

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA,
URBANISMO E PAISAGISMO

Cássia Laire Kozloski

**EMISSÃO DE CO₂ DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO
BRASIL: ESTIMATIVAS NA ETAPA PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES**

Santa Maria, RS, Brasil
2020

Cássia Laire Kozloski

**EMISSÃO DE CO₂ DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL:
ESTIMATIVAS NA ETAPA PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.

Orientador: Prof. Marcos Alberto Oss Vaghetti

Santa Maria, RS, Brasil
2020

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Kozloski, Cássia Laire
Emissão de CO2 de materiais de construção civil no
Brasil: estimativas na etapa projetual de edificações /
Cássia Laire Kozloski.- 2020.
215 p.; 30 cm

Orientador: Marcos Alberto Oss Vaghetti
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, RS, 2020

1. Edificações 2. Carbono Incorporado 3. Revisão
Sistemática de Literatura 4. Ferramenta de Quantificação
Estimada I. Vaghetti, Marcos Alberto Oss II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, CÁSSIA LAIRE KOZLOSKI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

© 2020

Todos os direitos autorais reservados a Cássia Laire Kozloski. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. E-mail: cakozloski@gmail.com

Cássia Laire Kozloski

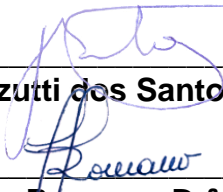
**EMIÇÃO DE CO₂ DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL:
ESTIMATIVAS NA ETAPA PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo**.


Aprovado em 14 de dezembro de 2020.



Prof. Marcos Alberto Oss Vaghetti, Dr. (UFSM) – Videoconferência
(Presidente/Orientador)



Prof. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos, Dr. (UFSM) – Videoconferência



Profª. Fabiane Vieira Romano, Drª. (UFSM) – Videoconferência



Profª. Andrea Parisi Kern, Drª. (UNISINOS) – Videoconferência

Santa Maria, RS, Brasil
2020

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcos Alberto Oss Vaghetti, agradeço a confiança e a coragem em ingressar em uma área até então nebulosa quando do início da pesquisa, por sua curiosidade e vontade na instigação de novos caminhos, pela orientação e por suas palavras de estímulo no decorrer desse período.

Agradeço intensamente aos meus pais, Gilberto Vilmar Kozloski e Rosane Aparecida Frozza Kozloski, pelo incansável apoio, e ao meu irmão Pedro Aléssio Kozloski, que contribuiu indiretamente em todo o meu processo de formação ao longo dos seus quase 15 anos.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, por possibilitar oportunidades a tantas pessoas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, fundamentais para a formação e abrindo novos caminhos a cada dia de diálogo, e aos colegas, sempre presentes, ainda que de modo virtual, principalmente durante esse difícil período de pandemia.

À CAPES, por intermédio da citada universidade, pelo incentivo ao período inicial da pesquisa.

E por fim, à todas as pessoas que participaram e auxiliaram em algum momento desse processo.



RESUMO

EMISSÃO DE CO₂ DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL: ESTIMATIVAS NA ETAPA PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES

AUTOR: Cássia Laire Kozloski

ORIENTADOR: Marcos Alberto Oss Vaghetti

O setor da construção civil está entre os grandes contribuintes para o aquecimento global, em função das emissões excessivas de dióxido de carbono (CO₂) por atividades humanas. Quanto às edificações, ações para mitigação dos impactos ambientais provocados ocorrem a nível mundial, tanto para a redução do uso energético como para emissões de gases do efeito estufa além da fase de operação, uma vez que os percentuais de energia e carbono incorporados têm aumentado com a evolução da eficiência térmica dos sistemas que compõem uma edificação. Nesse sentido, o presente trabalho busca identificar, por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), o contexto da produção acadêmico-científica e as abordagens utilizadas no Brasil ao que se refere às avaliações do carbono e energia incorporados das edificações, subsidiando o desenvolvimento de uma proposta de ferramenta que estima o carbono incorporado (CI) inicial e recorrente de materiais da construção civil, com foco para a utilização por profissionais da área em etapa projetual de edificações em Santa Maria, RS. A RSL foi realizada para o período de 2010 a 2020 no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES e em quatro bases de periódicos científicos internacionais. Pela análise das 96 publicações nacionais selecionadas, identificou-se uma realização majoritária de Avaliações do Ciclo de Vida (ACV) completa e modular, para as fronteiras de “berço ao portão” e “berço ao túmulo”, com uso de dados secundários e realização tímida de análise de sensibilidade e incertezas. Ainda, o uso de simplificações mostra-se mandatório para viabilizar tais avaliações em contrapartida a falta de dados regionalizados. No que tange à ferramenta, uma compilação de dados secundários nacionais e procedimentos de cálculo identificados durante a RSL foram utilizados para estimar o CI por material para a fronteira “berço ao portão”, e, foram utilizados dados primários a partir de levantamento local junto à estabelecimentos comerciais para identificação de materiais comercializados para a etapa “portão ao terreno”, subsidiando a proposta inicial de elaboração da ferramenta. A vida útil para edificações foi considerada de 50 anos, determinando as emissões recorrentes para reposição total de material, e os mesmos foram contemplados de acordo com a representatividade em massa e disponibilidade de dados nacionais. Desenvolvida no editor de planilhas Microsoft Excel, os materiais considerados foram

o aço, areia, argamassa industrializada, brita, bloco de concreto, cal, cimento, revestimento cerâmicos, telhas de cerâmica, de concreto e de fibrocimento, tijolo cerâmico, e uma composição para concreto moldado no local. Como exemplo de aplicação para validação da ferramenta, uma estimativa em obra-exemplo foi realizada considerando oito desses materiais, e o resultado das emissões, de 0,208 tCO₂ / m² da edificação, aproximadamente 88% do total quando em comparação a demais materiais para a mesma fronteira, se aproxima aos obtidos por outros autores. A proposta de ferramenta se mostrou eficiente de aplicação, principalmente para iniciar a consideração de questões sustentáveis ainda em etapa projetual, e os resultados da RSL contribuem para o entendimento das pesquisas nacionais sobre carbono e energia incorporados, podendo delinear novas investigações na área.

Palavras-chaves: Edificações. Carbono Incorporado. Revisão Sistemática de Literatura. Ferramenta de Quantificação Estimada.

ABSTRACT

ESTIMATED CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM CIVIL CONSTRUCTION MATERIALS IN BRAZIL DURING THE INITIAL STAGES OF DESIGN FOR SANTA MARIA -RS

Author: Cássia Laire Kozloski

Supervisor: Marcos Alberto Oss Vaghetti

The building construction sector is among the major contributors to global warming, due to excessive emissions of carbon dioxide (CO₂) by anthropogenic activities. As for buildings, actions to mitigate the environmental impacts caused occur worldwide, both for reducing energy use and for greenhouse gas emissions beyond the operation phase, since the contribution of embodied energy and carbon have increased with the evolution of the thermal efficiency of the systems that make up a building. In this sense, through a Systematic Literature Review (SLR), the present work seeks to identify the context of academic-scientific production and the approaches used in Brazil with regard to the assessments of carbon and energy incorporated in buildings. It leads to support the development of a proposal tool that estimates the initial and recurring embodied carbon (EC) of building construction materials, focusing on the use by professionals during the initial stages of design in Santa Maria, RS. The SLR was carried out for the period from 2010 to 2020 in the CAPES Thesis and Dissertations Catalog and in four international scientific journals bases. Through the analysis of 96 selected national publications, it has been identified a majority of complete and modular Life Cycle Assessments (LCA) carried out and for the borders of “cradle at the gate” and “cradle at the grave”, using secondary data and a timid sensitivity and uncertainty analysis. Moreover, the use os simplifications is mandatory to make such analisys and evaluations feasible, in contrast to the lack of regionalized data. Regarding the tool, a compilation of national secondary data and calculation procedures identified during RSL were used to estimate the CI by material for the “cradle to gate” boundary, and primary data were used from a local survey with commercial establishments for the “gate to ground” boundary, supporting the initial proposal for the elaboration of the tool. The buildings 50 years lifespan was considered, determining the recurring emissions for total replacement of material. These were covered according to the mass representativeness and availability of national data. Concerning the tool proposal, developed in the Microsoft Excel spreadsheet editor, the materials considered were steel, sand, industrialized mortar, gravel, concrete block,

lime, cement, ceramic tiles, ceramic, concrete and fiber cement tiles, ceramic brick, and a composition for concrete on site. As an application example for tool validation, an estimate in a specific building was carried out considering eight of these materials, and the emission result, 0.208 tCO₂ / m² of the building, approximately 88% of the total when compared to other materials for the same boundary, approaches those obtained by other authors. The tool proposal proved to be efficient in application, mainly to start considering sustainable issues at a design stage, while the SLR results contribute to the understanding of national research on embodied carbon and energy, being able to outline new investigations in the area.

Keywords: *Buildings. Embodied Carbon. Systematic Literature Review. Estimated Quantification Tool.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Emissões de GEE e as fases da construção.	46
Figura 2 – Matriz energética brasileira 2017.	48
Figura 3 – Matriz elétrica brasileira 2017.	49
Figura 4 – Quadro esquemático de categorias de impacto para modelagem de caracterização em níveis de ponto médio e de ponto final.	69
Figura 5 – Partes e componentes da edificação a serem avaliadas.	73
Figura 6 – Correlação entre etapas e fases do ciclo de vida de um produto (edificação) entre autores selecionados.	74
Figura 7 – Correlação entre etapas e fases de uma revisão sistemática entre autores selecionados.	92
Figura 8 – Definição dos estágios e etapas da revisão sistemática de literatura.	94
Figura 9 – Definição do protocolo de pesquisa.	96
Figura 10 – Estratégias de busca para o Portal de Teses e Dissertações da CAPES	97
Figura 11 – Estratégias de busca para a base Engineering Village	98
Figura 12 – Estratégias de busca para a base <i>Science Direct</i>	99
Figura 13 – Estratégias de busca para a base <i>Scopus</i>	100
Figura 14 – Estratégia de busca para a base <i>Web of Science</i>	100
Figura 15 – Critérios de elegibilidade para seleção dos estudos.	101
Figura 16 – Critérios de qualidade para seleção dos estudos.	102
Figura 17 – Dados a serem extraídos dos estudos selecionados de acordo com formulário definido.	103
Figura 18 – Diagrama de fluxo de seleção dos estudos.	105
Figura 19 – Evolução anual da produção científica – dissertações e teses – em instituições brasileiras no período de 2010 a 2020.	107

Figura 20 – Evolução anual da produção – artigos científicos – em periódicos no período de 2010 a 2020.	107
Figura 21– Frequência da produção – dissertações e teses – por instituições brasileiras no período de 2010 a 2020.	108
Figura 22 – Espacialização da produção científica – dissertações e teses- por estados brasileiros no período de 2010 a 2020.	109
Figura 23 – Frequência da produção científica – artigos – com autores de filiação em instituições brasileiras no período de 2010 a 2020.	110
Figura 24– Número absoluto de publicações – artigos científicos – por periódico .	111
Figura 25– Metodologias de avaliação utilizadas pela produção acadêmica entre 2010 e 2020.	113
Figura 26 – Metodologias de avaliação utilizadas por artigos científicos entre 2010 e 2020.	114
Figura 27 – Fronteiras do sistema consideradas para categorização e comparação dos estudos.....	116
Figura 28 – Fronteiras do sistema analisadas.	117
Figura 29– Utilização de método descritivo para avaliação de energia ou carbono embutidos.....	118
Figura 30 – Softwares, ferramentas ou plugings utilizados pelos trabalhos de análise não descritiva.	119
Figura 31 – Número e percentual de trabalhos em relação a consideração ou não da perda de materiais.....	120
Figura 32 – Vida útil considerada pelos estudos sem distinção de edificação ou material.	121
Figura 33 – Número de trabalhos e percentual quanto a realização de análise de sensibilidade.	122
Figura 34– Número de trabalhos e percentual quanto a realização de análise de incertezas.....	123
Figura 35 – Exemplo de diagrama de redes de fluxo – painel pré-moldado de concreto.	134
Figura 36 - Insumos energéticos para fabricação de materiais (%) e Energia Embutida (MJ/kg)	151
Figura 37 - Geração de CO ₂ por uso de fonte combustível.....	152

Figura 38 – Emissão de CO ₂ para a eletricidade	153
Figura 39 – Fator de emissão por material de acordo com metodologia de Tavares (2006).	153
Figura 40 - Fator de emissão de CO ₂ por material a partir de diversos autores.....	154
Figura 41 – Imagem gráfica da edificação a ser utilizada como objeto de estudo. .	168
Figura 42 – Página inicial da proposta de ferramenta para estimativas de emissões de CO ₂ de materiais da construção civil.	174
Figura 43 – Imagem do Menu Inicial da proposta de ferramenta para estimativas de emissões de CO ₂ de materiais da construção civil.	175
Figura 44 – Planilha de estimativa de emissões para o material Tijolo Cerâmico...	176
Figura 45 – Indicação dos dados a serem inseridos pelo usuário para estimativa de emissões de determinado material	177
Figura 46 – Valores definidos a partir da base de dados da ferramenta e das equações para cada tipo de emissão.....	177
Figura 47 – Quadro Resumo de Estimativa de Emissões de CO ₂	178
Figura 48 – Mapa de localização da obra-exemplo	180
Figura 49 – Participação da massa dos materiais no total da edificação	183
Figura 50 – Relação entre os percentuais de estimativas incorporadas iniciais com transporte e participação em massa	184
Figura 51 – Página inicial da proposta de ferramenta	265
Figura 52 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a areia	266
Figura 53 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o aço	267
Figura 54 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a brita	268
Figura 55– Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o revestimento cerâmico	269
Figura 56 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a telha cerâmica.	270
Figura 57 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o tijolo cerâmico .	271
Figura 58– Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o cimento	272
Figura 59 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a telha de fibrocimento	273

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – GWP no horizonte de 100 anos.....	53
Quadro 2 – Influência relativa dos GEE no efeito estufa natural da atmosfera terrestre e crescimento das concentrações atmosféricas por emissões antropogênicas..	54
Quadro 3 – Quadro-resumo das equações para o procedimento de cálculo de estimativa de CO ₂ dos materiais da construção em etapa de projeto.....	165
Quadro 4 – Materiais comercializados em Santa Maria, RS, e os fatores de emissão de CO ₂ atribuídos.....	171
Quadro 5 – Materiais, fornecedores e distâncias percorridas da fábrica até depósito de estabelecimento.....	172
Quadro 6 - Emissões da extração e processamento dos materiais e componentes	181
Quadro 7 – Formulário de extração de dados das publicações finais.	234

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentuais de perda por material	157
Tabela 2 – Consumo energético e emissões relacionadas ao transporte.	159
Tabela 3 – Vida útil de projeto mínima para os diferentes materiais e parte da edificação correspondente.....	163
Tabela 4 – Vida útil de projeto de sistemas.....	164
Tabela 5 – Características construtivas da edificação-exemplo.....	168
Tabela 6 – Quantitativo de materiais para a edificação-exemplo.	169
Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.217	
Tabela 8 – Artigos científicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.	226
Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.	235
Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.....	245
Tabela 11 – Origem dos materiais comercializados pelos estabelecimentos, rotas e distâncias.....	260

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACVE	Análise do Ciclo de Vida Energético
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
AL	América Latina
APO	Avaliação Pós-Ocupação
AQUA	Selo Casa Azul de Alta Qualidade Ambiental
BREEAM	Método de Avaliação Ambiental BRE (em Inglês: <i>BRE Environmental Assessment Method</i>)
CaO	Cal
CBAC	Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CFP	Pegada de Carbono de Produto (em inglês <i>Carbon Footprint of a Product</i>)
CH4	Metano
CI	Carbono Incorporado
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono (gás carbônico)
CO ₂ eq.	Dióxido de Carbono equivalente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Conferência entre as Partes (em inglês <i>Conference of the Parties</i>).
EE	Energia Embutida
EI	Energia Incorporada
EPD	Declaração Ambiental de Produto
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNMA	Fundo Nacional do Meio Ambiente

GEE	Gases do Efeito Estufa
GWP	Potencial de Aquecimento Global (em inglês <i>Global Warming Potential</i>)
HFCs	Hidrofluorcarbonetos
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IEA	Agência Internacional de Energia (em inglês <i>International Energy Agency</i>)
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ISO	Organização Internacional de Normatização (em inglês <i>International Organization for Standardization</i>)
LEED	Liderança em Energia e Design Ambiental (em inglês <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>)
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts (em inglês <i>Massachusetts Institute of Technology</i>)
N ₂ O	Óxido Nitroso
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
O ₃	Ozônio
PBACV	Programa Brasileiro de ACV
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PIUP	Processos Industriais e Uso de Produto
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNMC	Política Nacional sobre Mudanças do Clima
PNUMA -	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (em inglês <i>United Nations Environment Programme – UNEP</i>)
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SF ₆	Exafluoreto de Enxofre

SICV	Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais
SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
TCPO	Tabela de Composições e Preços para Orçamentos
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente
WMO	Organização Meteorológica Mundial (em inglês <i>World Meteorological Organization</i>)

SUMÁRIO

Introdução	31
1.1. Justificativa	32
1.2. Objetivos.....	35
1.2.1. Objetivo geral	35
1.2.2. Objetivos específicos.....	35
1.3. Delimitação	36
1.4. Estrutura do trabalho	36
Capítulo 2	39
Meio Ambiente e Construção Civil	39
2.1. Impacto Ambiental	40
2.1.1. Efeito Estufa	41
2.1.2. Emissões de CO ₂ e a Construção Civil.....	43
2.1.3. Matrizes Energéticas	48
2.1.4. Brasil e as emissões de CO ₂ a partir dos dados do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (BRASIL, 2017).....	49
2.2. Preocupação Ambiental, Normatizações e Acordos.....	51
2.2.1. Dióxido de Carbono Equivalente	52
2.2.2. Internacionais	54
2.2.2.1. Normas da Organização Internacional de Normatização ISO.....	58
2.2.3. Nacionais.....	62
2.3. Avaliação do Ciclo de Vida	65
2.3.1. Etapas do Ciclo de Vida	72
2.3.2. Simplificações.....	78
2.4. Energia e carbono incorporados.....	80
2.5. Contabilização de Emissões de GEE	82
2.5.1. Quantificação de GEE em edificações.....	84

Capítulo 3	89
Revisão Sistemática de Literatura	89
3.1. Construção Civil	91
3.2. Revisão Sistemática de Literatura como método de pesquisa.....	93
3.2.1. Planejamento	94
3.2.1.1. Identificação da necessidade de revisão	95
3.2.1.2. Definição do protocolo de revisão	95
3.2.2. Condução e Análise dos resultados.....	104
3.3. Investigação Bibliométrica.....	104
3.4. Avaliação de Conteúdo	112
3.4.1. Análise de dados extraídos por estatística descritiva	112
3.4.2. Revisão de conteúdo e análise crítica	124
3.4.2.1. Introdução.....	124
3.4.2.2. Análise energética	127
3.4.2.3. Carbono Incorporado.....	129
3.4.2.4. Nomenclatura, complexidade e dificuldades	131
3.4.2.5. Simplificações.....	136
3.4.2.6. Limitações	138
3.4.2.7. Regionalização de Dados.....	139
3.4.2.8. Transporte	142
3.4.2.9. Instalações	143
3.4.2.10. Materiais e Cortes	143
3.4.2.11. Conclusão da revisão de conteúdo e análise crítica.....	145
Capítulo 4	149
Proposta de Ferramenta para Quantificação Estimada de Carbono de Materiais da Construção Civil	149
4.1. Compilação de dados secundários para inserção na ferramenta	150
4.1.1. Procedimentos de Cálculo	154
4.1.1.1. Emissões pela extração, transporte e processamento	156
4.1.1.2. Emissões pelo desperdício	156
4.1.1.3. Emissões pelo transporte	158
4.1.1.4. Emissões recorrentes	162
4.1.2. Levantamento em empresas e estabelecimentos locais.....	166

4.1.3. A edificação.....	166
4.1.3.1. Quantitativos da edificação	169
4.2. Proposta de Ferramenta de quantificação estimada de CO ₂ (Carbono Incorporado) para materiais da construção civil na região central do Rio Grande do Sul.....	170
4.2.1. Dados secundários de fatores de emissão.....	170
4.2.2. Levantamento local	171
4.2.3. Estruturação e apresentação da proposta de ferramenta	173
4.2.4. Emissões estimadas da edificação-exemplo pela proposta de ferramenta.....	179
4.2.4.1. Localização da obra e transporte entre estabelecimentos comerciais.....	179
4.2.4.2. Estimativas de emissões de CO ₂ por meio da ferramenta	181
Capítulo 5	187
Considerações Finais	187
Referências	193
Apêndice A.....	217
Apêndice B.....	233
Apêndice C.....	235
Apêndice D.....	245
Apêndice E.....	253
Apêndice F	259
Apêndice G	265

INTRODUÇÃO

A preocupação com os impactos ambientais e a sustentabilidade, em suas três grandes esferas (social, econômica e ambiental), ganhou ênfase a partir da década de 1980, quando a influência antrópica nas mudanças climáticas se tornou um dos objetos de estudo do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*), criado em 1988 pela Organização das Nações Unidas (ONU) (FUJIHARA; LOPES, 2009). Sete anos depois, a preocupação extrema com os impactos ambientais levou ao surgimento do Protocolo de Quioto, criado em 1997 durante a Convenção-Quadro das Nações Unidas, quando mais de 30 países se comprometeram a diminuir a emissão de gases causadores do processo de aquecimento global (BRASIL, 2018a).

