciais, através da adoção de soluções alternativas, de forma pontual.	Identificados os sistemas mais representativos nos módulos do ciclo de vida: A1-A3: estrutura, pisos, esquadrias, rede estruturada, instalações elétricas e SPDA. B4: rede estruturada, instalações elétricas e SPDA, revestimentos de vedações e fachadas, esquadrias e pisos.
6.4.3. Identificação de <i>hotspots</i>	Em cada processo de materiais da base de dados, verificar quais itens (<i>providers</i>) possuem maior impacto associado.	No caso do sistema de pisos, foram os revestimento cerâmico e argamassa colante. Nas esquadrias, foi o item referente aos caixilhos e perfis de alumínio.
6.4.4. Pesquisa de soluções alternativas de projeto para comparação com os hotspots	Busca de soluções que possuam desempenho técnico e econômico próximos às soluções do cenário base de projeto para avaliação de desempenho ambiental.	Definidos cenários alternativos com soluções de piso (vinílico, laminado, madeira) e caixilhos das esquadrias (PVC, madeira-metal, madeira).
6.5. Avaliação de impactos de cenários alternativos	Processo de modelagem, cálculo dos impactos e exportação dos resultados para avaliação da mesma forma que realizado para o cenário base.	Procedimentos realizados no <i>software</i> OpenLCA.
6.6. Verificação quanto à necessidade de análise de incerteza e/ou sensibilidade sobre as definições realizadas nos cenários base e alternativos para a modelagem	A análise de incerteza engloba procedimentos sistemáticos para quantificar a incerteza dos resultados de uma análise pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos e variabilidade dos dados. Já a análise de sensibilidade permite estimar os efeitos das escolhas realizadas em termos de métodos e dados nos resultados do estudo.	Realizada análise de sensibilidade para os cenários alternativos de projetos de pisos e esquadrias adotados, em função da variabilidade de períodos de vida útil considerados para cada sistema, conforme descrito no subitem 5.2.3.
7.1. Comparação gráfica e numérica entre os resultados da avaliação de impactos do cenário-base e cenários alternativos, com foco nas categorias de impacto priorizadas para o projeto	Importante para apresentação dos resultados da modelagem de ACV e para subsidiar a tomada de decisão no projeto básico.	Conforme discutido no subitem 5.2.2.
7.1.1. Se a avaliação incluir o custo do ciclo de vida, comparar os custos totais das soluções alternativas em relação ao cenário base de projeto		Não foi considerado no escopo deste estudo.
7.2. Verificação de consistência da avaliação em relação ao objetivo e escopo estabelecidos	Corresponde ao processo para verificar, antes de se consolidarem as conclusões do estudo, se os pressupostos, métodos e dados foram aplicados de forma consistente ao longo do estudo e se estão de acordo com as definições de objetivo e escopo.	Realizada uma revisão geral sobre as etapas do método utilizado, a estrutura do ICV, os processos criados no <i>software</i> , os procedimentos de avaliação de impactos e definição de cenários alternativos, com revisão dos dados e quantitativos, comparando os resultados com o objetivo proposto.
7.3. Escolha da configuração de projeto que contemple o melhor desempenho ambiental para cada caso	Definição da configuração de projeto básico de forma integrativa, considerando o desempenho ambiental para melhor atender à cada situação e escopo específicos que estão sendo analisados.	Conforme discutido nos subitens 5.2.2 e 5.2.3.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022), com descrição baseada em ABNT (2009a), ABNT (2009b), CEN (2011) e CEN (2013).

**APÊNDICE E – Resultados numéricos da modelagem de ACV para o
estudo de caso**

Tabela 16 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário base de projeto