Grande parte dessas preocupações derivam do efeito estufa, que, apesar de ser um efeito natural e fundamental para a manutenção da vida na Terra, tem se tornado uma ameaça para todas as espécies vivas, uma vez que há um aumento excessivo da concentração dos gases desse efeito, e, conseqüentemente, da temperatura do planeta (FUJIHARA; LOPES, 2009). Esse aquecimento da Terra tem influência direta da concentração de um desses gases em específico, o dióxido de carbono (CO₂), responsável por aproximadamente 70% do aquecimento do planeta (IPCC, 2013a).

Em decorrência disso e do atual movimento de crescimento no uso energético e conseqüente aumento de emissões (GLOBALABC; IEA; UNEP, 2019), nos últimos anos se percebe uma tendência mundial no desenvolvimento de métodos de avaliação e análise para a quantificação desses gases, em especial o CO₂, e os posteriores impactos ao meio ambiente de produtos, processos e, mais recentemente, para edificações. Em geral, esses métodos, transformados também em ferramentas, possuem como base teórica a ideia de que os impactos são derivados dos resultados, chamados de saídas, de uma cadeia de processos de transformação de qualquer

material, sistema ou objeto, que constituem, junto a um conjunto de dados, as entradas.

Nesse contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV, em inglês *Life Cycle Assessment – LCA*) surge na década de 1990 como um dos principais métodos de quantificar os gastos energéticos e emissões de gases relativos ao efeito estufa do ciclo de vida de produtos e processos (ANAND; AMOR, 2016; RÖCK et al., 2020). Além dela, a abordagem recomendada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) é internacionalmente reconhecida e aceita, utilizada como gênese para diversas outras metodologias de avaliação ambiental e de impactos, estando a ACV em consonância com a mesma.

Longe de serem metodologias e ferramentas de simples aplicação, as limitações para a difusão das avaliações ambientais para o setor da construção civil no Brasil vão desde a falta de um banco de dados consolidado para uso por pesquisadores da área e empresas até as lentas investidas do Estado ao setor industrial do país, postergando uma obrigatoriedade necessária sobre as implicações do sistema aos impactos gerados.

1.1. JUSTIFICATIVA

Consideradas como fundamental para o desenvolvimento da economia de qualquer região e nação, as indústrias da construção civil, junto ao ambiente construído, exercem forte pressão sobre os recursos naturais (MUNARO; TAVARES; BRAGANÇA, 2020). Para Röck et al. (2020), os edifícios são grandes contribuintes para a crise climática, uma vez que são os maiores emissores de gases do efeito estufa (GEE) considerando seu ciclo de vida.

Essa afirmação tem respaldo nas estimativas mundiais de 2018 de que o setor da construção e as edificações são responsáveis por aproximadamente 36% do uso final de energia e por 39% das emissões de CO₂ relacionadas a processos e energia (GLOBALABC; IEA; UNEP, 2019). Desses 39%, 11% correspondem aos processos de manufatura do aço, cimento e vidro, e 31% a outras indústrias da construção, sendo ainda o transporte responsável por 23% (GLOBALABC; IEA; UNEP, 2019).

Em 2010, Ramesh, Prakash e Shukla (2010) afirmaram que até 80% do uso energético de uma edificação correspondia ao período de operação, enquanto que o restante era atribuído à energia incorporada inicial e recorrente. Entretanto, essa relação vem se alterando na medida em que os avanços tecnológicos em materiais e sistemas mais eficientes do ponto de vista térmico são aplicados nas edificações, tendência já em regiões europeias e que poderão ganhar maior mercado em breve no Brasil. Nesses casos de edificações de alta performance energética, Röck et al. (2020) apontam que até metade da energia total pode corresponder à incorporada, podendo ultrapassar os 90% em projetos extremos.

Por isso, Pomponi, De Wolf e Moncaster (2018) argumentam que, embora a energia e carbono incorporados¹ sejam, de certa forma, desconhecidos e sua importância tenha sido recentemente reconhecida, a atenção única e majoritária às questões operacionais da edificação deve ser revista. Os autores defendem que a desconsideração dos impactos incorporados pode levar a um aumento de impacto a curto prazo, culminando na perda de todos os esforços realizados anteriormente para o período de uso da edificação (POMPONI; DE WOLF; MONSCASTER, 2018).

Ainda, já estabelecidas as questões incorporadas da edificação como tema central quanto aos impactos ao ambiente, o relatório da Bionova (2018) indica que as decisões relativas aos incorporados são mais eficientes e econômicas quando trabalhadas nas fases iniciais de projeto, limitando e delineando o processo projetual. Dessa forma, na medida em que o projeto se aproxima do fim, mesmo antes da aprovação pelos órgãos públicos responsáveis, o custo das mudanças é mais alto, em contrapartida, a oportunidade de redução de impactos se torna mais limitada.

Por processo projetual entende-se todo e qualquer serviço que resulta em soluções para a edificação, desde a etapa de planejamento até as manutenções durante a operação da mesma (ROMANO, 2003). Logo, as fases iniciais de projeto estão atreladas a etapa de planejamento, de elaboração de projetos e preparação para a execução, sendo enfatizada pelo presente trabalho a etapa de elaboração de projetos, durante a qual a escolha de materiais e a especificação de componentes é

¹ Descritos no item 2.4, Energia Incorporada (EI) é aquela obtida da energia primária consumida durante o ciclo de vida de um produto ou material (HAMMOND; JONES, 2008). Já o carbono incorporado é oriundo das emissões liberadas durante esse ciclo de vida (HAMMOND; JONES, 2008), e está associado ao consumo de energia incorporada e aos processos químicos (YOKOO; YOKOYAMA, 2016).

executada (ROMANO, 2003), mas não esquecendo das intenções de projeto, durante o planejamento, onde pensar a materialização é fundamental para a definição do conceito arquitetônico.

Nesse sentido, percebe-se uma deficiência quanto a aplicação de métodos de estimativas de emissões de GEE e avaliações ambientais, como a ACV no Brasil no setor da construção civil. A baixa adesão do setor industrial dos materiais de construção à iniciativas de avaliação de impactos ambiental resulta na quase nula disponibilidade de dados nacionais e regionais oficiais, que, por consequência, dificulta a realização dessas avaliações em suas derivações, como em edificações.

Os procedimentos mais comuns realizados por pesquisadores da área são a coleta de dados secundários, ou seja, da literatura, quando muitas vezes é necessário recorrer a banco de dados internacionais e para a tentativa de levantamento no local de produção do material ou sistema que se quer avaliar. Essa última ação, além de demandar tempo de acompanhamento dos processos junto às empresas, geralmente culminam em dados omitidos de relatórios, a fim de preservar a identidade da empresa em contrapartida a possíveis resultados negativos.

Logo, a não difusão normatizada desses dados específicos de empresas locais, da necessidade de avaliações de impacto ambiental e complexa exequibilidade das avaliações influencia a atuação dos profissionais da área, que pouco executam ações desse tipo durante o processo de projeto e escolha de materiais para a obra. Outra dificuldade encontra-se na comparação de resultados dessas avaliações, uma vez que cada região ou país tende a adotar metodologias diversificadas, com banco de dados próprios e muitas vezes utilizando unidades de medida e unidades funcionais de avaliação distintos, um obstáculo já reconhecido (PASANEN; CASTRO, 2019).

Assim, o problema de pesquisa apresenta-se como: qual o atual estado de realização das avaliações ambientais no âmbito da edificação no Brasil, em específico aquelas que analisam a energia e emissões incorporados; e como os profissionais projetistas do setor da construção civil podem incorporar, mesmo que de modo introdutório, avaliações ambientais, especificamente emissões de CO₂, durante o processo de projeto?

1.2. OBJETIVOS

A partir do problema de pesquisa, delimitou-se o objetivo geral e os específicos a serem atendidos com o desenvolvimento do presente trabalho.

1.2.1. Objetivo geral

Investigar o panorama da quantificação das emissões de CO₂ e energia incorporados de materiais da construção civil no Brasil com direcionamento ao desenvolvimento de ferramenta auxiliar aos profissionais para incorporação da sustentabilidade ambiental através da estimativa de CO₂ definida a partir de um RSL durante a etapa de projeto de edificações.

1.2.2. Objetivos específicos

A pesquisa possui os seguintes objetivos específicos:

- Identificar o panorama das publicações brasileiras e investigar as abordagens teóricas quanto a quantificação de emissões de CO₂ e energia incorporados em edificações por perspectiva bibliométrica, com ênfase para as metodologias e dados utilizados.
- Desenvolver a estruturação de ferramenta de quantificação estimada de CO₂ dos materiais de construção para aplicação por profissionais durante a etapa projetual de edificações em Santa Maira, região central do Rio Grande do Sul.

1.3. DELIMITAÇÃO

São abordadas as estimativas de emissões para os materiais considerados usuais nas práticas da construção civil residencial brasileira, e configuram uma das delimitações da pesquisa, uma vez que a maioria dos materiais inovadores e com maior tecnologia empregada durante a manufatura, e, ainda, de introdução embrionária nas práticas do setor e não aplicados comumente à edificações residenciais da região, carecem de dados nacionais dentro do tema.

Além disso, se considerou os materiais de composição disponíveis em massa no mercado, como o cimento sem a substituição do clínquer por outros materiais testados em pesquisas, como vegetais ou polímeros. Isso deve ser evidenciado em função da existência de diversas pesquisas recentes que estimam as emissões de novas composições de diversos materiais, tanto para o cimento como para telhas de fibrocimento e diferentes tipos de sistemas de vedação vertical.

Por último, ainda que com abordagem prematura em relação ao desenvolvimento seguinte do trabalho, é conveniente destacar como limitação que a ação de estimar emissões de GEE, como o CO₂, não está subordinada ao desenvolvimento de uma avaliação do ciclo de vida e suas ramificações, uma vez que não se atém à análise de categorias de impacto. No entanto, faz uso de características, indicações de condução e procedimentos desse tipo de avaliação, a exemplo da definição de fronteiras temporais analisadas.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos temáticos, descritos a seguir.

O atual **Capítulo 1** introduz o tema de pesquisa e a problemática identificada a partir da justificativa de desenvolvimento do trabalho, bem como os objetivos – geral e específicos-, e a delimitação da pesquisa.

O **Capítulo 2** apresenta a fundamentação teórica, a partir de uma breve conceituação sobre impactos ambientais e sua relação com a construção civil, com

ênfase às emissões de CO₂ pelo setor, seguida pela apresentação de normatizações nacionais e internacionais selecionadas referentes a temática, e por fim métodos de quantificação desses impactos com foco nas emissões – ACV e variações entre outras técnicas.

No **Capítulo 3**, considerando o problema de pesquisa indicado anteriormente e as definições e embasamento a partir da revisão bibliográfica, é apresentada e descrita minuciosamente a operacionalização de uma Revisão Sistemática de Literatura, através do planejamento e condução da mesma. Os resultados provenientes dessa etapa metodológica da pesquisa, com a análise quantitativa por estatística descritiva das características bibliométricas das publicações e, em sequência, do conteúdo científico, e, posteriormente a análise crítica e qualitativa desse conteúdo, são apresentados nesse capítulo.

Assim, com o respaldo dos resultados encontrados no capítulo 3, o **Capítulo 4** expõe os procedimentos para a construção da proposta de ferramenta de estimativa de CO₂ para materiais específicos da construção civil, destinada, nesse momento, ao município de Santa Maria, RS. Em seguida, são apresentados os resultados dessa última etapa metodológica, por meio da exemplificação de aplicação da proposta de ferramenta desenvolvida em um editor de planilhas para uma obra-exemplo previamente selecionada, e a discussão de valores resultantes obtidos.

Por fim, o **Capítulo 5** se atém às considerações finais da pesquisa, destacando as contribuições da mesma, as limitações encontradas e observações acerca dos desdobramentos para sua integralização, bem como indicações para continuação da construção da proposta de ferramenta apresentada e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

MEIO AMBIENTE E CONSTRUÇÃO CIVIL

De forma inquestionável, o ambiente natural é alterado pelas ações humanas na paisagem (KAROLIDES, 2011), seja para o crescimento urbano, extração de matéria prima ou intenso uso da terra. Essas alterações se intensificaram com o aumento demográfico mundial, desenvolvimento de novas tecnologias e novos meios de produção, sendo inevitável o desgaste e degradação dos recursos e espaços naturais.

Entretanto, o desenvolvimento de novos meios de produção, enfaticamente a Revolução Industrial no século XVIII, alterou o modo de vida da sociedade, intensificando as atividades fabris com o uso de combustíveis fósseis como energético dos maquinários (VICENTINO; DORIGO, 2013). Atualmente, apesar do reconhecido desenvolvimento econômico, e alterações cultural e social significativas promovidas pelas mudanças daquela época, com as atividades sequentes até os dias de hoje, as consequências ambientais são largamente percebidas, principalmente no sistema climático da Terra.

Em 2007, o IPCC indicava que as ações humanas no planeta possuíam forte influência no aumento das concentrações dos GEE (IPCC, 2007), teoria comprovada pelo mesmo grupo em 2014 (IPCC, 2015). De acordo com o IPCC (2019), o aquecimento global induzido por atividades humanas aproxima-se de 1°C acima dos níveis pré-industriais, com um acréscimo na temperatura de aproximadamente 0,2°C a cada dez anos.

O aquecimento global é definido pelo IPCC (2019) como “um aumento nas temperaturas combinadas da superfície do ar e da superfície do mar em média ao longo do globo e ao longo de um período de 30 anos” (p. 51, tradução nossa). Esse aquecimento é considerado o responsável pelas mudanças climáticas, definidas como aquelas identificáveis no estado do clima, como as mudanças nas médias

climáticas ou variação de propriedades relacionadas ao clima, e que se mantêm geralmente por mais de uma década (IPCC, 2018).

Os impactos ambientais resultantes desses fenômenos, em ascensão desde a era industrial e perceptíveis com maior ênfase nas últimas décadas, não possuem limites territoriais, e as consequências ocorrem em todos os locais do planeta. A preocupação com essas alterações climáticas têm se tornado pauta para novas decisões de Estados, que, além da influência nas condições vitais, dependem dos recursos naturais para a manutenção da economia (BRASIL, 2009a).

Nesse sentido, ao mesmo tempo em que o mercado da construção civil constitui a base do desenvolvimento sustentável, a partir da criação de novos empregos, desenvolvimento local, relações sociais, acesso à água, energia e novos ambientes, também é um dos setores que mais degrada o meio ambiente, devido ao uso da terra, geração de resíduos, uso exacerbado da água e à extração de materiais (UNEP, 2009).

2.1. IMPACTO AMBIENTAL

Em 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) definiu como impacto ambiental “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas” (BRASIL, 2012, p. 922), afetando os seres vivos, as atividades sociais e econômicas, os recursos ambientais e condições estéticas e sanitárias do meio natural e a saúde, segurança e bem-estar da população.

Essa definição é apresentada pela ONU de forma muito similar à de mudanças climáticas, definida durante a Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) em 1992, de ser:

A mudança do clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que altere a composição da atmosfera mundial e que se soma àquela provocada pela variabilidade natural do clima observada ao longo de períodos comparáveis (BRASIL, 2009a, p. 77).

Essa alteração da composição da atmosfera e propriedades do meio ambiente, intensificadas pelas atividades antropogênicas, aquelas resultantes da ação humana, dão suporte à incerteza da capacidade produtiva do planeta, como a agricultura, sicultura, pecuária, principalmente pela crescente demanda dessas matérias em função do aumento populacional e elevação dos padrões de consumo (BRASIL, 2015a, p. 43). Nesse sentido, considera-se de importância vital a constituição de uma agenda socioambiental responsável, que verifique os padrões de produção e consumo e modelos econômicos no que diz respeito à sustentabilidade.

Recebendo influência direta do setor da construção civil, a intensificação do efeito estufa, dada pelo aquecimento global, é entendida como um dos impactos ambientais mais influentes no equilíbrio do sistema terrestre. Logo, surge no setor da construção civil, em específico de edificações, estudos que alertam para a necessidade dessa agenda socioambiental responsável, priorizando as ações que dizem respeito ao consumo excessivo de energia e alterações atmosféricas causadas pelos processos que envolvem o setor.

2.1.1. Efeito Estufa

Fundamental para a existência da vida na Terra, o efeito estufa é um fenômeno natural, causado pela irradiação para a superfície de parte da energia infravermelha absorvida por gases presentes na atmosfera, resultando em um aquecimento aproximado de 30°C a 33°C da superfície terrestre (NOBRE; REID; VEIGA, 2012; SILVA; PAULA, 2009). Entre esses gases, as concentrações que são diretamente afetadas por atividades antropogênicas são os clorofluorcarbonetos (CFCs), responsáveis pela redução da camada de ozônio, o metano (CH₄), altamente inflamável, ozônio (O₃) troposférico, tóxico em altas concentrações, óxido nitroso (N₂O), regulador do ozônio estratosférico, e, com o maior efeito radioativo, o dióxido de carbono (CO₂) (IPCC, 1990).

Já o vapor de água, o mais importante GEE natural, responsável por 20°C do aquecimento necessário do planeta, não está relacionado às atividades humanas (NOBRE; REID; VEIGA, 2012; IPCC, 1990). Entretanto, o aumento de sua

concentração na atmosfera atribui-se como resposta ao aquecimento global, intensificando esse efeito (IPCC, 1990).

Como um fenômeno climático de larga extensão, o aquecimento global pode ser causado por fatores internos, como variações da atividade solar, movimentações tectônicas e composição físico-química da atmosfera; e fatores externos, antropogênicos, como a queima de combustíveis fósseis (SILVA; PAULA, 2009). Por sua vez, a principal consequência ambiental da combustão de petróleo, gás natural e carvão é a emissão de gases compostos de carbono, como o monóxido de carbono (CO) e o CO₂.

Em 2018, Le Quéré et al. (2018), indicaram que aproximadamente 90% das emissões mundiais de CO₂ resultavam dos processos de queima dos combustíveis fósseis e da produção de cimento. De acordo com os autores, estima-se que, atualmente, o sequestro de CO₂ pelo solo e oceano está em crescimento, assim como as emissões (LE QUÉRÉ et al., 2018). Entretanto, pressupõe-se que as mudanças climáticas possam alterar o ciclo natural do carbono, contribuindo para um aumento excessivo da presença desse gás na atmosfera (LE QUÉRÉ et al., 2018).

Segundo Nobre, Reid e Veiga (2012), desde a era industrial, houve um crescimento de 36% da concentração atmosférica de CO₂. Esse aumento vem causando a acidificação e aquecimento do oceano, que pela indução do ecossistema ao equilíbrio, tem absorvido aproximadamente 30% das emissões antropogênicas de CO₂ (IPCC, 2014a; 2014b).

Recentemente, o relatório do IPCC (2019) alertou para a necessidade de limitar o aquecimento global em 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, diferente do que o documento anterior havia sugerido como seguro (2°C). Para os pesquisadores, os riscos e impactos ambientais futuros seriam reduzidos, principalmente no que se refere ao nível de oxigenação do oceano, de influência direta em todos os ecossistemas, resultando na minimização de impactos ambientais, sociais, culturais e econômicos (IPCC, 2019).

Para que esse aumento de temperatura seja limitado, é necessária a participação dos diversos setores de todos os Estados no processo de mitigação dos impactos ambientais, principalmente quanto às emissões responsáveis pela intensificação da concentração dos GEE. Dentre esses setores, destacam-se aqueles que fazem uso de recursos naturais para suas atividades, como os de energia,

transporte, indústrias e processos produtivos em geral, incluindo o setor da construção civil.

2.1.2. Emissões de CO₂ e a Construção Civil

No setor da construção civil de edificações, as emissões de GEE estão vinculadas às etapas de pré-uso da edificação, com a extração de matéria prima, transporte e processo de transformação; de uso, pela utilização de energia elétrica para funcionamento de equipamentos e eletrodomésticos, além de manutenção e reformas; e pós-uso, com o desmanche, descarte ou reutilização dos materiais. Dessa forma, as emissões, assim como o consumo energético, estão atreladas a todas as etapas do ciclo de vida de uma construção (TAVARES, 2006).

Entretanto, a literatura e órgãos governamentais têm demonstrado preocupação quanto ao uso intenso da energia elétrica pelas edificações, considerando somente a etapa de uso da mesma (PBMC, 2016). Isso é explicado porque, de acordo com Sartori e Hestnes (2007), a demanda por energia em uma edificação ocorre preponderantemente na fase de operação, correspondendo a 80-90% da energia total consumida durante o ciclo de vida (RAMESH; PRAKASH.; SHUKLA, 2010), percentuais já alterados dependendo das características da edificação, como antes comentado.

Em 2007, tanto nos países desenvolvidos como em desenvolvimento, o consumo de energia por edificações era estimado entre 30% a 40% do uso total (UNEP, 2009). Já em 2014, o IPCC (2014c) indicou que as edificações eram responsáveis por aproximadamente 32% do uso final de energia global, sendo 24% para uso residencial, e por 19% das emissões de gases do efeito estufa relacionados ao uso de energia (incluindo eletricidade). Hoje, esses percentuais se encontram em 36% do uso final de energia e 39% das emissões de dióxido de carbono (GLOBALABC; IEA; UNEP, 2019).

De acordo com o relatório, esses percentuais tendem a aumentar caso sejam mantidas as tendências relacionadas à habitação dos últimos anos, como o maior acesso à energia, residências e eletrodomésticos adequados, principalmente nos

países desenvolvidos e em desenvolvimento, além do crescimento populacional, migração para as cidades e mudanças no estilo de vida da população (IPCC, 2014). Nas edificações brasileiras, essa porcentagem pode aumentar devido a não adaptação das mesmas aos requisitos da norma brasileira NBR 15.575 – Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013; PBMC, 2016).

Em 2008, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, em inglês *United Nations Environment Programme* - UNEP (2008) demonstrou que a categoria correspondente à edificações apresentava o maior potencial de mitigação, principalmente no que diz respeito à redução de usos energéticos no setor, com um custo baixo. Esse potencial foi atribuído principalmente à fase de uso da construção, não sendo a fase de pré-utilização abordada com nitidez.

Dentre as medidas de mitigação, o relatório do IPCC (2014c) indica a diminuição do uso de energia pelos sistemas de refrigeração e aquecimento, substituindo os existentes por aparelhos mais eficientes, além do incentivo à produção de energia local. Ainda, os hábitos e comportamento do usuário devem ser alterados para que essa redução seja efetiva (IPCC, 2007).

De acordo com o PNUMA (UNEP, 2009) e Ramesh, Prakash e Shukla, (2010), o consumo de energia de uma edificação depende do seu tipo, da localização climática e também do nível de desenvolvimento do país. O fato de a maioria das edificações brasileiras estarem em desacordo com as recomendações da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) quanto aos requisitos de características térmicas faz com que o usuário adapte a construção para o conforto por meio da energia elétrica.

Deeke (2009) ressalta a relação direta entre o índice de crescimento econômico de uma região e as emissões de CO₂ intrínsecas ao consumo energético. Segundo o autor, quando o desenvolvimento tecnológico e cultural não acompanham o desenvolvimento econômico, as emissões de GEE podem ser superiores àquelas estimadas (DEEKE, 2009).

Entretanto, apesar de receber pouca atenção dos órgãos públicos, principalmente por há poucos anos corresponder a um baixo percentual, de 10% a 20% da energia consumida durante todo o ciclo de vida da edificação, a energia incorporada tem significativo potencial de redução (RAMESH; PRAKASH.; SHUKLA, 2010). A simples troca de alguns materiais, fornecedores ou sistemas construtivos

podem resultar em uma diminuição significativa do consumo energético dessa etapa, podendo ser intensificada na mudança dos processos de produção.

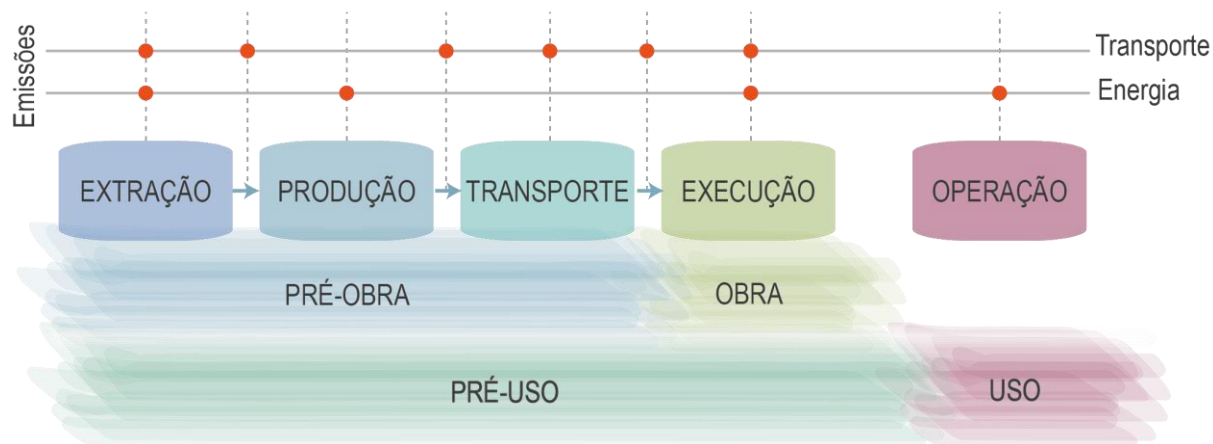
De acordo com Tavares (2006, p. 20), a energia embutida (EE), seja, energia incorporada (EI), corresponde ao “conjunto dos insumos energéticos para a fabricação de materiais e seu transporte e outros insumos indiretos”. Em 1992, Marcaró e Mascaró (1992) identificaram que aproximadamente 96% de toda a energia consumida na fase de produção de uma edificação habitacional referia-se à fabricação dos materiais e produtos, sendo o restante utilizado pelo transporte, colocação de materiais em obra e movimentações do terreno.

Da mesma forma, Abreu (2012) indica que o consumo de energia na construção civil pelas etapas de extração de materiais, fabricação, transporte e processamento de insumos é bastante expressivo, contribuindo para o aquecimento do planeta e para a poluição do ar. O autor aponta a ineficiência dos modelos de produção e consumo do setor, com a utilização de processos ultrapassados, se apresentando de encontro aos princípios da construção sustentável, tanto nas dimensões ambiental e econômica como na cultural e social (ABREU, 2012).

O setor da construção civil é responsável por uma grande quantidade da extração e processamento de matéria prima no mundo através do uso de combustíveis fósseis, atribuindo aos produtos resultantes uma quantidade significativa de energia incorporada, como o alumínio, cimento e aço (UNEP, 2009). Assim, esses materiais apresentam índices elevados e de grande contribuição no que diz respeito a emissões de CO₂. A Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) estima que, no ano de 2018, 11% do total de emissões da construção civil e 6% do uso final de energia resultavam do processo de manufatura do aço, cimento e vidro (GLOBALABC; IEA; UNEP, 2019).

De acordo com Costa (2012), as emissões de CO₂ dos materiais de construção se relacionam diretamente com a quantidade de energia não renovável consumida para a fabricação do mesmo (seja, energia incorporada), estando a sustentabilidade na construção civil inseparável da ecologia industrial (DEEKE, 2009). A Figura 1 demonstra de forma genérica a alocação temporal das fontes dominantes de emissões de GEE durante as fases de pré-uso e uso da edificação.

Figura 1 – Emissões de GEE e as fases da construção.



Fonte: Autores.

De todas as emissões antropogênicas de CO₂, estima-se que a indústria do cimento contribui em 5%, sendo mais da metade desse percentual devido à alterações químicas da matéria prima e aproximadamente 40% à combustão (UNEP, 2009; KRUSE, 2004). Kruse (2004) indica a adoção de três medidas para a diminuição dessas emissões de CO₂: diminuição da porcentagem de clínquer na composição do cimento; aumento da eficiência das fontes energéticas; e a utilização de fontes energéticas alternativas.

A redução de clínquer, principal matéria prima da fabricação do cimento, é sugerida devido à quantidade de energia elétrica e queima de combustível gastos para sua produção e aos elementos resultantes de sua combustão. O processo de calcinação do calcário e da dolomita produzem a cal (CaO) e CO₂, liberado para a atmosfera, e a produção, apesar de em ritmo desacelerado desde 2012, estava se mantendo crescente (IEMA, 2015).

O relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) de 2014 sugere a incorporação de adições ao cimento para que a porcentagem de clínquer seja reduzida, considerando que esse produto é o maior consumidor de energia durante o processo de produção (PBMC, 2014). Segundo o PBMC (2014), poderia-se evitar a emissão de aproximadamente 9 quilogramas de CO₂ por tonelada de clínquer caso houvesse um aumento de 4% no uso de adições.

Desse modo, percebe-se que a redução da EI, e conseqüentemente do carbono incorporado (CI), na edificação depende de mudanças e desenvolvimento na indústria (FRANÇA, 2016), com o aumento do uso de energias renováveis e sistemas mais eficientes de processamento de matéria prima. Salgado (2011) ressalta que, além das soluções projetuais e escolha de materiais com baixas emissões de GEE, as soluções tecnológicas para a fase de construção são fundamentais, com a utilização de sistemas de menor impacto socioambiental e alternativas construtivas quanto às usuais.

Isso se dá, por exemplo, com o uso de materiais alternativos de baixo impacto ambiental. Esses materiais possuem menor energia incorporada devido a fatores como a menor demanda de processamento industrial, fabricação em locais próximos à obra, maior duração da vida útil ou a capacidade de reuso ou reciclagem. Da mesma forma, o reuso de materiais com grande energia incorporada, como o aço inoxidável, reduz o impacto durante o seu ciclo de vida, prolongando sua utilidade (UNEP, 2007).

O IPCC (2014c) evidencia a importância de considerar a EI e CI dos materiais em locais de grande crescimento no mercado da construção civil, e afirma que a disponibilidade de materiais acessíveis com baixa energia e carbono incorporados pode reduzir significativamente as emissões nos países em desenvolvimento. Em conjunto com medidas de uso racional da energia durante a fase de utilização de um imóvel, as emissões de GEE podem ser reduzidas durante todo ciclo de vida da edificação, considerando ainda decisões sustentáveis na fase de pós uso.

Essas emissões podem ser estimadas, por exemplo, através da ACV, descrita por Ramesh, Prakash e Shukla (2010) como um processo de quantificação e avaliação dos fluxos de energia e materiais. No caso da construção civil, esse processo requer o desenvolvimento de inventário para três estágios, sendo o pré-uso o primeiro, composto pela análise das etapas de extração, produção e transporte de materiais e execução da obra; uso e operação o segundo; demolição e descarte o último.

Para o autor, a diversidade de materiais disponíveis para a construção civil e a escala industrial envolvida no processo de fabricação, bem como os impactos ambientais gerados por esse processo, constituem a limitação da aplicação da ACV para o setor (RAMESH; PRAKASH.; SHUKLA, 2010). Além disso, a falta de padronização na manufatura dos produtos e os dados limitados quanto aos impactos

ambientais na indústria da construção firmam a complexidade do processo (RAMESH; PRAKASH.; SHUKLA, 2010).

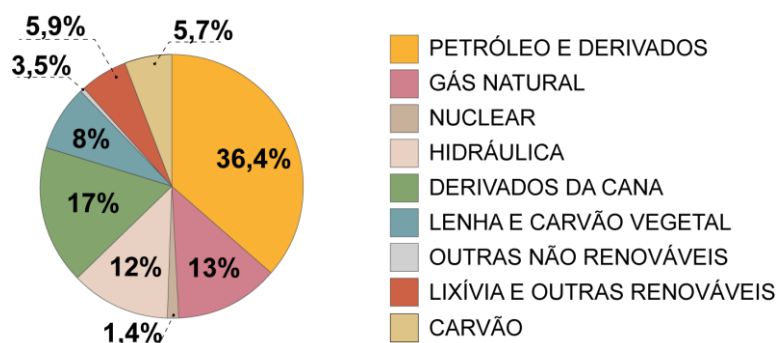
Ainda, a EI de um mesmo material produzido em diferentes locais pode variar em um grande intervalo, devendo-se considerar o contexto local de fabricação e o histórico da matéria prima (UNEP, 2007). Isso se deve ao fato de que os países possuem diferentes matrizes energéticas, e, dentro de um mesmo país, variados meios de transporte para a matéria prima e diversos processos de manufatura.

Entre as principais medidas de mitigação dos impactos ambientais no setor da construção civil estão o desenvolvimento de materiais mais duráveis dos que os existentes atualmente no mercado, e o uso de processos produtivos que dependam menos dos recursos naturais e uso reduzido de energia (COSTA, 2012).

2.1.3. Matrizes Energéticas

Na matriz energética brasileira, assim como na mundial, o consumo de fontes não renováveis é superior ao de renováveis, principalmente pelo uso de petróleo e derivados (Figura 2). Entretanto, as fontes disponíveis estritamente para a geração de energia elétrica, ou seja, a matriz elétrica, contabilizam mais de 80% de origem renovável (Figura 3), enquanto que no cenário mundial, essas fontes representam somente 24% do total (BRASIL, 2018b; IEA, 2018).

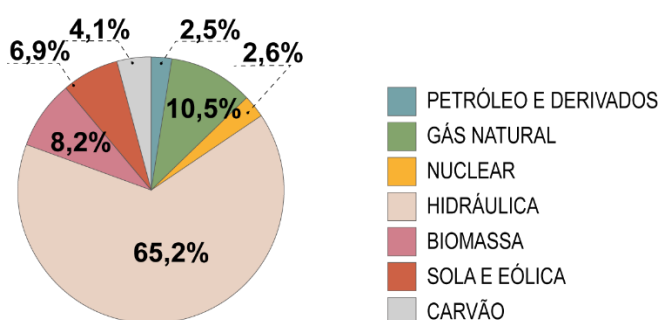
Figura 2 – Matriz energética brasileira 2017.



Fonte: adaptado de Brasil (2018b).

Em relação às emissões antropogênicas de CO₂ relacionadas à matriz energética brasileira, das 435,80 MtCO₂-eq em 2017, o setor de transporte responde à 45,8%, as atividades industriais à 18,9% e as residências por 4,3%, registrando um aumento total de 1,6% comparado às emissões de 2016 (IEA, 2018 apud BRASIL, 2018b). Dessa forma, apesar dos incentivos e ações de mitigação das emissões, percebe-se a necessidade de uma abordagem mais específica para cada setor emissor, de forma a contribuir para evitar o aumento ao longo dos anos.

Figura 3 – Matriz elétrica brasileira 2017.



Fonte: adaptado de Brasil (2018b).

Para Ramesh, Prakash e Shukla (2010), os impactos ambientais estão diretamente ligados à demanda de energia primária dos edifícios durante o seu ciclo de vida, bem como à eficiência dos processos produtivos. Por isso, Tavares (2006) evidencia a importância dos estudos energéticos no Brasil, em particular para o setor da construção civil, responsável por grande parte do consumo de energia nacional.

2.1.4. Brasil e as emissões de CO₂ a partir dos dados do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (BRASIL, 2017)

Com o objetivo de contribuir para o abrandamento dos impactos ambientais mundiais, estando em consonância com os acordos internacionais, como o Acordo de Paris e a Agenda 2030, o Brasil instituiu, por meio da Lei nº 12.187/2009 (BRASIL,

2009c), a Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC), comprometendo voluntariamente a nação à adoção de ações de mitigação buscando a redução das emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% em relação aquelas esperadas até o atual ano de 2020, estimada em 3,24 Gt CO₂ eq.

Com o intuito de acompanhar, fiscalizar e divulgar a evolução dessas emissões, o Decreto 7.390/2010 garante a publicação das estimativas anuais dos GEE no Brasil, sob responsabilidade do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Para a elaboração das estimativas nacionais, se usou como referencial teórico e de metodologia os documentos elaborados pelo IPCC: *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, de 1997; *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, publicado no ano de 2000; e *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*, de 2003.

Em 2017, foram publicados os dados das estimativas nacionais de 2017, realizadas a partir do III Inventário Nacional, que contabilizou as emissões de GEE diretos antrópicos de 1990 a 2010, de dados públicos disponíveis para os anos de 2011 a 2015, composto por cinco setores: energia; processos industriais; agropecuária; mudanças de uso da terra e florestas; e tratamento de resíduos. Como unidade de contabilização, utilizou-se o dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq.)², métrica usual do Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential – GWP*), indicados pelo IPCC em 1995.

De acordo com as aferições para 2015, o setor de mudança de uso da terra e florestas com remoções, ou seja, com a contabilização da subtração de emissões pelo crescimento de florestas e campos naturais manejados, corresponde a 38% do total, seguido do setor de energia, com 27%, setor da agropecuária, com 25%, 6% de processos industriais e 4% do setor de tratamento de resíduos. Como áreas de interesse, os dados dos setores de energia e processos industriais serão discutidos.

²Unidade de medida do GWP que indica a forçagem radiativa de diversos gases do efeito estufa, utilizando como gás base para a comparação o dióxido de carbono, que corresponde a um potencial de 1, sendo o outro gás em questão comparado com a mesma quantidade em massa de CO₂, definindo-se assim o seu potencial, sendo o potencial de cada um desses gases somados e resultando em um único valor numérico, o GWP (ISO; 2006; IPCC, 2013b).

As estimativas para o setor de energia correspondem à queima de combustíveis fósseis, emissões fugitivas de petróleo e gás e emissões fugitivas da produção de carvão mineral. Dentre eles, as indicações mostram que a queima de combustíveis representa 95% do total. Nesse setor, os GEE considerados são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), com emissões estimadas em 2015 de aproximadamente de 420.300 Gg³, 690 Gg e 47 Gg, consecutivamente.

O setor dos processos industriais contabiliza as emissões da produção do cimento, de cal, outros usos do calcário e dolomita, uso de barrilha, processos siderúrgicos, alumínio, produtos químicos, produção e consumo de hidrofluorcarbonetos (HFCs) e uso de hexafluoreto de enxofre (SF₆) não envolvendo a queima de combustíveis, com representação do CO₂ em aproximadamente 88% das emissões estimadas em CO₂ eq.. Em 2015, a siderurgia contribuía em 51,1% para as emissões do setor, principalmente por meio do uso do coque de carvão mineral para a redução do minério de ferro, e a produção de cimento, por meio da calcinação do calcário, em 24,9%.

Percebe-se que o setor dos processos industriais contribui significativamente para as emissões de GEE, em especial no que se refere aos processos necessários para a produção de materiais de construção, como a siderurgia e cimento.

2.2. PREOCUPAÇÃO AMBIENTAL, NORMATIZAÇÕES E ACORDOS

As consequências ambientais e à saúde humana vivenciadas atualmente resultam do somatório de negligências aos impactos do ecossistema iniciados desde as mudanças no sistema produtivo mundial no século XVIII. Desde então, acontecimentos isolados no século XX anunciavam a necessidade de mudança nos setores industriais.

O crescimento econômico gerado a partir da Revolução Industrial, em meados dos anos 1770, encobriu as consequências vistas na época ao meio ambiente, uma

³ Gigagrama = 10⁶ kg. Uma tonelada corresponde a 0,001 Gg.

vez que o mesmo era visto como um acessório ao progresso (RISSATO; SPRICIGO, 2010). De acordo com Goldenberg e Barbosa (2004), o desenvolvimento desordenado e as consequências ambientais eram necessárias para os benefícios resultantes do novo sistema produtivo.

Somente a partir da década de 1950 a questão ambiental foi abordada com preocupação pela administração pública, por influência de uma sucessão de eventos que provocaram a queda da qualidade de vida em alguns locais do planeta (POTT; ESTRELA, 2017; RUPPENTHAL, 2014).

Para Stachera Jr. e Casagande Jr. (2007), apesar de o Brasil não precisar reduzir de maneira urgente as emissões de GEE e o setor da construção civil não ser o principal responsável pelas mesmas a nível nacional, é necessário analisar a situação de maneira global. A indústria construtiva do país possui influência em diversos setores, envolvendo interesses que podem se sobrepôr à preocupações sobre os malefícios à sociedade, sendo necessário dar primeira importância à conservação do patrimônio natural e recursos vitais (STACHERA JR.; CASAGANDE JR., 2007)

Desde então, diversos países iniciaram novas políticas públicas quanto ao cenário ambiental, a partir da criação de leis, normas e decretos nacionais impulsionados por acordos internacionais, que podem ser considerados como fundamentais para as relações exteriores dos acordantes. A seguir, os principais eventos, acordos, normas e legislação serão abordados.

2.2.1. Dióxido de Carbono Equivalente

Em 1990, no primeiro relatório de avaliação do IPCC, o AR1 (IPCC, 1990), o painel apresentou o conceito de Potencial de Aquecimento Global (GWP, em inglês *Global Warming Potential*) como meio de avaliar o efeito de diferentes gases do efeito estufa e o tempo de permanência dos mesmos na atmosfera. Nesse relatório, os pesquisadores demonstraram a necessidade de considerar os efeitos cumulativos dos gases no clima em função dos períodos de tempo (IPCC, 1990).

De acordo com o IPCC (2013b), o GWP é uma medida de comparação que integra a forçagem radiativa dos gases do efeito estufa, ou seja, o total de energia aplicado ao sistema climático, com exceção do vapor de água, em um determinado período de tempo (20, 100 ou 500 anos). O gás base para a comparação é o CO₂, que corresponde a um potencial de 1, sendo o outro gás em questão comparado com a mesma quantidade em massa de CO₂, definindo-se assim o seu potencial.

Dessa forma, a unidade utilizada para cálculos, considerando o GWP, é o Dióxido de Carbono Equivalente (CO₂ eq.) (ISO, 2006), integrando na contabilização uma variedade de GEE, que devem ser informados. O Quadro 1 e o Quadro 2 demonstram, respectivamente, o GWP de GEE (IPCC, 2013a), e a influência relativa de determinados gases no aquecimento global, bem como o crescimento das concentrações desde a Era Industrial (NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

Quadro 1 – GWP no horizonte de 100 anos.

GEE	GWP – 100 ANOS
CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265
HFC-23	12.400
HFC-32	677
HFC-125	3.170
HFC-134a	1.300
HFC-143a	4.800
HFC-152a	138
CF ₄	6.630
C ₂ F ₆	11.100
SF ₆	23.500

Fonte: (IPCC, 2013a).