Categorias de impacto	Acidific. de solo e água	Aquecim. global	Depl. de recursos abióticos – elem. não fósseis	Depl. de recursos abióticos – comb. fósseis	Eutrofização	Depleção da camada de ozônio	Ozônio fotoquímico
Sigla	AP	GWP	ADPnf	ADPf	EP	ODP	POCP
Unidade	kg SO2 eq.	kg CO2 eq.	kg Sb eq.	MJ	kg (PO4) ³⁻ eq.	kg CFC-11 eq.	kg Etileno eq.
Fundações	6,47E+01	1,31E+04	4,59E-04	1,49E+05	2,06E+01	1,41E-03	4,76E+00
Estruturas	4,75E+02	5,76E+04	3,20E-03	1,11E+06	1,61E+02	9,92E-03	3,87E+01
Pisos	1,09E+03	2,91E+05	2,57E-01	2,75E+06	3,13E+02	2,59E-02	6,21E+01
Vedações Vert. Int. e Externas	1,77E+02	5,87E+04	3,21E-02	5,30E+05	4,29E+01	3,93E-03	1,14E+01
Rev. Ved. e Fachadas	5,74E+02	1,58E+05	1,40E-01	1,46E+06	1,73E+02	1,27E-02	3,33E+01
Cobertura	9,60E+02	1,06E+05	1,45E-02	1,13E+06	3,56E+02	6,64E-03	6,05E+01
Esquadrias	1,39E+03	2,19E+05	6,09E-02	2,64E+06	3,86E+02	1,16E-02	8,62E+01
Pintura	4,13E+02	7,99E+04	2,14E-02	1,37E+06	1,42E+02	7,55E-03	5,55E+01
Inst. Hidrossan.	1,32E+02	3,50E+04	2,25E-02	4,49E+05	4,12E+01	6,28E-03	8,61E+00
PPCI	9,58E+01	6,12E+03	7,67E-04	6,49E+04	3,26E+01	3,95E-04	5,03E+00
Inst. Elétricas e SPDA	3,85E+03	8,55E+04	1,71E-02	9,87E+05	1,34E+03	7,45E-03	1,52E+02
Rede estruturada	4,41E+03	7,65E+04	1,43E-02	1,27E+06	1,91E+03	4,97E-03	1,71E+02
Climatização	1,55E+03	2,34E+04	5,67E-03	2,97E+05	5,17E+02	1,69E-03	5,94E+01
Sist. Adicionais	1,15E+02	3,48E+04	1,25E-03	3,10E+05	2,80E+01	3,25E-03	5,82E+00
A5	1,21E+02	1,82E+04	1,10E-04	3,47E+05	1,69E+01	3,58E-03	4,91E+00
B6	1,13E+04	1,82E+06	7,86E-03	1,56E+07	1,60E+03	1,03E-01	4,59E+02
B7	1,93E+02	2,69E+04	1,20E-02	2,83E+05	5,36E+01	2,30E-03	1,17E+01
C1	1,05E+01	1,08E+03	2,04E-05	1,05E+05	1,40E+00	1,35E-03	4,39E-01
C4	2,58E+02	4,06E+04	1,42E-03	9,36E+05	5,94E+01	1,09E-02	1,03E+01
Totais	2,72E+04	3,15E+06	6,13E-01	3,18E+07	7,18E+03	2,25E-01	1,24E+03
Totais por m²	3,27E+01	3,80E+03	7,37E-04	3,83E+04	8,65E+00	2,70E-04	1,49E+00
Totais por m²/ano	6,55E-01	7,59E+01	1,47E-05	7,66E+02	1,73E-01	5,41E-06	2,99E-02

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 17 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo A