O GWP é utilizado como medida padrão em pesquisas da área (IPCC, 2013a), geralmente no horizonte de 100 anos, e a cada relatório do IPCC, alterações são realizadas a fim de complementar os dados da tabela do GWP, integrando a maior quantidade possível de gases. De acordo com o *GHG Protocol* (2003), as incertezas na realização de estimativas e inventários de GEE estão relacionadas também com as incertezas científicas existentes nos valores do GWP.

Quadro 2 – Influência relativa dos GEE no efeito estufa natural da atmosfera terrestre e crescimento das concentrações atmosféricas por emissões antropogênicas.

GEE	ΔT	Crescimento
Vapor de Água	20°C	-
CO ₂	7°C	36%
O ₃	2°C a 3°C	-
N ₂ O, derivados	1,4°C	18%
CH ₄	0,8°C	150%
Demais Gases	0,6°C	-

Fonte: (NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

Em razão da dificuldade de obtenção de dados de emissão dos diversos GEE, grande parte das pesquisas da área da construção civil consideram somente as emissões de CO₂, gás com maior probabilidade de dados a serem encontrados no setor de produção.

2.2.2. Internacionais

Os alertas que chamaram a atenção da comunidade civil e científica acerca da interferência antropogênia no meio ambiente se deu pela ocorrência de eventos pontuais envolvendo mudanças no espaço natural, entre os anos de 1930 e 1956, como a visível interferência da indústria e meios de produção na atmosfera na Bélgica, Estados Unidos, na Pensilvânia e na Inglaterra, em Londres, e a contaminação de água da Baía de Minamata, no Japão (HOGAN, 2007). Ainda precursorando uma nova percepção sobre o espaço natural, em 1962, Rachel Carson, bióloga, publicou um livro intitulado Primavera Silenciosa, no qual advertia acerca dos efeitos a longo prazo na saúde animal de um inseticida altamente eficiente (HOGAN, 2007; POTT; ESTRELA, 2017; RUPPENTHAL, 2014).

Entretanto, a preocupação internacional com o meio ambiente e as consequências para a vida humana foi impulsionada, de fato, a partir da criação do Clube de Roma, em 1968, uma organização independente sem fins lucrativos que buscava analisar a relação entre o crescimento econômico e o uso de recursos

naturais (RUPPENTHAL, 2014). Em 1972, através da solicitação de um relatório diagnóstico desse Clube ao Instituto de Tecnologia de Massachusetts (em inglês *Massachusetts Institute of Technology*, MIT), previu-se que o meio ambiente perderia a capacidade de auto reposição e esgotamento de recursos caso fossem mantidos o ritmo de produção e crescimento populacional da época (RISSATO; SPRICIGO, 2010; RUPPENTHAL, 2014).

No mesmo ano, em resposta ao relatório, a ONU organizou a I Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, em Estocolmo, na Suécia, promovendo discussões e definindo diretrizes ambientais com a participação de países desenvolvidos e em desenvolvimento, como o Brasil. De acordo com Rissato e Spricigo (2010), o evento foi fundamental para evidenciar a necessidade de conciliação entre o meio ambiente e o desenvolvimento sócio-econômico.

Como resultado dessa conferência, produziu-se a Declaração sobre o Meio Ambiente Humano, ou Declaração de Estocolmo, contendo sete metas e 26 princípios que atentam para a preservação do ambiente humano (ONU, 1972), e foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, em inglês *United Nations Environment Programme*, UNEP), o principal órgão mundial para a promoção do desenvolvimento sustentável (UNEP, 2018)

No final da década de 1970, a Organização Meteorológica Mundial (em inglês *World Meteorological Organization*, WMO) realizou a Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, trazendo o aquecimento global como objeto principal das discussões internacionais (MOREIRA; GIOMETTI, 2008).

Em 1987, foi lançado o Relatório Brundtland, pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela ONU em 1983 (RUPPENTHAL, 2014). O documento foi o precursor do conceito de desenvolvimento sustentável, indicando a necessidade de considerar os limites ecológicos para atender as necessidades do presente sem prejudicar as gerações futuras (MORETTO; GIACCHINI, 2006), envolvendo aspectos produtivos, ambientais e sociais.

Ainda na década de 1980, a Convenção de Viena, em 1985, na Austria, levantou a preocupação com o impacto da poluição para a camada de Ozônio, resultando em acordos complementados pelo Protocolo de Montreal de 1987, sugerindo a diminuição da fabricação e consumo de produtos nocivos a mesma (POTT; ESTRELA, 2017).

Um ano depois, o IPCC foi criado pela WMO e pelo PNUMA, um grupo composto por cientistas internacionais independentes encarregados de avaliar cientificamente aspectos relacionados às mudanças climáticas (IPCC, 2013a). Atualmente, representa um dos mais importantes organismos científicos provedores de dados regulares sobre as emissões de GEE, os impactos ambientais, sociais e econômicos pelas mudanças do clima e medidas mitigatórias para os mesmos.

Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), chamada também de Cúpula da Terra, Rio-92 ou Eco-92, um dos eventos de maior influência internacional sobre o meio ambiente, ocorreu no Rio de Janeiro, culminando no desenvolvimento da Carta da Terra e na Agenda 21 (RUPPENTHAL, 2014). Ainda, a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (UNFCCC) foi criada, entrando em vigor em 1994 objetivando a “estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera num nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático” (BRASIL, 2018c; BRASIL, 1998, p. 1).

Entre os compromissos firmados por todas os países participantes da UNFCCC, a elaboração de inventários nacionais de emissão de GEE se destaca (BRASIL, 2018d). Os inventários e outros comprometimentos assinalados entre os países são analisados anualmente durante a Conferência entre as Partes (em inglês *Conference of the Parties*, COP).

Outro importante acordo internacional desenvolvido na década de 1990 foi o Protocolo de Quioto, anunciado em 1997 durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas no Japão (RUPPENTHAL, 2014). O tratado fixou metas para reduzir o aumento dos GEE pela queima de combustíveis fósseis (SILVA, 2009), entrando em vigor em 2005.

Sendo o Brasil um país em desenvolvimento e signatário do acordo, não foram impostos limites de emissões, devendo apenas desenvolver estratégias para as mudanças climáticas e informar suas emissões à ONU (SILVA, 2009). Assim, de acordo com Silva (2009), para cumprir com os acordos junto à UNFCCC, o Brasil responsabiliza-se por desenvolver e atualizar o Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas dos Gases do Efeito Estufa, considerando os setores de energia, processos industriais, agropecuário, uso de solventes, tratamento de resíduos e mudanças no uso da terra e florestas.

Em 2002, com maior foco social, a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável, chamada também de Rio+10, ocorreu na África do Sul, buscando principalmente medidas de reduzir pela metade até o ano de 2015 a parcela da população que vive abaixo da linha da pobreza (RUPPENTHAL, 2014). Entretanto, as discussões dessa reunião não geraram muito resultados sólidos (POTT; ESTRELA, 2017; RISSATO; SPRICIGO, 2010).

A Rio+20, Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, ocorreu vinte anos depois, novamente no Rio de Janeiro, Brasil, com a economia verde e o desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza como temas principais (RUPPENTHAL, 2014). Segundo Ruppenthal (2014), o evento inovou a partir da liderança estabelecida pelo setor empresarial, firmando compromissos voluntários frente ao capital natural.

Com o fim do primeiro período do Protocolo de Quioto iminente, durante a COP-18 em Doha, no ano de 2012, o tratado foi prorrogado até 2020. Entretanto, em 2015, durante a COP-21 em Paris, decidiu-se adotar junto à UNFCCC o Acordo de Paris, com vigência prevista para iniciar em 2020 (UNFCCC, 2015) no intuito de fortalecer a resposta global à ameaças resultantes de mudanças climáticas, incentivando a adoção de ações voluntárias e transparentes, incluindo os países em desenvolvimento.

Ainda, como o relatório do IPCC antecedente à COP-18 havia sugerido, o Acordo de Paris acordou em limitar o aumento da temperatura média da superfície em 2°C acima dos níveis industriais (IPCC, 2015). Entretanto, o último relatório do IPCC (2019) demonstra que esse acréscimo de temperatura é frágil e ameaçador, sendo necessário conter em até 1,5°C o aquecimento do planeta pós era industrial para que se possa evitar a maior parte dos desastres ambientais e sociais previstos pelos pesquisadores.

Em outubro de 2015, a Assembléia Geral da ONU adotou a resolução 70/1, intitulada Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (originalmente em inglês *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*), ou simplesmente Agenda 2030, um plano de ação dedicado ao futuro da sociedade e do planeta. Possuindo como maior desafio a erradicação da pobreza, considerada como um requisito para o desenvolvimento sustentável, a Agenda 2030 lista 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

e 169 metas, a serem alcançadas em 15 anos, considerando o sucesso e obstáculos dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), lançados em 2001 pela mesma organização, a serem alcançados em 2015 (ONU, 2015).

Dentre os 17 objetivos da nova agenda, que devem ter ações de implementação desde o nível regional, pelo menos oito possuem relação extremamente direta com os aspectos ambientais e ações antrópicas sobre os recursos naturais, principalmente quanto às emissões GEE: erradicar a fome, no que diz respeito à agricultura; água potável e saneamento, pela preservação dos corpos hídricos existentes, o que inclui a acidificação dos oceanos; energias renováveis e acessíveis, como meio alternativo aos combustíveis fósseis; cidades e comunidades sustentáveis, ao que se refere ao uso racional da energia e poluição do espaço urbano pelo uso de veículos automotores; produção e consumo sustentáveis, em conformidade com inovações nos sistemas produtivos; ação climática, fazendo referência aos riscos relacionados às mudanças climáticas; e a proteção da vida marinha e terrestre, com o uso consciente dos recursos naturais disponíveis. Os outros objetivos, relativos à pobreza, saúde, educação, gênero, trabalho e sociedade, possuem influência de ações relacionadas ao meio ambiente.

2.2.2.1. Normas da Organização Internacional de Normatização ISO

A Organização Internacional de Normatização (em inglês *International Organization for Standardization* - ISO), contendo atualmente membros de 163 países, é uma organização originada em 1947 por membros de 25 países com o objetivo de facilitar a coordenação e unificação entre as normas industriais (ISO, 2018a). Como resposta ao compromisso firmado durante a ECO-92 para o desenvolvimento sustentável, a ISO criou, em 1993, o comitê técnico ISO/TC 207 (gestão ambiental), com a função de desenvolver e manter a série de normas de gestão ambiental ISO 14000 (COSTA, 2012; ISO, 2009).

A série de normas ISO 14000 é categorizada em quatro itens: gestão ambiental; quantificação de gases do efeito estufa; mitigação e adaptação às mudanças climáticas; e financiamento de atividades referentes às mudanças climáticas (ISO,

2018b). Atualmente, essas normas possuem reconhecimento e implantação global, auxiliando os países na abordagem às mudanças climáticas, uma vez que utilizam padrões comuns e comparáveis na prática da área ambiental, principalmente no que se refere a empresas e produtos.

Em 2007, um novo grupo de trabalho foi criado dentro do comitê técnico de gestão ambiental, o subcomitê ISO/TC 207/ SC7, responsável pela gestão dos gases do efeito estufa e atividades relacionadas, com o objetivo de desenvolver normas para a mitigação das emissões desses gases e adaptação às mudanças climáticas. Dentre algumas normas elaboradas por esse grupo, encontram-se a ISO 14064:2006, partes 1, 2 e 3 (ISO, 2006b; 2006c; 2006e), a ISO 14065:2013 (ISO, 2013a), ambas atualmente sob revisão, a ISO 14066:2011 (ISO, 2011), a ISO/TS 14067:2018 (ISO, 2018c) e ISO/TR 14069:2013 (ISO, 2013b).

A norma ISO 14064: *Greenhouse gases*, apesar de endereçar os GEE como tema principal, discorre acerca de inventário e projetos de mitigação dos mesmos em nível de organização ou empresa, não especificando os procedimentos exatos. A parte um é responsável por orientar a realização do projeto e desenvolvimento de inventários organizacionais de GEE, bem como relatórios; a parte dois indica o desenvolvimento de planos e implementação de projetos de mitigação de GEE; e a parte três corresponde às instruções de verificação das anteriores.

Já a ISO 14065:2013 (ISO, 2013a) define os requisitos de validação e verificação, aplicados à parte 3 da ISO 14064 (ISO, 2006b; 2006c; 2006e), e a ISO 14066:2011 (ISO, 2011) complementa a ISO 14065:2013 (ISO, 2013a), indicando os requisitos necessários para as equipes de validação e verificação dos projetos e inventários.

Em relação à pegada de carbono de produto⁴ (em inglês *Carbon Footprint of a Product* - CFP), ou seja, as emissões totais de GEE durante o ciclo de vida, a ISO/TS 14067:2018, *Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification* (ISO, 2018c), é responsável por abordar os princípios, requisitos e diretrizes para a quantificação integral ou parcial para bens e serviços, baseando-se nas emissões e remoções de GEE durante o ciclo de vida do produto.

⁴ A pegada de carbono corresponde a soma das emissões de GEE e da remoção dos mesmos em um sistema de produto, calculada com base em uma ACV que considera somente a categoria de impacto das mudanças climáticas, resultando em um valor numérico de CO₂ eq. (ISO, 2018c).

A ISO/TR 14069:2013, *Greenhouse gases — Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations — Guidance for the application of ISO 14064-1* (ISO, 2013b), é um relatório técnico desenvolvido com o objetivo de auxiliar a aplicação da ISO 14064-1 (ISO, 2006b), guiando a quantificação de GEE para o desenvolvimento do inventário de uma organização, diferente da norma descrita anteriormente.

Ainda, a ISO 16745: *Environmental performance of buildings – Carbon metric of a building - Use stage* (ISO, 2015), lançada em 2015, refere-se especificamente a contabilização de GEE e sustentabilidade em edificações e nas atividades da construção civil. Em 2017, foi dividida em duas partes, sendo a primeira relacionada a cálculos, relatórios e comunicação, a segunda à verificação desses cálculos. Entretanto, sob a justificativa de que 70% a 80% do uso de energia em uma edificação origina-se da fase de uso e operação, as etapas anteriores a essas, bem como os materiais da construção, não são abordadas.

Em 2018, foi lançada a ISO 14080: *Greenhouse gas management and related activities -- Framework and principles for methodologies on climate actions* (ISO, 2018d), para aplicação em projetos, organizações, setores econômicos, tecnologias, produtos, entre outros, com o intuito de identificar, revisar, melhor desenvolver, adaptar e gestar metodologias de avaliação das mudanças climáticas, incluindo ações de mitigação quando aos GEE. Dessa forma, o documento dispõe sobre generalidades aplicáveis a diferentes setores e em diferentes escalas, não indicando uma metodologia específica de avaliação dos GEE.

Já a ISO 21930:2017, *Sustainability in buildings and civil engineering works – Core rules for environmental product declarations of construction products and services* (ISO, 2017), guia, através de princípios, especificações e requerimentos, o desenvolvimento da declaração ambiental de produto (em inglês *Environmental Product Declaration – EPD*) para produtos e serviços relacionados à construção. Entretanto, apesar de os impactos ambientais na etapa de extração, produção e distribuição serem mensurados considerando os gastos energéticos e o ciclo de vida do produto (WOLF; POMPONI; MONCASTER, 2017), Costa (2012) afirma que o documento serve como um complemento à ISO 14025/2006, detalhando o processo de EPD para a construção (WOLF; POMPONI; MONCASTER, 2017), não apresentando cálculos detalhados para as emissões de GEE.

A EPD é fruto da ISO 14025/2006: *Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures* (ISO, 2006d), responsável por indicar os processos dos programas de rotulagem ambiental do tipo III, que consideram o ciclo de vida do produto de acordo com a ISO 14040:2006 *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (ISO, 2006a), que não detalha o processo de ACV. Os impactos ambientais do processo de produção dos produtos não apresentam metodologias de quantificação (COSTA, 2012).

Em relação aos tipos de rotulagem ambiental dos produtos, os programas de tipo um são voluntários, e o rótulo ambiental é aplicado a produtos que cumprem requisitos ambientais predeterminados (COSTA, 2012; ISO, 1999a). Já a rotulagem ambiental de tipo dois são informativos autodeclarados, realizados pelo fabricante, sem a inspeção de terceiros (COSTA, 2012; ISO 1999b).

No que diz respeito à rotulagem ambiental de tipo três, como é o caso da EPD, as informações baseiam-se no ciclo de vida do mesmo, permitindo a comparação no mercado, além de incentivar a melhoria de desempenho (COSTA, 2012; ISO, 2006d). Esse tipo de rotulagem deve ser avaliada por uma terceira parte.

Quanto à EPD, além de utilizar como meio normativo a ISO 14025:2006 (ISO, 2006d) e as instruções de ACV da 14040:2006 (ISO, 2006a), as declarações referentes aos materiais de construção devem estar de acordo com a norma inglesa EN 15804 – Sustentabilidade de atividades da construção, declaração ambiental de produto, regras para a categoria de produtos da construção (em inglês *Sustainability of construction works, Environmental product declarations, Core rules for the product category of construction products*) (EN, 2012), de 2012, que também é referenciada pela ISO 21930:2017 (ISO, 2017). Assim, as EPDs podem indicar três tipos de ciclos: do berço ao portão; do berço ao portão com opções; e do berço ao túmulo; devendo as comparações entre produtos serem realizadas dentro de um mesmo ciclo (BRE, 2013). O impacto considerado de um produto deve corresponder a uma das categorias de impacto ambiental: aquecimento global; depleção de ozônio, acidificação do solo e da água, eutrofização; criação de ozônio fotoquímico; esgotamento de recursos abióticos (elementos); e esgotamento de recursos abióticos (fósseis) (BRE, 2018).

Quanto às EPDs dos materiais de construção, as categorias de impacto referem-se estritamente à EN 15804 (EN, 2012), estando de acordo com as acima

listadas. Dentre elas, a categoria de aquecimento global é mensurada em CO₂e eq., utilizando como método de avaliação para os impactos ambientais o IPCC 2007 GWP 100y (anos).

Os indicadores do IPCC 2007 GWP consideram as emissões de gases potenciais ao efeito estufa, e contabilizam os fatores de mudanças climáticas ao longo de um período de 20, 100 ou 500 anos (DE FEO et al., 2016). Tais dados são utilizados pela metodologia de avaliação de impacto ambiental CML-IA, aceita pelo IPCC (2013a) e inserida em softwares de avaliação, como SimaPro, possuindo uma base de dados que discorre sobre fatores de caracterização para a ACV.

No entanto, essa metodologia de avaliação tem se mostrado insuficiente quando às categorias de impacto e seus indicadores, sendo insatisfatório para as declarações ambientais e de sustentabilidade (SCS GLOBAL SERVICE, 2015). Ainda, Passer et al. (2015) argumenta que as normatizações ISO e EN não oferecem informações suficientes para o desenvolvimento das regras para cada categoria de produto, necessárias para a realização das declarações.

2.2.3. Nacionais

No Brasil, a questão político-ambiental ocorreu de forma tardia, em decorrência da visão do Estado de que o desenvolvimento econômico do país não poderia ser prejudicado em função da proteção ambiental (SOUSA, 2005), pensamento recorrente desde a Revolução Industrial. Impulsionado por movimentos e exigências internacionais, como a Conferência de Estocolmo de 1972, bem como pequenos movimentos sociais nacionais desvinculados à situação política, o governo brasileiro se sentiu coagido a agir, criando a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), pelo Decreto nº 73.030, de 1973, responsável pelo processo de institucionalização da Educação Ambiental no país e acompanhamento das transformações ambientais, atuando para corrigí-las quando adversas (SILVEIRA, 2015).

Em 1981, foi instituído no Brasil a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), por meio da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, com o objetivo de preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental, assegurando a vida humana,

o desenvolvimento sócio-econômico e a segurança nacional (BRASIL, 1981). Essa mesma Lei criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), integrado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e que gerencia a estrutura da gestão ambiental no Brasil, sendo responsável pela articulação e interação das discussões acerca da implementação de políticas públicas e organização e gestão da política ambiental, atualmente descentralizada, democrática e eficiente (BRASIL, 2019a).

O Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), um dos mais antigos da América Latina, foi criado em 1989, pela Lei nº 7.797, e regulamentado pelo Decreto nº 3.524 em 2000, com o intuito de contribuir como agente financiador para implementar a PNMA (BRASIL, 1989; BRASIL, 2000). A implementação, realizada através da participação social, se dá a partir do desenvolvimento de projetos “que visem ao uso racional e sustentável de recursos naturais, incluindo a manutenção, melhoria ou recuperação da qualidade ambiental no sentido de elevar a qualidade de vida da população brasileira” (BRASIL, 1989, p. 1; BRASIL, 2000).

No entanto, o marco inicial para regular a mitigação das emissões dos GEE no Brasil ocorreu somente em 2009, com a instituição da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), realizada pela Lei nº. 12.187 em 2009, e regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010, revogado pelo atual Decreto nº 9.578/2018. Com o desenvolvimento impulsionado pelos acordos e discussões internacionais antecedentes sobre as mudanças climáticas, principalmente o Protocolo de Quioto, a PNMC propõe a contribuição do desenvolvimento econômico e social na proteção do sistema do clima (BRASIL, 2019b).

Para isso, durante a COP15, com a realização do Acordo de Copenhague, a representação brasileira divulgou as metas nacionais definidas pela PNMC (MOTTA, 2010), com a adoção do compromisso nacional voluntário de ações para a redução de 36,1% e 38,9% das emissões de GEE projetadas até o presente ano de 2020. De acordo com Motta (2010), as contribuições voluntárias pelos países em desenvolvimento, que, de acordo com o Protocolo de Quioto não possuem limites de emissão, são realizadas a partir de metas estabelecidas em função de emissões futuras, diferente da consideração de emissões passadas para os países desenvolvidos.

Em resposta às responsabilidades do governo brasileiro ao Protocolo de Quioto, de desenvolver e atualizar o Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas dos Gases do Efeito Estufa, o Brasil já divulgou 3 inventários nacionais e 4 estimativas anuais. Os cinco setores inventariados são: de energia, pela queima de combustíveis fósseis e emissões fugitivas; de processos industriais, com os subsetores de produtos minerais, química, metalurgia, papel e celulose, alimentos e bebidas, e produção e utilização de HFC e SF₆; de agropecuária, pela fermentação entérica, manejo de dejetos de animais, cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas e emissões de N₂O provenientes de solos agrícolas; de mudança no uso da terra e florestas, tanto na biomassa aérea como no solo, desmatamento, queimadas e por aplicação de calcário em solos agrícolas (calagem); e de tratamento de resíduos, pela disposição de resíduos sólidos e tratamento de esgoto (BRASIL, 2009b).

Os inventários brasileiros são disponibilizados pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), um sistema computacional desenvolvido pelo MCTIC, e visam avaliar a eficácia das políticas públicas quanto ao tema, os cenários de emissões e as opções de mitigação em vários níveis no país, e principalmente, são os indicadores nacionais quanto ao compromisso firmado de redução das emissões. O primeiro inventário nacional foi publicado em 2004, integrando dados de 1990 a 1994; o segundo, em 2008, com dados entre 1995 e 2000. Ambos os inventários foram divulgados já apresentando dados defasados, mas cabe destacar que os mesmos sofrem alterações metodológicas, aprimorando as novas edições. Já o terceiro inventário nacional, lançado em 2016, corresponde às emissões de 2011 a 2014.

Quanto as estimativas anuais de GEE, determinadas pelo atual Decreto nº 9.578 de 2018, o objetivo é de facilitar o entendimento sobre as emissões a quem interessar, e foram divulgadas quatro edições, respectivamente, no ano de 2013, para as emissões até 2010, em 2014, para as emissões até 2012, em 2016 com as estimativas das emissões até 2014, e a mais recente, em 2017, com dados estimados de emissões de 1990 a 2015.

2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia quantitativa que busca identificar os diversos impactos ambientais, inclusive à saúde humana, causados pelo fluxo de matérias e energia envolvidos desde a extração de matéria prima até a disposição de produtos, processos ou serviços (ABNT, 2009). De caráter multidisciplinar e multicritério, uma vez que demanda conceitos e conhecimento de diversas áreas e analisa categorias de impacto variadas em uma mesma análise quando realizada integralmente, e logo, dentro de um pensamento sistêmico, a mensuração dos impactos é essencialmente numérica, auxiliando na comparação de resultados de escopos similares analisados.

Com o surgimento provável de método precursor da ACV na década de 60, nos Estados Unidos, chamada Análise de Recursos e Perfil Ambiental, a primeira investigação de impactos ambientais foi encomendada pela empresa Coca Cola, no mesmo país, com a comparação de embalagens do produto (CHEHEBE, 2002; HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018). A normatização pela ISO da ACV ocorreu somente no ano de 1997, com a publicação dos princípios gerais na ISO 14040, e no ano seguinte, a ISO 14041 sobre a definição do objetivo e escopo e inventário. Depois, em um longo período até 2006, mais 3 normas foram publicadas ou em substituição as anteriores para integralizar e orientar as avaliações, bem como relatórios e especificações técnicas. Hoje, estão em vigor a ISO 14040:2006 - *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* e a ISO 14044:2006 - *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*.

A tradução e lançamento pela ABNT da primeira norma – ISO 14040 – só ocorreu no Brasil em 2001, estando em vigor, hoje, a ABNT NBR ISO 14040:2009 – *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*, e ABNT NBR ISO 14044:2009 – *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações*, correspondentes às internacionais citadas anteriormente.

Em 2010, por iniciativa do Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade (CBAC), com ação conjunta do governo por ação da empresa pública Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e

Tecnologia (IBICT), ambos parte do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) naquele período, instituições acadêmica, associações e entidades industriais, foi criado o Programa Brasileiro de ACV (PBACV), em conjunto com o projeto Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV). Tais projetos buscam coadjuvar os trabalhos de ACV em âmbito nacional e internacional, bem como embasar as aplicações nacionais com o desenvolvimento de ferramentas, inventários e padronizações.

Nesse contexto, o ciclo de vida é definido como “estágios sucessivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais à disposição final” (MDIC/CONMETRO, 2010, p. 4), e a avaliação do mesmo é caracterizada como um processo, que busca (MDIC/CONMETRO, 2010, p. 4):

Avaliar as cargas ambientais associadas a um produto, processo ou atividade, através da identificação e quantificação de energia e materiais usados e resíduos liberados; Avaliar o impacto da energia e materiais lançados no meio ambiente; Identificar e avaliar as oportunidades que afetam o melhoramento ambiental durante todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade, envolvendo a extração e o processamento de matérias-primas brutas, manufatura, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e destinação final. (MDIC/CONMETRO, 2010, p. 4)

A ABNT (2009), pela NBR ISO 14040, com correção em 2014, define a ACV como uma técnica para compilação de inventário e avaliação das entradas e saídas um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida, com posterior interpretação e análise dos resultados.

A ACV possui quatro fases: definição dos objetivos e escopo; análise de inventário; avaliação dos impactos; e interpretação. De maneira geral, a primeira é responsável por caracterizar a avaliação, ou seja, é quando se especifica o objeto de estudo, as fronteiras temporal e geográfica que serão consideradas, os cortes realizados para os processos ou materiais envolvidos, quais as categorias de impacto e critérios de qualidade que serão abordados e a quem se destina o estudo (empresa específica, instituição, órgão oficial, entre outros). Já a segunda fase é caracterizada pela coleta de dados necessários de acordo com os fluxos de massa e energia a

serem analisados e definidos pela fase um, podendo ser realizada por levantamentos ou a partir de bibliografia. Tanto a fase um como a dois são parte do escopo da primeira ISO 14041:1998, correspondendo atualmente no Brasil à NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), que integra ainda as últimas duas fases.

No que diz respeito a construção do inventário, o *ILCD Handbook* (EU-JRC, 2010) indica que o desenvolvimento pode ser atribucional ou consequencial, o que interfere basicamente na escolha dos dados de entrada, sendo, de acordo com Curran, Mann e Norris (2005), o primeiro referente a dados e fluxos em uma janela temporal escolhida, e o segundo, a alterações de fluxos em resposta às decisões. Ekvall et al. (2016) discutem as diferentes definições existentes entre autores e o próprio manual, havendo inconsistências entre elas, sugerindo a revisão da publicação, uma vez que o mesmo é utilizado largamente como guia por pesquisadores, instituições acadêmicas e governamentais e empresas. A maior parte das pesquisas na área são desenvolvidas pelo modo atribucional.

Ainda, existem três categorias diferentes para a condução de ACVs, e que se situam majoritariamente na tomada de decisões das fases um e dois, por se tratar de métodos de cálculo: baseada em processos; insumo-produto econômico; e híbrida (POMPONI; DE WOLF; MONCASTER, 2018). Para a análise da energia incorporada, Tavares (2006), mesmo sem fazer referência a ACV, complementa as três categorias citadas com uma quarta, a análise estatística, também descrita por Hammond e Jones (2008).

A ACV baseada em processos possui as informações de entrada com dados detalhados de um processo de fabricação, onde o inventário de cada etapa do ciclo de vida ou insumo é realizado com fluxogramas específicos, o que culmina em resultados com maior precisão (TAVARES, 2006; POMPONI; DE WOLF; MONCASTER, 2018). São utilizados registros e informações documentadas internamente por empresas, como todas as entradas de energia de matéria prima de um dado processo produtivo (TEODORO, 2017; SARTORI, 2018). Para Lobo (2010, p. 59), esse tipo de avaliação se mostra eficaz para “a determinação de insumos, fontes energéticas e derivações do cenário energético”, como as emissões de GEE.

A conduta por insumo-produto econômico avalia os impactos ambientais a partir de uma aplicação a um setor econômico, como o da construção, e relaciona as transações monetárias relativas a dados ambientais (consumo energético, por

exemplo) com outros setores e atividades econômicas como as entradas, resultando em uma matriz de dados econômicos inter-relacionados (TAVARES, 2006; TEODORO, 2017).

Já a análise híbrida busca a combinação das duas primeiras, com o intuito de suprir as desvantagens de cada uma, e é caracterizada em sua essência por abordar um escopo econômico para as estimativas iniciais do ciclo de vida, enquanto que para os impactos operacionais e de fim de vida a análise baseada por processos tem maior participação (POMPONI; DE WOLF; MONCASTER, 2018). No entanto, na prática, apesar de um modelo se sobressair a outro nas diferentes etapas do ciclo de vida, os métodos são utilizados de maneira complementar, principalmente no Brasil, onde a obtenção de dados em qualquer natureza é bem-vinda, suprimindo lacunas existentes em qualquer uma das abordagens.

Como exemplo, Piva (2019) nomeia o método utilizado de análise híbrida pela a obtenção de dados energéticos e de emissões em literatura com indicação da fonte e caracterização dos materiais pela Tabela de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (2012). A consideração de dados da literatura e complementação a partir de dados de EPD, como forma de suprir uma base de dados de pouca abrangência, também foi caracterizada como híbrida por Braga (2018), Maciel (2013) e Pedroso (2015).

Por fim, a análise estatística é atribuída como complementar à híbrida, e, por si só, pode não ser consistente e confiável. Nela, o consumo energético de produtos ou categorias é calculado a partir de dados estatísticos dos setores industriais (TAVARES, 2006). Os dados encontrados por Tavares (2006) e amplamente utilizados nos estudos e pesquisas brasileiras ou aplicadas à construção civil no Brasil são oriundos de uma análise híbrida e estatística.

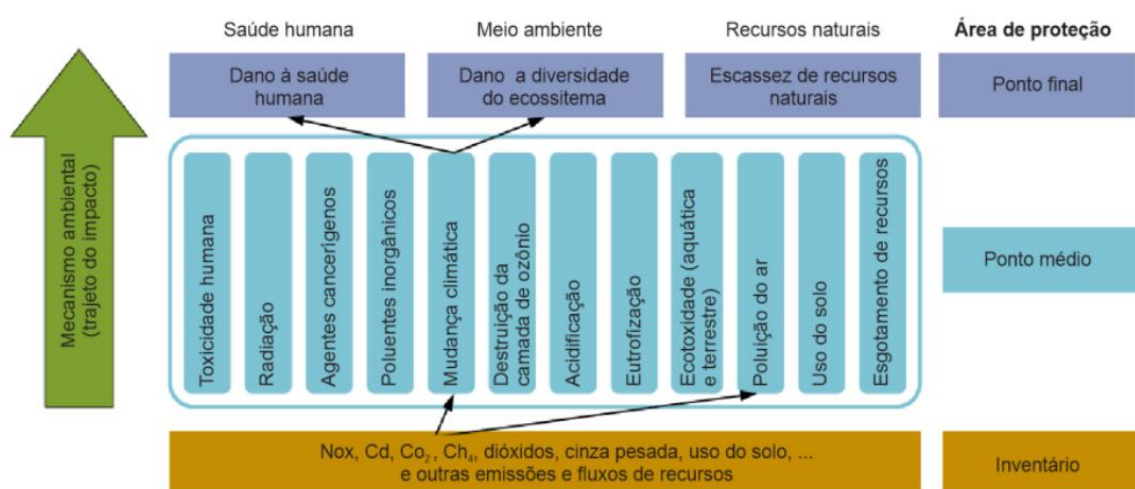
Na avaliação dos impactos, fase três, originalmente parte da ISO 14042:2000, revisada e substituída pelas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, e com versão brasileira pela NBR ISO 14040:2009 (ABNT, 2009), os dados coletados na fase dois são relacionados às respectivas categorias de impacto (BILAR, 2016). Existem diversos métodos de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), como o CML 2002, Eco-Indicator 99, ReCiPe, que podem considerar indicadores ou categorias de impacto diferentes (MENDES, 2013).

Para métodos de categoria única, apenas um problema ou impacto é abordado, a exemplo da avaliação das mudanças climáticas pelo potencial de aquecimento global pelo IPCC 2006 (IPCC, 2006), utilizando o CO₂ eq.

Já os métodos de multicategoria podem ser de ponto médio (*midpoint*) ou ponto final (*endpoint*). O primeiro se refere aos indicadores dos impactos em potencial, a partir do agrupamento de substâncias (entradas) levantadas por determinado inventário “em categorias de impacto de acordo com uma característica comum na cadeia de causa e efeito do mecanismo ambiental [...], e, apesar de mais completo, não representa as consequências finais no trajeto ambiental” (BILAR, 2016, p. 49), sendo o CML 2002 um exemplo de método que adota tal abordagem (MENDES, 2013).

No método *endpoint*, são caracterizadas as “consequências dos impactos das categorias do ponto médio nas áreas de proteção identificadas no ponto final, que são a saúde humana, meio ambiente e os recursos naturais” (BILAR, 2016, p. 50), representando um resultado mais legível e de fácil comparação, apesar das incertezas, e é utilizado pelo Eco-Indicator 99. Ainda, esses dois métodos podem ser integrados, como é o caso do ReCiPe. A Figura 4 demonstra a relação e correspondência entre os métodos de médio ponto e ponto final, com algumas categorias de impacto.

Figura 4 – Quadro esquemático de categorias de impacto para modelagem de caracterização em níveis de ponto médio e de ponto final.



Fonte: Bilar (2016), a partir de EU-JRC (2010).

As categorias de impacto mais frequentes em estudos de ACV de edificações são a demanda de energia primária e o aquecimento global (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018). Justamente por essa razão, a fim de se considerar somente essas categorias, simplificações e limitações em uma ACV completa são realizadas.

Na quarta e última fase, primeiramente normatizada pela ISO 14043:2000, a interpretação dos resultados é realizada, ou seja, o agente deve compreender os impactos resultantes pela inserção dos dados e processos considerados, indicando recomendações, e desenvolver as conclusões da avaliação ao contratante ou partes interessadas (MENDES; BUENO; OMETTO, 2016).

É nessa fase que a realização de uma análise de sensibilidade é fortemente recomendada, para que se possa identificar de que forma os dados levantados e cálculos podem afetar os resultados e conclusões (ABNT, 2009), ou seja, investigar o quanto sensíveis são os resultados finais com a mudança de condicionantes ou parâmetros no processo estabelecido e definido inicialmente. Stafford (2016) afirma que essa análise é fundamental quando da realização de estudos comparativos, uma vez que conclusões baseadas em dados numéricos e avaliações únicas podem mascarar os reais impactos.

A análise de sensibilidade pode ser conduzida avaliando a influência de dados genéricos supostos, como a alteração de dados finais a partir de uma mudança nas distâncias de distribuição de materiais ou as diferenciações dos impactos resultantes a partir da modificação das taxas de perda de diferentes materiais (MAIA DE SOUZA et al., 2016). Escolhas metodológicas também podem ser testadas, como a utilização de diferente método de alocação (divisão dos encargos ambientais – entradas – entre os produtos envolvidos), alterações na fronteira do sistema, e comparação a partir do uso de outro método de avaliação de impacto (MAIA DE SOUZA et al., 2016).

Para Heijungs e Huijbregts (2004), comumente a análise de sensibilidade é equivocadamente entendida ou nomeada como análise de incertezas, ou vice versa. Sendo considerada por muitos guias, manuais ou normas como um recurso adicional, os autores salientam que a análise de incertezas é fundamental para dar qualidade à tomada de decisões, uma vez que traduz a robustez de resultados numéricos a exemplo de uma comparação entre produtos (HEIJUNGS; HUIJBREGTS, 2004).

A análise de incertezas não possui uma definição completa e satisfatória única, e as incertezas possuem diversas classificações e entendimento entre autores, mas é defesa de todos eles a importância da realização da mais apropriada ao contexto de uma análise (HEIJUNGS; HUIJBREGTS, 2004). No entanto, as mesmas envolvem, em qualquer análise ambiental a ser realizada, sobretudo, um dos três aspectos: dados para os quais não há valor disponível, ou seja, indisponibilidade de dados; dados para os quais os valores disponíveis são inapropriados; e dados para os quais existem mais de um valor disponível (HEIJUNGS; HUIJBREGTS, 2004), devendo serem abordados para que o pesquisador ou agente da análise consiga julgar a importância das diferenças.

Heijungs (2020) destaca, ainda, que existem incertezas referentes a critérios aos quais o agente não tem influência, como aqueles dados de entrada não completamente conhecidos, como o efeito de alguma substância na saúde humana, e dados que possuem variabilidade para um mesmo produto, como o tempo de vida útil de sistemas idênticos. Ainda, as escolhas realizadas pelo agente, como a categoria ou abordagem diante da qual a avaliação é conduzida, como a alocação por massa (processo) ou valor econômico (insumo-produto) tem grande participação da escala de incertezas às quais a avaliação estará exposta (HEIJUNGS, 2020).

Em uma tentativa de tornar melhor compreensível tal conceito aos profissionais da área, Pomponi, de Wolf e Moncaster (2018) buscam no significado da palavra o entendimento de que as incertezas estão baseadas na “incapacidade de saber da verdade” (p. 4, tradução nossa), ou que se sabe da veracidade e existência mas que há algo que não é totalmente conhecido. Os autores atribuem a probabilidade como uma das maneiras mais utilizadas para trabalhar com as incertezas, sendo a Matriz de Qualidade dos Dados (Matriz Pedigree) e as simulações Monte Carlo, um método estatístico, os métodos mais utilizados.

Medeiros, Durante e Callejas (2018, p. 371) explicam que a formação da Matriz de Qualidade dos Dados se dá por uma pontuação de 1 a 5, de menor a maior grau de qualidade, para cada um dos seis indicadores: “confiança na fonte, completeza, correlação temporal, correlação geográfica, correlação tecnológica e número de mostra”. Já a simulação Monte Carlo, integrada a diversos softwares que utilizam conceito ACV, e justamente por isso sendo a abordagem para avaliação de incertezas mais utilizada, apesar do tempo demandado para realização, ocorre por amostragem,

no intuito de estimar através da repetição de cálculos a distribuição de probabilidade dos resultados (HEIJUNGS, 2020).

Além disso, existe ainda a questão da variabilidade, que se refere à “diferenças inerentes a uma população atribuível à heterogeneidade natural de valores”, e que só pode ser melhor estimada com melhores dados, mas não reduzida, como é o caso das incertezas (BJÖRKLUND 2002, apud POMPONI; DE WOLF; MONCASTER, 2018, p. 5, tradução nossa).

De maneira geral, esses autores defendem que a utilização de ACVs determinísticas são mais prováveis de induzir à tomada de decisões equivocadas ou tendenciosas, quando o agente não pode confiar em uma comparação baseada em valores únicos e com mínimas diferenças percentuais. Assim, as análises determinísticas são entendidas como aquelas que apresentam valores médios, únicos e pontuais como resultados das análises ambientais, com diversas incertezas associadas e que não são consideradas, em contraposição àquelas que utilizam abordagens probabilistas, como as incertezas (POMPONI; DE WOLF; MONCASTER, 2018).

Para Hauschild, Rosenbaum e Olsen (2018), nos últimos anos, o interesse pela aplicação de métodos de avaliação ambiental como a ACV em edificações decorre, parcialmente, em função do crescimento de aplicações de certificações ambientais nesses “produtos”. Os autores defendem que a ACV é uma ação complementar nas edificações e no ambiente construído para auxiliar na mudança para uma sociedade mais sustentável.

2.3.1. Etapas do Ciclo de Vida

As avaliações ambientais do ciclo de vida de produtos e serviços, integrando as edificações, requerem que, durante a primeira fase, de definição dos objetivos e escopo, as fronteiras físicas e temporais do sistema sejam estabelecidas e descritas. São elas que determinam as unidades do processo a serem avaliadas, e consequentemente, as entradas e saídas de dados (ABNT, 2009).

Para as edificações, as fronteiras físicas estabelecem as partes do edifício que serão avaliadas e seus componentes correspondentes. Lützkendorf e Balouktsi (2016) listam tais partes como subestrutura, supraestrutura, serviços da edificação ou sistemas, acabamentos e elementos internos, e os componentes de cada parte podem ser identificados na Figura 5, onde estão marcados aqueles que tem a sua avaliação fortemente recomendada.

Figura 5 – Partes e componentes da edificação a serem avaliadas.