Categorias de impacto	Acidific. de solo e água	Aquecim. global	Depl. de recursos abióticos – elem. não fósseis	Depl. de recursos abióticos – comb. fósseis	Eutrofização	Depleção da camada de ozônio	Ozônio fotoquímico
Sigla	AP	GWP	ADPnf	ADPf	EP	ODP	POCP
Unidade	kg SO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg Sb eq.	MJ	kg (PO ₄) ³⁻ eq.	kg CFC-11 eq.	kg Etileno eq.
Fundações	6,47E+01	1,31E+04	4,59E-04	1,49E+05	2,06E+01	1,41E-03	4,76E+00
Estruturas	4,75E+02	5,76E+04	3,20E-03	1,11E+06	1,61E+02	9,92E-03	3,87E+01
Pisos	1,09E+03	2,91E+05	2,57E-01	2,75E+06	3,13E+02	2,59E-02	6,21E+01
Vedações Vert. Int. e Externas	1,77E+02	5,87E+04	3,21E-02	5,30E+05	4,29E+01	3,93E-03	1,14E+01
Rev. Ved. e Fachadas	5,74E+02	1,58E+05	1,40E-01	1,46E+06	1,73E+02	1,27E-02	3,33E+01
Cobertura	9,60E+02	1,06E+05	1,45E-02	1,13E+06	3,56E+02	6,64E-03	6,05E+01
Esquadrias	7,01E+02	8,62E+04	1,54E-01	1,84E+06	2,44E+02	2,95E-02	3,60E+01
Pintura	4,13E+02	7,99E+04	2,14E-02	1,37E+06	1,42E+02	7,55E-03	5,55E+01
Inst. Hidrossan.	1,32E+02	3,50E+04	2,25E-02	4,49E+05	4,12E+01	6,28E-03	8,61E+00
PPCI	9,58E+01	6,12E+03	7,67E-04	6,49E+04	3,26E+01	3,95E-04	5,03E+00
Inst. Elétricas e SPDA	3,85E+03	8,55E+04	1,71E-02	9,87E+05	1,34E+03	7,45E-03	1,52E+02
Rede estruturada	4,41E+03	7,65E+04	1,43E-02	1,27E+06	1,91E+03	4,97E-03	1,71E+02
Climatização	1,55E+03	2,34E+04	5,67E-03	2,97E+05	5,17E+02	1,69E-03	5,94E+01
Sist. Adicionais	1,15E+02	3,48E+04	1,25E-03	3,10E+05	2,80E+01	3,25E-03	5,82E+00
A5	1,21E+02	1,82E+04	1,10E-04	3,47E+05	1,69E+01	3,58E-03	4,91E+00
B6	1,13E+04	1,82E+06	7,86E-03	1,56E+07	1,60E+03	1,03E-01	4,59E+02
B7	1,93E+02	2,69E+04	1,20E-02	2,83E+05	5,36E+01	2,30E-03	1,17E+01
C1	1,05E+01	1,08E+03	2,04E-05	1,05E+05	1,40E+00	1,35E-03	4,39E-01
C4	2,58E+02	4,07E+04	1,42E-03	9,39E+05	5,96E+01	1,09E-02	1,03E+01
Totais	2,65E+04	3,02E+06	7,06E-01	3,10E+07	7,04E+03	2,43E-01	1,19E+03
Totais por m²	3,19E+01	3,64E+03	8,49E-04	3,73E+04	8,48E+00	2,92E-04	1,43E+00
Totais por m²/ano	6,38E-01	7,27E+01	1,70E-05	7,47E+02	1,70E-01	5,84E-06	2,87E-02

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 18 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo B