PARTES	SUBESTRUTURA	SUPERESTRUTURA	INSTALAÇÕES	ACABAMENTOS	EXTERIOR
COMPONENTES DA EDIFICAÇÃO	Fundações	Estrutura	Água	Externos	Varanda/sacada
	Muros de arrimo	Paredes Externas	Esgoto	Internos	Vegetação
	Construção do térreo	Portas Externas	Aquecimento	Móveis fixos	Pavimentação
		Janelas	Refrigeração	Mobília	
		Paredes Internas	Ventilação		
		Pisos	Elétrico		
		Forros	Transporte interno industrial		
		Telhado	Dados		
		Escadas e rampas	Proteção contra Incêndio		
		<div style="border: 1px solid gray; border-radius: 15px; padding: 2px 5px; display: inline-block;"> ■ AVALIAÇÃO RECOMENDADA </div>			

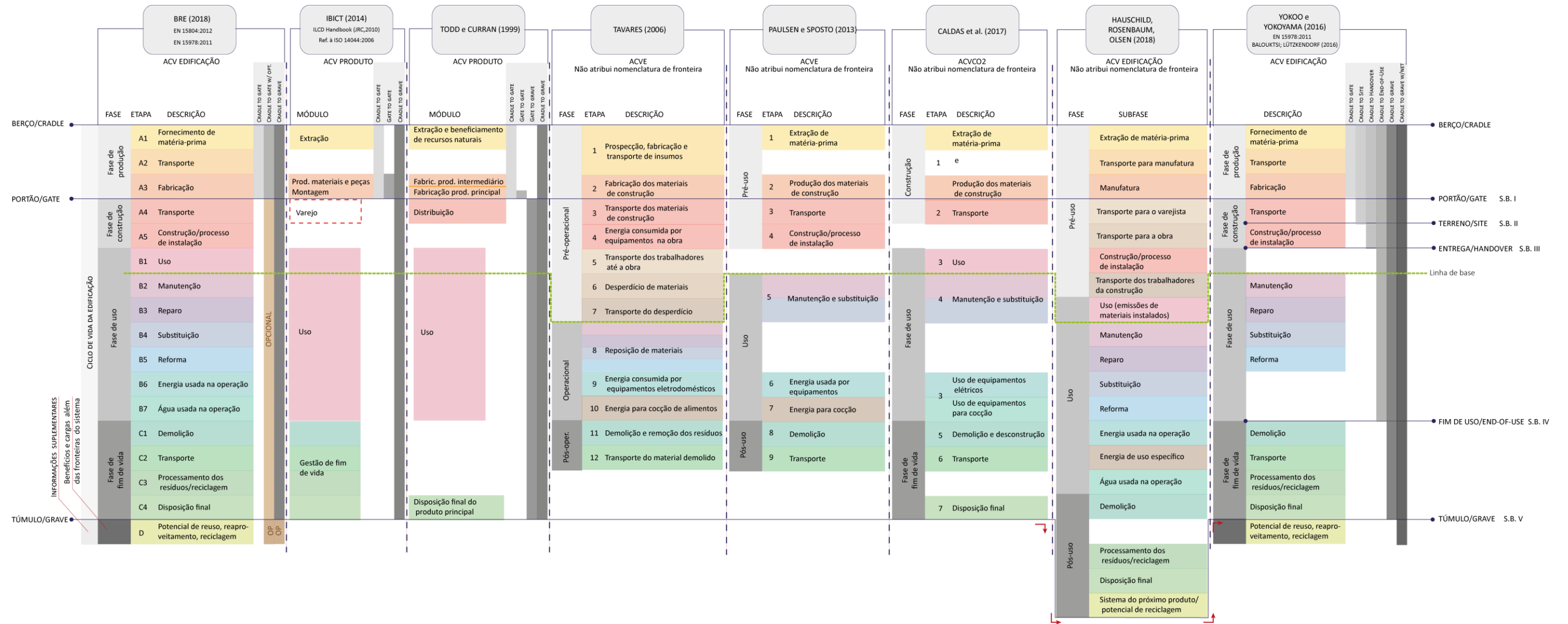
Fonte: Autores, com base em Lützkendorf e Balouktsi (2016).

Já as fronteiras temporais correspondem às etapas ou módulos do processo de qualquer elementos, desde o início ao fim de vida. Existe, entretanto, diversas definições para esses módulos ou divisões entre as etapas, os quais determinam as grandes fases.

Nesse sentido, a Figura 6 demonstra a correlação entre essas fases, etapas e módulos descritos e sugeridos por autores reconhecidos, e a representação das fronteiras do sistema correlatas. Tal ação foi necessária para que, na aplicação da metodologia da presente pesquisa, fosse possível comparar estudos selecionados com base em uma informação unificada, desenvolvida e apresentada nos resultados do Capítulo 3, na página 116.

Como o conceito de “fronteiras do sistema” é intrínseco a ACV, as etapas comparadas referem-se a mesma, e a publicação do BRE (2018), com foco em edificações, é utilizada como referência, por ser a mais discriminada entre todas e servir de base para correlações. Nas indicações do *BRE Global* para análises ambientais e ACV em edificações, as fronteiras temporais do sistema são definidas

Figura 6 – Correlação entre etapas e fases do ciclo de vida de um produto (edificação) entre autores selecionados.



Fonte: Autores.

como berço ao portão (*cradle to gate*), configurando a fase de produção, berço ao portão com opções (*cradle to gate with options*), quando o agente pode optar por avaliar também etapas das fases de construção, de uso e de fim de vida; e, berço ao túmulo (*cradle to grave*), onde todas as fases citadas devem ser avaliadas BRE (2018).

Ainda, as etapas de uma ACV referentes a produtos em geral são incluídas e representadas por Tood e Curran (1999), autores pioneiros e com influência no assunto, e pelo IBICT (2014), por ser o documento indicado pelo PBACV como referencial para avaliações do tipo no Brasil, o que inclui materiais da construção e edificações, já que não há normativa específica para isso a nível nacional.

Na primeira fase de vida do produto, Tood e Curran (1999) destacam a fabricação de produtos intermediários necessários para a fabricação do principal, ou seja, a análise e encargos dos insumos ou produtos já processados devem ser incluídas na avaliação, aumentando os limites da rede analisada. Após o término do processo de fabricação, os autores incluem o transporte até o usuário final pela distribuição. Já o IBICT (2014) determina o módulo “varejo”, não especificando se o mesmo corresponde aos processos de transporte até os locais de venda ou outra ação.

Tanto o documento do IBICT (2014) como Tood e Curran (1999) não discriminam etapas na fase de uso, e isso se deve ao fato de que a maioria dos produtos não sofrem os processos de manutenção, reparo, substituição e reforma, típicos de uma edificação ou sistema edificado. Por esse motivo, o manual do IBICT (2014) carece de informações como guia para ACVs em diferentes setores no Brasil.

A ACVE foi analisada por se aproximar ao escopo do trabalho e por ter suas fronteiras definidas primeiramente por Tavares (2006), onde o autor indica quatro etapas não contempladas por outros autores: a energia ou energético utilizado para cocção, o transporte dos trabalhadores da obra e o desperdício de materiais e seu transporte ainda antes da etapa operacional. O fornecimento e transporte de matéria prima são considerados como uma única fase, e no que diz respeito a etapa operacional, o autor define uma única etapa, chamada de reposição de materiais, que se refere a manutenção, reparo, substituição e reforma.

Tanto Tavares (2006) como Paulsen e Sposto (2013), que também indicam as etapas das fronteiras do sistema para uma ACVE, não incluem o processamento de

resíduos, e logo, a disposição final. Para esses autores, a última etapa considerada é o transporte dos materiais pós demolição. Em 2006, Tavares (2006) identificou que o re-uso e reciclagem dos materiais ocorria de forma tímida no Brasil, e tais serviços acarretavam em custos não aplicados no momento da construção, sendo a deposição do material demolido como entulho a ação mais comum.

Caldas et al. (2017) foi uma das poucas publicações a discriminar as etapas de uma ACVCO₂, para as quais é necessário salientar que a extração da matéria prima e produção de materiais de construção constituem uma única etapa, e, junto ao transporte do materiais até a obra, integram a primeira fase do ciclo de vida, nomeado pelos autores como de “construção”. Essa classificação pode causar uso equivocado ou atribuições de impactos equivocados, uma vez que a “construção” deve ser abordada como um módulo ou processo, com impactos relacionados somente as ações em obra, não correspondendo a uma fase que contempla processos anteriores a essa.

A etapa identificada após o marco de fronteira “túmulo” (*grave*), o potencial de reuso, reaproveitamento e reciclagem, é indicada tanto por BRE (2018) como Yokoo e Yokoyama (2016), sendo considerada além das fronteiras do sistema e não sendo mandatória. Essa etapa, bastante recente e pouco aplicada, refere-se a inclusão de cargas ambientais positivas e benefícios líquidos vindos da energia exportada e materiais, combustíveis ou produtos secundários, resultantes do potencial de reutilização, recuperação e reciclagem dos mesmos quando não associados ao objeto de estudo em outras etapas (WITTSTOCK et al., 2011).

De caráter similar, a última subfase de uma ACV para edificações é apontada por Hauschild, Rosenbaum e Olsen (2018) como sendo o potencial de reciclagem ou sistema do próximo produto, porém está inserida dentro da fase de pós-uso, sendo assim incluída nas fronteiras do sistema. Entretanto os autores salientam que nem todas as subfases precisam ser avaliadas, devendo estabelecer durante o escopo e objetivo da ACV quais serão consideradas (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018).

Por fim, no âmbito internacional, Yokoo e Yokoyama (2016), a partir de referências normativas e publicações europeias, se destacam por indicar mais três marcos às fronteiras do sistema, sendo eles o “terreno”, que define o transporte de materiais até a chegada ao terreno ou local de instalação; a “entrega”, caracterizada

pelo fim do processo de construção ou instalação de algum sistema; e, o “fim de uso”, que determina o fim de uso da edificação ou sistema e marca o início dos módulos da fase de fim de vida. Em comparação ao BRE (2018), as definições de Yokoo e Yokoyama (2016) acrescentam outras três fronteiras passíveis de avaliação: berço ao terreno (*cradle to site*), berço à entrega (*cradle to handover*), e berço ao fim de uso (*cradle to end-of-use*).

Birgisdottir et al. (2017) sugerem que a fronteira “berço a entrega” é o limite temporal mínimo a ser avaliado em uma edificação para a análise dos impactos incorporados, em contrapartida ao “berço ao túmulo”, que seria o recomendado. Ainda, a fronteira temporal do “berço ao portão” é descrita como obrigatória para qualquer produto da construção (BIRGISDOTTIR et al., 2017).

2.3.2. Simplificações

Devido a complexidade do processo regular de uma ACV completa para aplicação em edificações (MARSH; RASMUSSEN; BIRGISDOTTIR, 2018), simplificações são necessárias, mesmo que isso possa comprometer a manifestação de uma situação real, demonstrando, entretanto, resultados bastante confiáveis para situações comparativas ou quando incertezas são consideradas para uma avaliação singular. As ACVs que possuem simplificações, foram chamadas de ACV Modular (ACV-m) em uma avaliação de blocos de concreto pelo Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014), que consideraram somente alguns aspectos ambientais, porém, podem ser nomeadas também e simplesmente de ACV Simplificada ou ACV Parcial, devendo sempre esclarecer qual o enfoque da avaliação.

Hunt et al. (1998) descreve que o objetivo principal das simplificações é tornar a avaliação mais rápida e simples, mas ainda precisa, para que se possa alcançar uma maior utilização e difusão da metodologia. Os autores analisaram dez diferentes ações de simplificação, e concluíram que não é possível elencar um método de simplificação mais exato, onde a análise repercurte resultados mais próximos aos de uma ACV completa (HUNT et al., 1998).

Dentre as ações analisadas, estavam aquelas que limitam fases ou etapas, limitações de representatividade da massa dos materiais em 10% e 30% em relação ao total do inventário, e utilização de dados primários⁵ (HUNT et al., 1998). Hunt et al. (1998) destacam que as simplificações ou cortes devem ser discernidos de acordo com o objetivo de cada avaliação, sendo fundamental a sensibilidade do agente quanto a consideração ou não de aspectos que possam ter influência sensível nos resultados.

Para Marsh, Rasmussen e Birgisdottir (2018), uma das conduções de simplificação mais comumente utilizada é a limitação dos estágios ou etapas a serem consideradas nas análises, podendo excluir desde etapas singulares até um estágio inteiro do ciclo de vida. Limitações de dados considerados no inventário também são simplificações, quando alguns materiais são omitidos das análises ou até partes ou sistemas são excluídos, quando considerados pelo agente como de pouca contribuição para o resultado final (MARSH; RASMUSSEN; BIRGISDOTTIR, 2018), corroborando as indicações de Hunt et al. (1998). A aplicação de ACVs de partes específicas de uma edificação, como componentes ou sistemas, possui maior ocorrência em estudos do tipo quando comparados a realização para edificações completas (ORTIZ; CASTELLS; SONNEMANN, 2009)

Isso posto, a análise energética, oficialmente nomeada de Avaliação do Ciclo de Vida Energético – ACVE –, e a análise das emissões, Avaliação do Ciclo de Vida de Emissões do Dióxido de Carbono – ACVCO₂ ou CO₂ eq. –, são consideradas simplificações (TAVARES, 2006), mesmo quando não identificadas ou nomeadas por autores dessa forma. Postay (2015) argumenta que, embora elas sejam derivadas da ACV completa, as mesmas perdem a característica de multianálise, por se concentrarem apenas aos dados de influência dos impactos ambientais em foco, ou seja, energéticos diretos e indiretos, independente do estágio do ciclo de vida.

A exemplo de uma simplificação relativa aos dados de entrada em uma avaliação já simplificada quanto aos impactos ambientais que são considerados, como a ACVE, Paulsen e Sposto (2013), Oliveira (2015b), Pedroso (2015) e Caldas (2016) realizam a análise energética também para a etapa operacional de edificações,

⁵ Dados primários resultam de levantamento no local de produção do material ou sistema que se quer avaliar. Dados secundários são aqueles oriundos da literatura ou banco de dados já publicados.

considerando o consumo de energia durante essa constante ao longo da vida útil, seja, em operação.

2.4. ENERGIA E CARBONO INCORPORADOS

No que se refere à energia incorporada (EI), existe uma gama de conceitos e definições, e, estabelecido como consequência dessa, também para o carbono incorporado (CI). Hammond e Jones (2008) definem a EI como aquela obtida da energia primária consumida durante o ciclo de vida de um produto ou material, sendo as fronteiras do sistema ideais de avaliação desde extração da matéria prima até o fim de vida, e as mínimas, a extração da matéria prima até a chegada do material no local de utilização. O mesmo ocorre para o carbono incorporado, mas com obtenção a partir das emissões liberadas durante esse ciclo de vida.

Tavares (2006), que chama a energia incorporada também de embutida, para o ciclo de vida energético da edificação, define a energia incorporada em inicial, da extração da matéria prima até o transporte para o local da obra, e de manutenção, durante o período de operação do edifício, considerando fontes de energia renováveis e não-renováveis. A energia incorporada inicial ainda é classificada como por consumo direto e indireto, com base na série de normas ISO 14040: o consumo direto refere-se aos requisitos energéticos de processo dentro da fábrica para fabricar ou transformar um material; já os indiretos referem-se a “extração e beneficiamento das matérias-primas dos materiais de construção, o transporte destas para as fábricas e posteriormente dos produtos acabados para os canteiros de obras” (TAVARES, 2006, p. 57), e também a energia despendida na execução da obra. Tais energias também são expressas em energia primária, discriminadas pelas fontes de energia das quais derivam: renováveis ou não renováveis.

Da mesma forma, Dixit et al. (2010) diferem a energia incorporada em direta e indireta, entretanto, para os autores, a direta diz respeito a etapa de construção da edificação e montagem de sistemas no local da obra, pré-fabricação de materiais fora do local da obra, e o transporte envolvido durante essas duas situações; já a indireta refere-se a fabricação dos materiais e componentes, sendo nomeada como energia

incorporada inicial, considerando os processos de extração da matéria prima, manufatura e transporte desses até a obra; recorrente, durante os processos de manutenção e reforma; de demolição, sendo a energia necessária para a desconstrução e destino final dos materiais; e, de operação, que diz respeito a energia requerida pelos serviços elétricos e mecânicos durante a fase de uso da edificação.

Já Ramesh, Prakash e Shukla (2010) categorizam a energia incorporada em inicial e recorrente. A extração da matéria prima, manufatura, utilização dos materiais no canteiro de obras, e o transporte entre essas três etapas delimitam a energia incorporada inicial; já a energia utilizada para manutenção, reparos e reposição de materiais é definida como incorporada recorrente. Dixit, Culp e Fernández-Solís (2013) destacam que a energia incorporada é toda aquela que não é utilizada no período de uso da edificação para condicionamento térmico do espaço, aquecimento de água, iluminação, equipamentos e outras atividades operacionais similares.

Yokoo e Yokoyama (2016), para o relatório da Avaliação da Energia Incorporada e Emissões de GEE para a Construção Civil, da Agência Internacional de Energia (IEA), utilizam a definição de Hammond e Jones (2008), e atentam que a maioria das definições indicam a energia incorporada a partir do consumo de energia primária não renovável, sugerindo que a energia renovável deve ser considerada de igual forma, mesmo que a mesma tenha que ser reportada separadamente.

Em relação ao carbono incorporado, Yokoo e Yokoyama (2016) descrevem que o mesmo está associado ao consumo de energia incorporada e aos processos químicos, e que são os gases emitidos pelos processos de formação de uma edificação, reforma e manutenção, em termos de dióxido de carbono equivalente. Os autores ainda ressaltam que o termo carbono incorporado pode ser referência ao dióxido de carbono incorporado, ao dióxido de carbono equivalente incorporado, e também aos GEE incorporados, devendo ser sendo explicitado qual deles é utilizado para análise.

Para o IPCC (2018), a energia incorporada é aquela utilizada para a produção de uma substância material ou produto, “levando em consideração a energia usada nas instalações de fabricação, a energia usada na produção dos materiais que são usados nas instalações de fabricação e assim por diante” (p.1261, tradução nossa).

Já as emissões são classificadas em sete grupos pelo painel (IPCC, 2018), dentre os quais estão as emissões incorporadas, diretas e indiretas: as primeiras

dizem respeito as que “decorrem da produção ou entrega de um bem ou serviço ou da construção de infraestrutura” (p. 1260, tradução nossa); as segundas são emissões fisicamente resultantes de atividades com fronteiras bem definidas; enquanto que as indiretas são consequências dessas atividades, estando relacionadas a elas, mas surgem fora das fronteiras definidas.

Ainda, o carbono incorporado é definido pelo WGBC (2019) como as emissões de GEE associadas aos processos de materiais e de construção em todo o ciclo de vida de uma edificação ou infraestrutura, enfatizando o processo de carbonatação do concreto durante a fase de uso.

Em 2019, Dixit (2019) reportou que essa variedade de definições de energia incorporada junto a diferentes processos e etapas considerados para os cálculos dificultam a comparação entre estudos. Da mesma forma, Pasanen e Castro (2019) relatam que o carbono incorporado ainda não está bem esclarecido no setor da construção civil, e a diversificação de métodos e abordagens para estimar o mesmo ao redor do mundo é um dos indicadores desse desconhecimento.

2.5. CONTABILIZAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE

Atualmente, as estimativas de emissões dos GEE são implementadas largamente utilizando as orientações do IPCC, por sua completude e base científica, sendo indicadas na maioria dos estudos de GEE e referenciadas por métodos e softwares de diferentes países. Em 2006, o IPCC divulgou o quarto documento da categoria de relatório de metodologia contendo diretrizes para a realização de inventários nacionais de GEE, doze anos após o lançamento da primeira elaboração.

O IPCC indica instruções para as estimativas de emissões GEE para cinco grandes setores, agrupados devido a congruência quanto aos processos, fontes e semidouros: energia; processos industriais e uso de produto (PIUP, sigla em inglês *IPPU*); agricultura, silvicultura e outros usos da terra (sigla em inglês *AFOLU*); resíduos; e outros. Cada setor é composto por categorias (ex. transporte), as quais dividem-se em sub-categorias (ex. carro), sendo essas a base para os inventários nacionais (IPCC, 2006).

A realização do inventário deve ser realizada considerando os dados no ano para o qual as estimativas estão sendo realizadas (IPCC, 2006). De acordo com o relatório (IPCC, 2006), quando não há dados disponíveis de um determinado ano, deve-se estimar valores com base em anos anteriores, calculando a média, interpolação e extrapolação dos mesmos.

Os métodos para estimar as emissões baseiam-se em uma abordagem metodológica simples, interpretada pelo IPCC como a combinação de informações da extensão de uma atividade humana, nomeada “dados de atividade” (originalmente em inglês *activity data*) ou “AD”, e de coeficientes quantificadores das emissões ou remoções para cada unidade de atividade, sendo chamados de “fatores de emissão” (originalmente em inglês *emission factors*) ou “EF” (FE). Assim, a multiplicação desses valores resultam nas emissões de uma dada unidade funcional.

Alguns conceitos são utilizados para os métodos de inventários indicados pelo IPCC: boas práticas, para aqueles que não superestimam e nem subestimam os resultados, “até onde onde podem ser julgados, e nos quais as incertezas são minimizadas tanto quanto possível” (IPCC, 2006, p. 6, tradução nossa); níveis, divididos de acordo com a complexidade metodológica, sendo o 1 para o nível básico, 2 para o intermediário e 3 para o mais complexo, com os dois últimos mais precisos; dados padrão, diz respeito a disponibilidade de métodos e dados nacionais ou internacionais referentes ao nível 1, devendo ser viáveis para realização por todos os países; categorias chave, utilizado para identificar a categoria de maior influência no inventário total de GEE e que, conseqüentemente, requer maior atenção; e por fim, árvore de decisão, com função de auxiliar o usuário na seleção de metodologias apropriadas dentro do contexto de realização do inventário, sendo recomendado sempre os métodos de níveis mais altos para as categorias-chave (IPCC, 2006).