Categorias de impacto	Acidific. de solo e água	Aquecim. global	Depl. de recursos abióticos – elem. não fósseis	Depl. de recursos abióticos – comb. fósseis	Eutrofização	Depleção da camada de ozônio	Ozônio fotoquímico
Sigla	AP	GWP	ADPnf	ADPf	EP	ODP	POCP
Unidade	kg SO2 eq.	kg CO2 eq.	kg Sb eq.	MJ	kg (PO4) ³⁻ eq.	kg CFC-11 eq.	kg Etileno eq.
Fundações	6,47E+01	1,31E+04	4,59E-04	1,49E+05	2,06E+01	1,41E-03	4,76E+00
Estruturas	4,75E+02	5,76E+04	3,20E-03	1,11E+06	1,61E+02	9,92E-03	3,87E+01
Pisos	1,09E+03	2,91E+05	2,57E-01	2,75E+06	3,13E+02	2,59E-02	6,21E+01
Vedações Vert. Int. e Externas	1,77E+02	5,87E+04	3,21E-02	5,30E+05	4,29E+01	3,93E-03	1,14E+01
Rev. Ved. e Fachadas	5,74E+02	1,58E+05	1,40E-01	1,46E+06	1,73E+02	1,27E-02	3,33E+01
Cobertura	9,60E+02	1,06E+05	1,45E-02	1,13E+06	3,56E+02	6,64E-03	6,05E+01
Esquadrias	7,54E+02	6,04E+03	3,85E-02	1,47E+06	2,34E+02	7,74E-03	4,99E+01
Pintura	4,13E+02	7,99E+04	2,14E-02	1,37E+06	1,42E+02	7,55E-03	5,55E+01
Inst. Hidrossan.	1,32E+02	3,50E+04	2,25E-02	4,49E+05	4,12E+01	6,28E-03	8,61E+00
PPCI	9,58E+01	6,12E+03	7,67E-04	6,49E+04	3,26E+01	3,95E-04	5,03E+00
Inst. Elétricas e SPDA	3,85E+03	8,55E+04	1,71E-02	9,87E+05	1,34E+03	7,45E-03	1,52E+02
Rede estruturada	4,41E+03	7,65E+04	1,43E-02	1,27E+06	1,91E+03	4,97E-03	1,71E+02
Climatização	1,55E+03	2,34E+04	5,67E-03	2,97E+05	5,17E+02	1,69E-03	5,94E+01
Sist. Adicionais	1,15E+02	3,48E+04	1,25E-03	3,10E+05	2,80E+01	3,25E-03	5,82E+00
A5	1,21E+02	1,82E+04	1,10E-04	3,47E+05	1,69E+01	3,58E-03	4,91E+00
B6	1,13E+04	1,82E+06	7,86E-03	1,56E+07	1,60E+03	1,03E-01	4,59E+02
B7	1,93E+02	2,69E+04	1,20E-02	2,83E+05	5,36E+01	2,30E-03	1,17E+01
C1	1,05E+01	1,08E+03	2,04E-05	1,05E+05	1,40E+00	1,35E-03	4,39E-01
C4	2,58E+02	4,07E+04	1,42E-03	9,38E+05	5,96E+01	1,09E-02	1,03E+01
Totais	2,66E+04	2,94E+06	5,90E-01	3,06E+07	7,03E+03	2,21E-01	1,20E+03
Totais por m²	3,20E+01	3,54E+03	7,10E-04	3,69E+04	8,46E+00	2,66E-04	1,45E+00
Totais por m²/ano	6,40E-01	7,08E+01	1,42E-05	7,38E+02	1,69E-01	5,31E-06	2,90E-02

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 19 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo C

Categorias de impacto	Acidific. de solo e água	Aquecim. global	Depl. de recursos abióticos – elem. não fósseis	Depl. de recursos abióticos – comb. fósseis	Eutrofização	Depleção da camada de ozônio	Ozônio fotoquímico
Sigla	AP	GWP	ADPnf	ADPf	EP	ODP	POCP
Unidade	kg SO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg Sb eq.	MJ	kg (PO ₄) ³⁻ eq.	kg CFC-11 eq.	kg Etileno eq.
Fundações	6,47E+01	1,31E+04	4,59E-04	1,49E+05	2,06E+01	1,41E-03	4,76E+00
Estruturas	4,75E+02	5,76E+04	3,20E-03	1,11E+06	1,61E+02	9,92E-03	3,87E+01
Pisos	1,09E+03	2,91E+05	2,57E-01	2,75E+06	3,13E+02	2,59E-02	6,21E+01
Vedações Vert. Int. e Externas	1,77E+02	5,87E+04	3,21E-02	5,30E+05	4,29E+01	3,93E-03	1,14E+01
Rev. Ved. e Fachadas	5,74E+02	1,58E+05	1,40E-01	1,46E+06	1,73E+02	1,27E-02	3,33E+01
Cobertura	9,60E+02	1,06E+05	1,45E-02	1,13E+06	3,56E+02	6,64E-03	6,05E+01
Esquadrias	4,55E+02	-5,65E+04	3,01E-02	9,08E+05	1,45E+02	5,37E-03	3,20E+01
Pintura	4,13E+02	7,99E+04	2,14E-02	1,37E+06	1,42E+02	7,55E-03	5,55E+01
Inst. Hidrossan.	1,32E+02	3,50E+04	2,25E-02	4,49E+05	4,12E+01	6,28E-03	8,61E+00
PPCI	9,58E+01	6,12E+03	7,67E-04	6,49E+04	3,26E+01	3,95E-04	5,03E+00
Inst. Elétricas e SPDA	3,85E+03	8,55E+04	1,71E-02	9,87E+05	1,34E+03	7,45E-03	1,52E+02
Rede estruturada	4,41E+03	7,65E+04	1,43E-02	1,27E+06	1,91E+03	4,97E-03	1,71E+02
Climatização	1,55E+03	2,34E+04	5,67E-03	2,97E+05	5,17E+02	1,69E-03	5,94E+01
Sist. Adicionais	1,15E+02	3,48E+04	1,25E-03	3,10E+05	2,80E+01	3,25E-03	5,82E+00
A5	1,21E+02	1,82E+04	1,10E-04	3,47E+05	1,69E+01	3,58E-03	4,91E+00
B6	1,13E+04	1,82E+06	7,86E-03	1,56E+07	1,60E+03	1,03E-01	4,59E+02
B7	1,93E+02	2,69E+04	1,20E-02	2,83E+05	5,36E+01	2,30E-03	1,17E+01
C1	1,05E+01	1,08E+03	2,04E-05	1,05E+05	1,40E+00	1,35E-03	4,39E-01
C4	2,58E+02	4,07E+04	1,42E-03	9,38E+05	5,96E+01	1,09E-02	1,03E+01
Totais	2,63E+04	2,88E+06	5,82E-01	3,01E+07	6,94E+03	2,18E-01	1,19E+03
Totais por m²	3,16E+01	3,46E+03	7,00E-04	3,62E+04	8,36E+00	2,63E-04	1,43E+00
Totais por m²/ano	6,32E-01	6,93E+01	1,40E-05	7,24E+02	1,67E-01	5,26E-06	2,86E-02

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 20 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo D

Categorias de impacto	Acidific. de solo e água	Aquecim. global	Depl. de recursos abióticos – elem. não fósseis	Depl. de recursos abióticos – comb. fósseis	Eutrofização	Depleção da camada de ozônio	Ozônio fotoquímico
Sigla	AP	GWP	ADPnf	ADPf	EP	ODP	POCP
Unidade	kg SO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg Sb eq.	MJ	kg (PO ₄) ³⁻ eq.	kg CFC-11 eq.	kg Etileno eq.
Fundações	6,47E+01	1,31E+04	4,59E-04	1,49E+05	2,06E+01	1,41E-03	4,76E+00
Estruturas	4,75E+02	5,76E+04	3,20E-03	1,11E+06	1,61E+02	9,92E-03	3,87E+01
Pisos	1,11E+03	3,19E+05	6,62E-01	3,03E+06	2,59E+02	2,53E-02	8,76E+01
Vedações Vert. Int. e Externas	1,77E+02	5,87E+04	3,21E-02	5,30E+05	4,29E+01	3,93E-03	1,14E+01
Rev. Ved. e Fachadas	5,74E+02	1,58E+05	1,40E-01	1,46E+06	1,73E+02	1,27E-02	3,33E+01
Cobertura	9,60E+02	1,06E+05	1,45E-02	1,13E+06	3,56E+02	6,64E-03	6,05E+01
Esquadrias	1,39E+03	2,19E+05	6,09E-02	2,64E+06	3,86E+02	1,16E-02	8,62E+01
Pintura	4,13E+02	7,99E+04	2,14E-02	1,37E+06	1,42E+02	7,55E-03	5,55E+01
Inst. Hidrossan.	1,32E+02	3,50E+04	2,25E-02	4,49E+05	4,12E+01	6,28E-03	8,61E+00
PPCI	9,58E+01	6,12E+03	7,67E-04	6,49E+04	3,26E+01	3,95E-04	5,03E+00
Inst. Elétricas e SPDA	3,85E+03	8,55E+04	1,71E-02	9,87E+05	1,34E+03	7,45E-03	1,52E+02
Rede estruturada	4,41E+03	7,65E+04	1,43E-02	1,27E+06	1,91E+03	4,97E-03	1,71E+02
Climatização	1,55E+03	2,34E+04	5,67E-03	2,97E+05	5,17E+02	1,69E-03	5,94E+01
Sist. Adicionais	1,15E+02	3,48E+04	1,25E-03	3,10E+05	2,80E+01	3,25E-03	5,82E+00
A5	1,21E+02	1,82E+04	1,10E-04	3,47E+05	1,69E+01	3,58E-03	4,91E+00
B6	1,13E+04	1,82E+06	7,86E-03	1,56E+07	1,60E+03	1,03E-01	4,59E+02
B7	1,93E+02	2,69E+04	1,20E-02	2,83E+05	5,36E+01	2,30E-03	1,17E+01
C1	1,05E+01	1,08E+03	2,04E-05	1,05E+05	1,40E+00	1,35E-03	4,39E-01
C4	2,82E+02	4,45E+04	1,55E-03	1,03E+06	6,51E+01	1,20E-02	1,13E+01
Totais	2,73E+04	3,19E+06	1,02E+00	3,22E+07	7,14E+03	2,25E-01	1,27E+03
Totais por m²	3,28E+01	3,83E+03	1,22E-03	3,87E+04	8,59E+00	2,71E-04	1,53E+00
Totais por m²/ano	6,56E-01	7,67E+01	2,45E-05	7,74E+02	1,72E-01	5,42E-06	3,05E-02