A qualidade dos inventários são atestadas por indicadores, quais sejam: transparência (quanto ao processo), atendendo o conceito de boas práticas; completude, devendo todos os dados serem reportados, inclusive quando faltantes; consistência, no que diz respeito à utilização de iguais métodos e fonte de dados a fins de comparação entre as estimativas de diferentes anos; comparabilidade, permitindo comparações entre inventários de diferentes países; e precisão, evitando as tendenciosidades, também referenciando o conceito de boas práticas (IPCC, 2006).

Para o setor da construção civil, os setores de energia e IPPU são fundamentalmente considerados, principalmente quanto às variáveis a serem analisadas durante o processos produtivos de matérias primas, como os produtos da indústria do metal. Entretanto, a base dos cálculos do IPCC (2006) envolve o valor de fatores de emissão de cada material, não sendo disponibilizado base de dados para referência, e não havendo especificações e indicações para pesquisas pelo usuário.

Lobo (2010) afirma que as emissões de GEE, principalmente do CO₂, podem ser estimadas através da análise energética de uma edificação, abordagem aprovada pelo IPCC, desde que se respeitem as fontes energéticas do contexto de realização. Tavares e Lamberts (2005) indicam que esse método de discriminação do inventário energético e das fontes de energia resulta na geração equivalente de CO₂ em uma atividade, surgindo o conceito de carbono incorporado, nomeado embutido pelos autores.

2.5.1. Quantificação de GEE em edificações

Costa (2012) argumenta que até o desenvolvimento da metodologia QE-CO₂, elaborada pelo autor, nenhum método de quantificação das emissões de GEE adaptado à realidade brasileira havia sido identificado. Isso porque, considerando a relação direta das emissões de GEE ao uso energético durante a fase de produção, a matriz elétrica brasileira é composta por um percentual significativo de fontes renováveis, alterando os valores de gastos energéticos atribuídos aos materiais em banco de dados e métodos de cálculo internacionais.

Entretanto, Tavares (2006), no desenvolvimento de sua metodologia de Análise Energética das Edificações Brasileiras, apresentada em sua tese, desagrega o conteúdo energético de diversos materiais da construção para o contexto brasileiro, considerando extração, transporte e processamento dos mesmos. Essa discriminação configura a energia incorporada desses materiais, composta pelos percentuais de fontes renováveis, não renováveis e eletricidade, a partir das quais é possível contabilizar as emissões de CO₂ de cada material a partir da consideração das emissões de cada fonte energética.

De acordo com o autor, 10 dos 26 materiais analisados eram responsáveis por mais de 90% da energia consumida, considerando todo o ciclo de vida da edificação, e a cerâmica vermelha, o cimento e o aço os principais consumidores quanto à energia incorporada, sendo os dois primeiros os principais emissores de dióxido de carbono entre os analisados (TAVARES, 2006).

A metodologia de Costa (2012) difere-se da apresentada por Tavares (2006) no que diz respeito, principalmente, a especificidade do trabalho quando às emissões de CO₂ e a utilização de fatores de emissão devido a utilização de um produto em edificações calculados pelo autor, e não a partir da discriminação dos insumos energéticos por material como Tavares (2006). Esses fatores de emissão são médios e foram estimados pelas emissões do setor de energia e transporte para agregados, cal virgem e hidratada, cimento, gesso, aço, alumínio, argamassa, cerâmica, concreto, madeira, plástico e vidro.

De maneira geral, o procedimento de cálculo utilizado por Costa (2012) considera a relação entre a quantidade de material ou produto considerando as perdas, o transporte entre extração e indústria e, entre indústria e obra (para os níveis intermediário e avançado), além dos insumos energéticos durante a extração e processamento. Nesse sentido, para os níveis que não o básico, a complexidade e dificuldade na obtenção dos dados é uma limitação, o que não inviabiliza ou desqualifica os procedimentos de cálculo do autor.

Ademais, os fatores de emissão disponibilizados por Costa (2012) são aqueles aptos a serem utilizados para o nível básico, ou seja, as emissões de transporte estão atreladas ao valor apresentado, e referem-se, além do combustível utilizado nos equipamentos e máquinas durante a extração e processamento e transporte entre esses, uma distância média entre locais de fabricação e uma obra fictícia no Rio de Janeiro, RJ. Como consequência, não é possível definir as emissões desse último deslocamento, seja, da fronteira “portão à obra”.

Já o *Greenhouse Gas (GHG) Protocol*, criado em 1998 pelas organizações *World Resources Institute (WRI)* e *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, em conjunto com outras organizações não governamentais, governos e outras entidades, objetiva uma economia mundial de baixa emissão a partir do desenvolvimento de métodos de quantificação e monitoramento de emissões de GEE, bem como normatizações, a serem aceitas e utilizadas mundialmente,

utilizando dados já globalizados, como os disponibilizados pelos relatórios do IPCC (WRI; WBCSD, 2011). Em 2001, foram publicadas ferramentas específicas de quantificação de emissões de GEE para diferentes setores, com um segmento de aplicação para países, estados e municípios e outro para empresas corporativas (MACIEL, 2016).

Para a realização de um inventário pelo método *GHG Protocol*, é necessário que a empresa ou órgão estabeleça limites geográficos (local de levantamento das emissões), organizacionais (quais instalações serão consideradas) e operacionais (quais operações serão levantadas) (FLIZIKOWSKI, 2012). Já as fontes de emissão devem ser classificadas em escopos: o primeiro diz respeito as emissões diretas da empresa, como os processos de fabricação ou transporte da própria empresa; o segundo compreende as emissões indiretas, como a eletricidade; e o terceiro integra todas as outras emissões atribuídas à empresa, como os serviços terceirizados (FLIZIKOWSKI, 2012).

Em 2008, com iniciativa do governo brasileiro através do Ministério do Meio Ambiente e parceria com o Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGV), o Programa Brasileiro *GHG Protocol* foi lançado, com o intuito de promover o uso pelas empresas brasileiras e contribuir para o inventário de GEE nacional. Entretanto, de acordo com Costa (2012), é necessário conhecimento prévio para a utilização das planilhas disponibilizadas pelo método, uma vez que os dados devem ser inseridos pelo usuário.

Ainda, existem softwares que utilizam a ACV como conceito para suas simulações, como BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) e *Athena EcoCalculator*, que podem ser utilizados como ferramentas de apoio ou facilitadores para a análise de impactos ambientais. Entretanto, para a realização de estimativas de emissões, ambos apresentam-se inflexíveis quanto a adição de sistemas e materiais customizados, além de utilizarem dados de entrada norte-americanos (COSTA, 2012).

Já o software *Umberto Efficiency+*, da empresa alemã *Handelsregister Hamburg*, realiza o cálculo da pegada de carbono, utilizando como base de dados principal a Ecoinvent (IFU, 2019a). Entretanto, o software possui maiores recursos para a análise de custos de perdas de material no processo de produção e manufatura

(IFU, 2019b), além da falta de informações detalhadas sobre a origem de dados utilizada e processos considerados.

Outros, como SimaPro e GaBi, contém um banco de dados vasto, sendo possível ainda a inserção de valores calculados pelo usuário (MARCOS, 2009), e são softwares que aplicam, sobretudo, uma abordagem de processos, onde devem ser especificadas as entradas por fluxos de balanço de massas (quantidades). O software GaBi, desenvolvido pela empresa alemã *Thinkstep*, permite o cálculo da pegada de carbono de um produto, utilizando como base metodológica a ISO14067, PAS 2050 e o *GHG Protocol* (GaBi, 2019), porém não apresenta claramente a origem dos dados referentes a cada processo (COSTA, 2012). Já o SimaPro, da empresa holandesa PRÉ Sustainability, disponibiliza diversos métodos de cálculo, sendo o BEES, o *GHG Protocol* e o IPCC (2013a) alguns deles, além de base de dados variadas e diferentes categorias de impacto (PRÉ et al., 2019).

Ambos softwares se mostram mais adaptáveis a outras localidades que não sua origem, pois, apesar de utilizar bancos de dados consolidados internacionais, permitem alteração da matriz energética de algumas entradas como base para as simulações. Permitem ainda a entrada manual de alguns valores pelo usuário. Entretanto, o que impede sua disseminação são os custos de aquisição e complexidade de manuseio.

A título de exemplo, o software SimaPro 8.0 foi utilizado em uma ACV de berço ao portão (*cradle-to-gate*) realizada por Medeiros (2016) para uma edificação no Mato Grosso, com o objetivo de avaliar sete diferentes categorias de impacto ambiental, considerando os sistemas fundação, superestrutura, vedação, cobertura, esquadrias e revestimentos. A autora destaca as dificuldades encontradas com o uso do software, tais como: escolha de metodologia de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV), devido a falta de consenso sobre a mais adequada para a realidade brasileira; e sete materiais não encontrados na base de dados utilizada (Ecoinvent), sendo necessário uma modelagem simplificada considerando processos de fabricação europeus.

CAPÍTULO 3

REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Revisões Sistemáticas de Literatura (RSL) são empregadas como meio de identificar, avaliar e interpretar aspectos essenciais de toda pesquisa realizada sobre determinado assunto, em busca de informações específicas sobre um tópico ou de uma resposta para determinada pergunta ou fenômeno (KITCHENHAM, 2004). Buscando encontrar a melhor evidência sobre os fatos, Kitchenham (2004, p. 1 - 2, tradução nossa) descreve as razões para a aplicação da metodologia:

Para sumarizar a evidência existente sobre algum tratamento ou tecnologia (...); para identificar quaisquer lacunas na pesquisa em desenvolvimento a fim de indicar áreas de investigação; e, para fornecer a conjuntura, o histórico, e estado da arte para indicar novas atividades de pesquisa (KITCHENHAM, 2004, p. 1 - 2, tradução nossa).

Essa metodologia de pesquisa científica vem sendo utilizadas recentemente na área da construção civil, a exemplo de Benachio, Freitas e Tavares (2020), Leitner, Sotsek e Santos (2020), Munaro, Tavares e Bragança (2020), Araújo Carneiro e Palha (2020) e Arioli et al. (2020). Entretanto, as prescrições para a condução desse tipo de metodologia são encontradas em pesquisas científicas de outras áreas do conhecimento, que têm consolidado tal procedimento e vêm desenvolvendo orientações e protocolos orientados para suas necessidades.

De acordo com Briner e Denyer (2012), as etapas e processos de uma revisão desse tipo podem variar de acordo a pesquisa e a pergunta a qual se quer responder, sendo excluídas ou até mais detalhadas que o recomendado. Os autores, assim como Tranfield, Denyer e Smart (2003), explicitam que a condução desse tipo de trabalho deve seguir princípios, sendo eles: sistematicidade, transparência e replicabilidade, além da demonstração de maneira estruturada e organizada dos resultados relativos à questão formulada inicialmente (BRINER; DENYER, 2012).

O aprimoramento da legitimidade e autoridade das evidências resultantes de uma RSL dependem, sobretudo, da aplicação desses princípios específicos (MUNARO; TAVARES; BRAGANÇA, 2020). No entanto, apesar de seguir os mesmos princípios e objetivo principal, as etapas de uma revisão sistemática de literatura são definidas diferentemente entre autores.

Tranfield, Denyer e Smart (2003), descrevem três estágios para a condução de uma revisão sistemática, sendo eles: planejamento da revisão, com três fases; condução da revisão, dividido em cinco fases; e apresentação e disseminação, finalizando com duas fases. De maneira similar, Kitchenham (2004) sugere esses mesmos estágios para o desenvolvimento de uma RSL, com diferenciação de nomenclatura entre as fases e de somente especificar o relatório dos resultados na última etapa.

Tanto Tranfield, Denyer e Smart (2003) como Kitchenham (2004) utilizam como base para conduzir uma revisão sistemática o documento chamado *Cochrane Reviewers' Handbook* (ALDERSON; GREEN; HIGGINS, 2004), direcionado para pesquisas da área da saúde. Contudo, os primeiros autores aplicam tal metodologia para pesquisas científicas da área da administração, enquanto a segunda autora especifica as orientações para a área da engenharia da computação, demonstrando a possibilidade de aplicação do mesmo fluxo de execução da pesquisa em diferentes áreas.

Já nas Ciências Sociais, Littell, Corcoran e Pillai (2008) organizam a metodologia de revisão em seis etapas: formulação do tópico da pesquisa, planejamento geral, com o desenvolvimento de um protocolo de pesquisa, a definição do procedimento de amostragem dos estudos, coleta de dados, análise de dados e, por fim, o relato do estudo. Outras cinco etapas chave são descritas por Briner e Denyer (2012): identificação da pergunta de pesquisa, definição dos locais de pesquisa e de estudos relevantes, com o desenvolvimento de protocolo de pesquisa, avaliação crítica dos estudos, análise e síntese dos resultados extraídos de cada estudo, e por fim, a disseminação dos resultados da revisão executada.

A organização de uma RSL por Littell, Corcoran e Pillai (2008) e por Briner e Denyer (2012) se assemelham as duas primeiras em relação à determinação das fases a serem executadas, havendo uma correlação entre os estágios estabelecidos.

A Figura 7 demonstra os estágios/etapas e fases mencionados, agrupando correlativamente os estágios chave.

Na Ciência da Educação, área em que a RSL é de aplicação recente e ainda pouco utilizada, Faria (2019) justifica a importância dessa metodologia pelo aumento exponencial de índices de produtividade bibliográfica, além do acesso globalizado à internet e informações, tópicos esses aplicáveis amplamente em todas as Ciências. Dentre outros autores, Tranfield, Denyer e Smart (2003) são utilizados como base para a definição do processo de RSL na obra, evidenciando a apropriação da produção de outras áreas científicas.

Com relação à sumarização e dados estatísticos das publicações, a bibliometria é referenciada como método, utilizada principalmente para a análise quantitativa de uma seleção específica de estudos, como a realizada por uma RSL, possibilitando “situar um país em relação ao mundo, uma instituição em relação a um país, e cientistas individuais em relação às próprias comunidades científicas” (SOARES et al., 2016, p. 177). A bibliometria, através de análises numéricas simples, auxilia na identificação das tendências demonstradas pelo conjunto das publicações, como o crescimento e dispersão, ou o oposto, de dado conhecimento ou assunto ao longo do tempo, métricas de autores e correspondentes instituições, e também o meio de divulgação, nomeadamente mais utilizado (SOARES et al., 2016).

3.1. CONSTRUÇÃO CIVIL

A aplicação da RSL, com metanálise, como metodologia de pesquisa sobre tema similar ao do presente trabalho foi utilizada por Miranda (2012) para definir um fator de emissão estimado de GEE único, a partir da Avaliação do Ciclo de Vida, da matriz de energia elétrica brasileira. Para isso, a autora considerou estudos que apresentavam dados de estimativas de GEE e ACV das tecnologias geradoras de energia elétrica no Brasil, selecionando e harmonizando os valores numéricos encontrados na bibliografia.

Figura 7 – Correlação entre etapas e fases de uma revisão sistemática entre autores selecionados.



Fonte: Autores.

Benachio, Freitas e Tavares (2020) e Munaro, Tavares e Bragança (2020) abordaram a Economia Circular e a Indústria da Construção, conduzindo uma RSL contendo, respectivamente, 45 e 318 artigos analisados. Em ambos, nos trabalhos analisados foram identificadas lacunas do conhecimento e de pesquisa; o primeiro identificou as práticas da Economia Circular na Indústria da Construção de acordo com os estágios do ciclo de vida; e o segundo identificou a necessidade de suporte estatal, como subsídios, leis e incentivos, para a introdução dos princípios circulares na construção civil objetivando um contexto sustentável.

Araújo Carneiro e Palha (2020) investigaram aspectos da gestão sustentável de obras por meio de uma RSL, apresentando o estado da arte, análise bibliométrica e lacunas identificadas na literatura, utilizando métodos quantitativos e qualitativos de análise de dados. Já Leitner, Sotsek e Santos (2020) realizaram uma investigação sobre a atual condução e critérios utilizados em avaliações pós-ocupação (APO) de edificações por meio da análise de 55 artigos selecionados. As autoras identificaram o uso de múltiplos métodos, os critérios de avaliação mais frequentemente utilizados e uma análise sobre o tempo empregado para a condução de uma APO.

Já sobre emissões de gases do efeito estufa, Arioli et al. (2020) desenvolveram uma RSL sobre os métodos de inventário de emissões na escala urbana, a fim de identificar os métodos utilizados mundialmente e sua evolução, além das estimativas de emissões sobre transporte e dados utilizados. Na análise de uma seleção de 40 artigos, os métodos evoluem de um referencial para uma variedade de adaptações e níveis complexidade, bem como uma tendência entre alguns locais, e há falta de dados e análises sobre as emissões pelo transporte, bem como o uso de diversas fontes e tipos de dados.

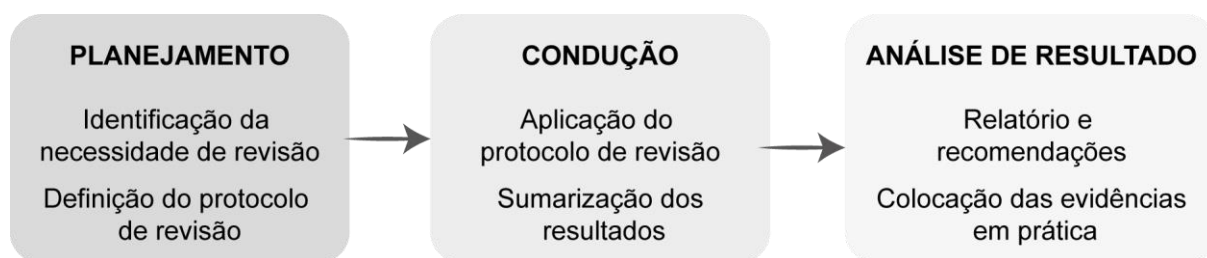
3.2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA COMO MÉTODO DE PESQUISA

Para que se possa identificar o panorama brasileiro sobre as estimativas de GEE no setor da construção civil brasileiro, em específico as quantificações incorporadas, é preciso analisar as produções técnicas da área, sendo a Revisão

Sistemática de Literatura uma maneira apropriada, uma vez que é eficaz para sumarizar informações existentes sobre determinado tema de maneira imparcial e completa (KITCHENHAM, 2004).

A Figura 8 apresenta as etapas adotadas para a RSL desenvolvida nesse estudo, bem como a definição das fases, seja, as ações necessárias em cada etapa da revisão. Para a determinação das etapas, foram considerados como base referencial as abordagens de Tranfield, Denyer e Smart (2003) e Kitchenham (2004), já aplicados em estudos desenvolvidos na área da construção civil no Brasil (MIRANDA, 2012; BENACHIO; FREITAS; TAVARES, 2020; MUNARO; TAVARES; BRAGANÇA, 2020; ARIOLI et al. 2020).

Figura 8 – Definição dos estágios e etapas da revisão sistemática de literatura.



Fonte: Autores.

3.2.1. Planejamento

O planejamento é a primeira ação a ser desenvolvida, uma vez que é através dele, posteriormente a uma investigação exploratória sobre determinado tema, que ocorre a identificação primeira de um suposto problema de pesquisa e que precisa ser investigado de modo diferenciado às revisões de literatura descritivas. Nesse caso, a primeira etapa desse estágio é garantir a necessidade de uma revisão sistemática, e, em sequência, o desenvolvimento de um planejamento para a condução da pesquisa, possibilitando a transparência do processo e a replicabilidade, definido como protocolo.

3.2.1.1. *Identificação da necessidade de revisão*

A exigência de síntese de informações existentes sobre algum fenômeno de forma completa é o que define a necessidade de uma RSL (KITCHENHAM, 2004). Assim, a revisão do referencial teórico por meio de uma revisão de literatura inicial, descritiva, desenvolvida no Capítulo 2 mostrou a necessidade de atentar para metodologias de quantificação de emissões de GEE referentes ao setor da construção civil no Brasil.

Através de trabalhos previamente selecionados sobre o tema e pesquisa exploratória em bases de trabalhos científicos, identificou-se que há uma produção científica notável sobre o assunto a nível internacional. Já em nível nacional, os trabalhos nessa área iniciaram com maior frequência após a instituição da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), realizada pela Lei nº. 12.187 em 2009, e regulamentada pelo Decreto nº 7.390/2010 (BRASIL, 2010), revogado pelo atual Decreto nº 9.578/2018 (BRASIL, 2018e).