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 21 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo E

Categorias de impacto	Acidific. de solo e água	Aquecim. global	Depl. de recursos abióticos – elem. não fósseis	Depl. de recursos abióticos – comb. fósseis	Eutrofização	Depleção da camada de ozônio	Ozônio fotoquímico
Sigla	AP	GWP	ADPnf	ADPf	EP	ODP	POCP
Unidade	kg SO ₂ eq.	kg CO ₂ eq.	kg Sb eq.	MJ	kg (PO ₄) ³⁻ eq.	kg CFC-11 eq.	kg Etileno eq.
Fundações	6,47E+01	1,31E+04	4,59E-04	1,49E+05	2,06E+01	1,41E-03	4,76E+00
Estruturas	4,75E+02	5,76E+04	3,20E-03	1,11E+06	1,61E+02	9,92E-03	3,87E+01
Pisos	5,55E+02	1,48E+05	7,09E-02	1,45E+06	1,34E+02	1,50E-02	3,89E+01
Vedações Vert. Int. e Externas	1,77E+02	5,87E+04	3,21E-02	5,30E+05	4,29E+01	3,93E-03	1,14E+01
Rev. Ved. e Fachadas	5,74E+02	1,58E+05	1,40E-01	1,46E+06	1,73E+02	1,27E-02	3,33E+01
Cobertura	9,60E+02	1,06E+05	1,45E-02	1,13E+06	3,56E+02	6,64E-03	6,05E+01
Esquadrias	1,39E+03	2,19E+05	6,09E-02	2,64E+06	3,86E+02	1,16E-02	8,62E+01
Pintura	4,13E+02	7,99E+04	2,14E-02	1,37E+06	1,42E+02	7,55E-03	5,55E+01
Inst. Hidrossan.	1,32E+02	3,50E+04	2,25E-02	4,49E+05	4,12E+01	6,28E-03	8,61E+00
PPCI	9,58E+01	6,12E+03	7,67E-04	6,49E+04	3,26E+01	3,95E-04	5,03E+00
Inst. Elétricas e SPDA	3,85E+03	8,55E+04	1,71E-02	9,87E+05	1,34E+03	7,45E-03	1,52E+02
Rede estruturada	4,41E+03	7,65E+04	1,43E-02	1,27E+06	1,91E+03	4,97E-03	1,71E+02
Climatização	1,55E+03	2,34E+04	5,67E-03	2,97E+05	5,17E+02	1,69E-03	5,94E+01
Sist. Adicionais	1,15E+02	3,48E+04	1,25E-03	3,10E+05	2,80E+01	3,25E-03	5,82E+00
A5	1,21E+02	1,82E+04	1,10E-04	3,47E+05	1,69E+01	3,58E-03	4,91E+00
B6	1,13E+04	1,82E+06	7,86E-03	1,56E+07	1,60E+03	1,03E-01	4,59E+02
B7	1,93E+02	2,69E+04	1,20E-02	2,83E+05	5,36E+01	2,30E-03	1,17E+01
C1	1,05E+01	1,08E+03	2,04E-05	1,05E+05	1,40E+00	1,35E-03	4,39E-01
C4	2,26E+02	3,56E+04	1,24E-03	8,20E+05	5,21E+01	9,56E-03	9,02E+00
Totais	2,66E+04	3,01E+06	4,26E-01	3,04E+07	7,00E+03	2,12E-01	1,22E+03
Totais por m²	3,21E+01	3,62E+03	5,13E-04	3,66E+04	8,42E+00	2,56E-04	1,46E+00
Totais por m²/ano	6,41E-01	7,24E+01	1,03E-05	7,31E+02	1,68E-01	5,11E-06	2,93E-02

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 22 - Resultados numéricos de impactos ambientais para todo o ciclo de vida do cenário alternativo F

Categorias de impacto	Acidific. de solo e água	Aquecim. global	Depl. de recursos abióticos – elem. não fósseis	Depl. de recursos abióticos – comb. fósseis	Eutrofização	Depleção da camada de ozônio	Ozônio fotoquímico
Sigla	AP	GWP	ADPnf	ADPf	EP	ODP	POCP
Unidade	kg SO2 eq.	kg CO2 eq.	kg Sb eq.	MJ	kg (PO4) ³⁻ eq.	kg CFC-11 eq.	kg Etileno eq.
Fundações	6,47E+01	1,31E+04	4,59E-04	1,49E+05	2,06E+01	1,41E-03	4,76E+00
Estruturas	4,75E+02	5,76E+04	3,20E-03	1,11E+06	1,61E+02	9,92E-03	3,87E+01
Pisos	4,11E+02	8,73E+04	4,13E-02	9,85E+05	9,94E+01	1,06E-02	2,46E+01
Vedações Vert. Int. e Externas	1,77E+02	5,87E+04	3,21E-02	5,30E+05	4,29E+01	3,93E-03	1,14E+01
Rev. Ved. e Fachadas	5,74E+02	1,58E+05	1,40E-01	1,46E+06	1,73E+02	1,27E-02	3,33E+01
Cobertura	9,60E+02	1,06E+05	1,45E-02	1,13E+06	3,56E+02	6,64E-03	6,05E+01
Esquadrias	1,39E+03	2,19E+05	6,09E-02	2,64E+06	3,86E+02	1,16E-02	8,62E+01
Pintura	4,13E+02	7,99E+04	2,14E-02	1,37E+06	1,42E+02	7,55E-03	5,55E+01
Inst. Hidrossan.	1,32E+02	3,50E+04	2,25E-02	4,49E+05	4,12E+01	6,28E-03	8,61E+00
PPCI	9,58E+01	6,12E+03	7,67E-04	6,49E+04	3,26E+01	3,95E-04	5,03E+00
Inst. Elétricas e SPDA	3,85E+03	8,55E+04	1,71E-02	9,87E+05	1,34E+03	7,45E-03	1,52E+02
Rede estruturada	4,41E+03	7,65E+04	1,43E-02	1,27E+06	1,91E+03	4,97E-03	1,71E+02
Climatização	1,55E+03	2,34E+04	5,67E-03	2,97E+05	5,17E+02	1,69E-03	5,94E+01
Sist. Adicionais	1,15E+02	3,48E+04	1,25E-03	3,10E+05	2,80E+01	3,25E-03	5,82E+00
A5	1,21E+02	1,82E+04	1,10E-04	3,47E+05	1,69E+01	3,58E-03	4,91E+00
B6	1,13E+04	1,82E+06	7,86E-03	1,56E+07	1,60E+03	1,03E-01	4,59E+02
B7	1,93E+02	2,69E+04	1,20E-02	2,83E+05	5,36E+01	2,30E-03	1,17E+01
C1	1,05E+01	1,08E+03	2,04E-05	1,05E+05	1,40E+00	1,35E-03	4,39E-01
C4	1,99E+02	3,13E+04	1,09E-03	7,22E+05	4,58E+01	8,42E-03	7,94E+00
Totais	2,65E+04	2,94E+06	3,97E-01	2,98E+07	6,96E+03	2,07E-01	1,20E+03
Totais por m²	3,19E+01	3,54E+03	4,77E-04	3,59E+04	8,37E+00	2,49E-04	1,45E+00
Totais por m²/ano	6,37E-01	7,08E+01	9,55E-06	7,18E+02	1,67E-01	4,98E-06	2,89E-02

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).