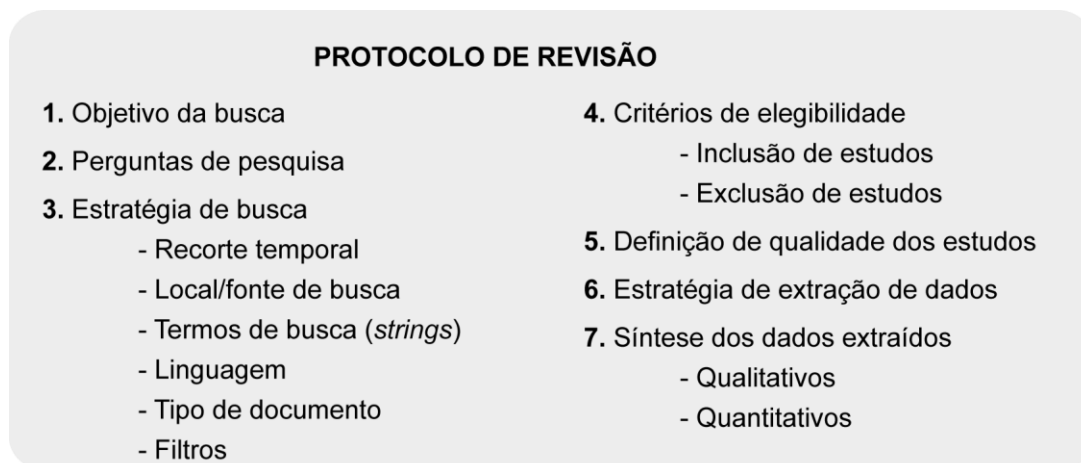
Especificamente nos trabalhos brasileiros, sejam artigos científicos, dissertações ou teses, foi possível identificar a aplicação variada de métodos de quantificação para estimar as emissões de GEE do setor no Brasil, bem como diferentes fontes de dados utilizadas. Ainda, notou-se a falta de consenso e discussão sobre a aplicação dessas metodologias no que diz respeito à etapa pré-obra, uma vez que, para a etapa operacional da edificação, a ACV se apóia em normativas brasileiras já estabelecidas, como aquelas que se referem ao condicionamento térmico de edificações e citadas na NBR 15.575 (ABNT, 2013), e que colaboram para uma maior padronização de procedimentos.

3.2.1.2. *Definição do protocolo de revisão*

Apesar da distinção de etapas e estágios/fases, a determinação do processo e limites de uma RSL é enfatizado pela aplicação de protocolos de pesquisa, que devem ser explícitos e seguidos rigidamente depois de sua definição, permitindo a replicação do estudo. Ainda, o desenvolvimento do protocolo de revisão depende da natureza da

pesquisa, ou seja, é necessário que os critérios do protocolo estejam de acordo com a área e assunto a ser estudado (KITCHENHAM, 2004).

Figura 9 – Definição do protocolo de pesquisa.



Fonte: A autora, com base em Kitchenham (2004) e Littell, Corcoran e Pillai (2008).

Nesse sentido, as orientações de Kitchenham (2004) e Littell, Corcoran e Pillai (2008) apresentam-se transparentes e flexíveis de adaptação, sendo justificável para servir de base para o desenvolvimento de protocolos de uma RSL em outras áreas, como a construção civil. Dessa forma, o protocolo desenvolvido e adotado para a presente pesquisa foi dividido em sete ações (Figura 9), sendo todas elas, com exceção da ação 3, uniforme entre as bases de pesquisa, e são descritas a seguir.

OBJETIVO DA BUSCA

O objetivo de busca da revisão é encontrar estudos nacionais que quantificam as emissões incorporadas de GEE na construção civil, que indiquem ou não os dados de fatores de emissão utilizados.

PERGUNTAS DE PESQUISA

As perguntas que se propõe responder com a realização da RSL é:

- Qual é o método de quantificação de gases do efeito estufa incorporado está sendo utilizado em estudos da área da construção civil no Brasil?
- Qual a fonte e natureza de dados dos fatores de emissão dos materiais de construção utilizados em estudos da área da construção civil no Brasil?

ESTRATÉGIA DE BUSCA

As ações de estratégia de busca precisaram ser especificadas para cada fonte de busca, uma vez que o resultado para cada uma delas depende das definições preenchidas. Nesse caso, as Figuras 10, 11, 12, 13 e 14 demonstram, respectivamente, as estratégias de busca no Portal de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e nas bases *Engineering Village*, *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*.

Figura 10 – Estratégias de busca para o Portal de Teses e Dissertações da CAPES

A	DISSERTAÇÕES E TESES	Filtros
Recorte temporal	2010-2020	Grande Área do conhecimento
Local/fonte da busca	Catálogo de teses e dissertações - CAPES	- Ciências Sociais Aplicadas
Termos de busca	1 "emissões" OR "emissão" OR "ciclo de vida" OR "carbono incorporado" OR "CO" AND "construção" OR "edificação"	- Engenharias
	2 "emissões" OR "emissão" OR "ciclo de vida" OR "carbono incorporado" OR "CO"	- Multidisciplinar
Idioma	Português	Área Conhecimento
Tipo de documento	Teses e dissertações de pós-graduações stricto sensu	-Aproveitamento de/a Energia
		- Arquitetura e Urbanismo
		- Ciências Ambientais
		- Engenharia Civil
		- Engenharia de Materiais e Metalúrgica
		- Engenharia de Produção
		- Engenharia Sanitária
		- Engenharia/tecnologia/gestão
		- Interdisciplinar
		- Materiais
		- Planejamento Urbano e Regional

Fonte: A autora

O Portal de Teses e Dissertações da CAPES foi incluído na análise por apresentar as produções científicas acadêmicas de pós-graduação do país, com respaldo do órgão maior de referência nesse tipo de estudo. Já as fontes de busca de artigos de pesquisa foi realizada em bases de dados aceitas no campo científico e

acadêmico, e foram definidas por: 1) Ser referência na área de pesquisa (*Engineering Village*); 2) Contemplar grande quantidade de estudos de diversas áreas (*Science Direct* e *Scopus*), 3) além da produção em periódicos brasileiros (*Web of Science*).

Figura 11 – Estratégias de busca para a base Engineering Village

<i>B</i>	ARTIGOS CIENTÍFICOS
Recorte temporal	2010-2020
Local/fonte da busca	Compendex - Engineering Village
Termos de busca	ABSTRACT and KEYWORDS and TITLE ("carbon" OR "carbon emission" OR "LCA" OR 1 "GHG" OR "greenhouse gases") AND ("construction" OR "building" OR "civil construction") "carbon" OR "carbon emission" OR "LCA" OR 2 "GHG" OR "greenhouse gases" AND "construction" OR "building" OR "civil construction"
Idioma	Inglês
Tipo de documento	Journal articles
Filtros	Country/region - Brazil

Fonte: A autora

O recorte temporal definido para a RSL foi estabelecido com base na pesquisa exploratória (referencial teórico), e definido entre os anos de 2010 e 2020. Tal busca limitou-se até o mês de abril de 2020, logo, trabalhos posteriores a essa data não foram contabilizados. A *string* de busca foi determinada com base no referencial teórico, utilizando palavras-chave identificadas em publicações sobre o assunto e tema.

Para o Portal de Teses e Dissertações da CAPES, foram considerados somente os trabalhos de programas de pós-graduação *strictu sensu*. Os termos de busca descritos como 1 resultaram em 761 dissertações e 391 teses, que, após a aplicação dos filtros, contabilizaram, respectivamente, 101 e 19. Dessa forma, optou-

se por redefinir os termos para uma segunda execução, que respondeu com 18007 dissertações e 9504 teses, e, após a aplicação dos filtros “Grandes Áreas do Conhecimento” e “Área Conhecimento”, finalizou com 4095 trabalhos, sendo 3023 dissertações e 1072 teses.

Figura 12 – Estratégias de busca para a base *Science Direct*.

C	ARTIGOS CIENTÍFICOS
Recorte temporal	2010-2020
Local/fonte da busca	Science Direct
Termos de busca	ABSTRACT and KEYWORDS and TITLE "carbon" OR "carbon emission" OR "LCA" OR "GHG" OR "greenhouse gases" AND "construction" OR "building" OR "civil construction"
Idioma	Inglês
Tipo de documento	Research articles
Filtros	Author affiliation - Brazil

Fonte: A autora.

Para a base *Engineering Village*, referencial para a área das engenharias, optou-se por iniciar com uma pesquisa mais restritiva, na tentativa de direcionar com maior precisão a busca e, após a aplicação dos filtros, 294 produções foram encontradas. Após, a busca ampliada foi realizada, e 7123 trabalhos foram encontrados.

Já na base *Science Direct*, de caráter multidisciplinar, a aplicação das estratégias de busca (Figura 12) identificou 6882 resultados, e o filtro disponível e utilizado foi a afiliação do autor. No banco de dados *Scopus*, também multidisciplinar, outros filtros possibilitaram uma busca mais direcionada, resultando em 286 estudos.

Figura 13 – Estratégias de busca para a base *Scopus*.

D ARTIGOS CIENTÍFICOS	
Recorte temporal 2010-2020	Tipo de documento Article
Local/fonte da busca Scopus	Filtros Country affiliation- Brazil
Termos de busca ABSTRACT and KEYWORDS and TITLE "carbon" OR "carbon emission" OR "LCA" OR "GHG" OR "greenhouse gases" AND "construction" OR "building" OR "civil construction"	Subject area: - Engineering - Environmental Science - Materials Science - Energy - Multidisciplinary
Idioma Inglês	

Fonte: A autora.

Diferente das outras bases, que são produzidas pela editora anglo-holandesa *Elsevier*, a base *Web of Science*, da *Clarivate Analytics*, abrange diferentes periódicos das demais, e a aplicação das estratégias de busca (Figura 14), com a utilização dos filtros, identificou 841 estudos.

Figura 14 – Estratégia de busca para a base *Web of Science*.

E ARTIGOS CIENTÍFICOS	
Recorte temporal 2010-2020	Filtros País/regiões Brazil
Local/fonte da busca Web of Science (SciELO Citation Index)	Áreas de pesquisa: - Architecture - Construction Building Technology - Engineering - Material Science
Termos de busca TÓPICO "carbon" OR "carbon emission" OR "LCA" OR "GHG" OR "greenhouse gases" AND "construction" OR "building" OR "civil construction"	Categorias da SciELO: - Architecture - Construction Building Technology - Engineering Civil - Engineering Environmental - Engineering Manufacturing - Engineering Multidisciplinary - Materials Science Ceramics - Materials Science Multidisciplinary - Metallurgy Metallurgical Engineering
Idioma Inglês	
Tipo de documento Research Article	

Fonte: A autora.

Ainda, uma seleção manual de trabalhos foi conduzida, adotada também por Arioli et al. (2020), conhecida como *Snowballing system* (WOHLIN, 2014), quando são incluídos na análise aqueles estudos conhecidos previamente pelo autor ou citados como referência nos trabalhos que atendem aos critérios de elegibilidade mas que não foram apresentados pelas ferramentas de buscas.

CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Para a definição dos estudos elegíveis para a extração de dados e sumarização de resultados, critérios de elegibilidade foram elencados, e aplicados a cada trabalho encontrado em todas as bases de dados (Figura 15). Os critérios foram definidos considerando o tipo e cronologia dos estudos, já definidos nas estratégias de busca, e o escopo.

Figura 15 – Critérios de elegibilidade para seleção dos estudos.

CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE ADOTADOS PARA SELEÇÃO EM PRIMEIRA ETAPA		
INCLUSÃO		
TIPO	a	Dissertação, tese, artigo.
CRONOLOGIA	b	O estudo foi realizado entre os anos de 2010 e 2020.
LOCAL	c	O estudo deve ter sido aplicado no Brasil.
ETAPAS DE QUANTIFICAÇÃO	d	O estudo deve considerar as etapas relacionadas às emissões de GEE incorporado.
ESTIMATIVAS	e	O estudo deve apresentar dados relativos aos fatores de emissão dos materiais ou estimativa de emissão de GEE de material por unidade/tipologia de edificação.
EXCLUSÃO		
TÍTULO	a	O título não satisfaz o escopo da busca.
RESUMO	b	O estudo, através do resumo, não satisfaz o escopo da busca.
TIPO	c	Artigo de revisão.
METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO	d	Não apresenta ou indica a metodologia de quantificação utilizada.
↳ ESTIMATIVAS	e	O estudo não apresenta a fonte de dados dos fatores de emissão utilizados.

Fonte: A autora.

Os critérios de inclusão “a”, “b” e “c” devem ser obrigatoriamente atendidos, enquanto que os critérios “d” e “e” apesar de obrigatórios, não necessariamente devem ser atendidos em um mesmo trabalho, uma vez que cada um desses critérios refere-se a uma das duas perguntas de pesquisa. Já nos critérios de exclusão, o preenchimento de qualquer um é suficiente para o descarte de um estudo, com exceção do critério “e”, que não exclui o trabalho caso o critério de exclusão “d” não seja atendido, ou seja, o critério “d” exclui “e”, mas o critério “e” não exclui “d”.

Considerando o número de trabalhos encontrados, são listados no Apêndice A apenas as produções selecionadas após a análise do título. Logo, o Apêndice A apresenta os trabalhos não excluídos pelo critério de exclusão “a”, com a apresentação da instituição de origem da publicação ou autores, palavras-chave, referência atribuída a publicação, código de identificação, além dos critérios de inclusão.

AValiação DA QUALIDADE DOS ESTUDOS

Ainda, a avaliação qualitativa dos trabalhos deve ser realizada dentro do protocolo (NEELY et al. 2010), e os critérios definidos são apresentados abaixo (Figura 16). Cabe ressaltar que tal procedimento é realizado pela autora, embasando as decisões de acordo com os critérios apresentados, mas que pode ter influência subjetiva.

Figura 16 – Critérios de qualidade para seleção dos estudos.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA DOS TRABALHOS SELECIONADOS EM ÚLTIMA INSTÂNCIA	
a	O trabalho deve ser estruturado, demonstrando rigor e organização.
b	O trabalho apresenta aprofundamento no tema, com demonstração crítica sobre o assunto.
c	A estimativa de emissões de GEE no estudo é realizada pela aplicação de método aceito, seja, IPCC, ACV (ISO).
d	Quando a estimativa for realizada utilizando-se Software, os limites/fronteiras e condicionantes utilizados devem ser explícitos.
e	O estudo deve indicar explicitamente a fonte de dados das informações.
f	O estudo utiliza fatores de emissão a partir de bases de dados (software), mas não apresenta compreensivelmente a razão pela escolha, bem como o valor quantitativo dos dados.

Fonte: A autora.

Os trabalhos foram categorizados em alta, média e baixa qualidade, correspondendo respectivamente a: trabalhos que contemplam positivamente todos os itens apresentados na Figura 16; trabalhos que respondem negativamente ao item “a” ou “b”; e trabalhos que apresentam resposta negativa aos itens “a” ou “b”, além de outros itens subsequentes.

A avaliação qualitativa foi realizada somente para as dissertações e teses selecionadas, considerando que os artigos científicos já são oriundos de uma criteriosa seleção e avaliação pelos periódicos correspondentes para sua publicação. Ademais, os trabalhos considerados de baixa qualidade não foram excluídos da análise, uma vez que ainda apresentam dados significativos para a demonstração do contexto acadêmico brasileiro na realização dos mesmos.

ESTRATÉGIA DE EXTRAÇÃO DE DADOS

Para a organização e buscando responder a pergunta inicialmente definida, os dados a serem extraídos foram caracterizados em: “metodologia de estimativa de emissão de GEE”, com o subgrupo “fatores de emissão e dados numéricos”, considerando a dinâmica dos critérios de exclusão. A Figura 17 apresenta os dados a serem extraídos dos estudos finais.

Figura 17 – Dados a serem extraídos dos estudos selecionados de acordo com formulário definido.

DADOS DE CONTEÚDO TÉCNICO PRINCIPAIS A SEREM EXTRAÍDOS DOS ESTUDOS SELECIONADOS	
a	Metodologias de quantificação ou estimativa de energia ou CO ₂ incorporados utilizada.
b	Fases, etapas ou estágios consideradas.
c	Fonte de dados utilizados, para fatores de emissão ou demanda energética.
d	Objeto para o qual se está realizando a avaliação (edificação e sua tipologia ou material).
e	Consideração ou não de fatores de perda de materiais.
f	Localização geográfica de realização do estudo.
g	Realização de análise de incertezas ou sensibilidade.

Fonte: A autora.

Ainda, um “Formulário de Extração de Dados” em formato tabular, apresentado no Apêndice B preenchido com quatro publicações a título de exemplo, é preenchido individualmente para cada um dos 96 trabalhos selecionados, contendo informações como a referência indicada no Apêndice A para cada publicação, fonte de dados, tipo de metodologia, uma síntese do trabalho, entre outros.

SÍNTESE DOS DADOS

A síntese dos resultados possui duas conduções: sumarização das publicações, com apresentação de dados estatísticos descritivos sobre as mesmas; e análise qualitativa e quantitativa dos dados extraídos, fazendo parte da próxima etapa da RSL, e são relatadas no capítulo de Resultados.

Em relação a primeira abordagem, a bibliometria foi adotada como procedimento, metodologia utilizada também por Soares et al. (2016) para a análise da produção científica do país sobre tecnologias da construção civil através de uma base de dados online. Já para a segunda, a partir de dados tabulados, foram contabilizados quantitativamente os dados extraídos, e a posterior análise crítica qualitativa.

3.2.2. Condução e Análise dos resultados

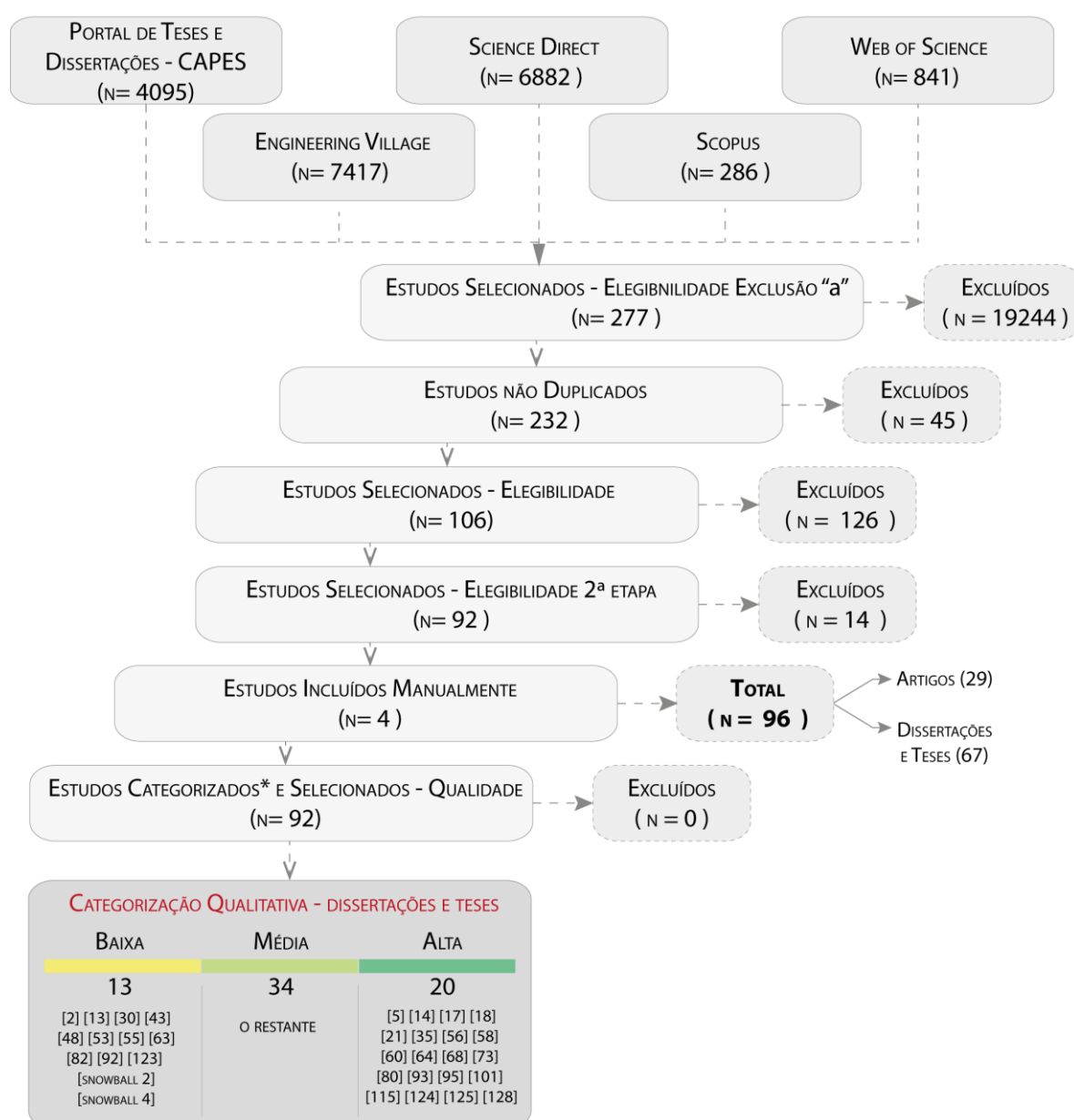
A condução da RSL e a análise dos dados são reportadas nos itens 3.3. e 3.4.

3.3. INVESTIGAÇÃO BIBLIOMÉTRICA

Os estudos selecionados pela aplicação do protocolo na etapa de Condução da RLS, após o emprego de critérios de elegibilidade e de qualidade, bem como a inclusão *snowball*, são demonstrados no diagrama de fluxo, baseado em Moher et al. (2010), e discutidos posteriormente (Figura 18). Os estudos selecionados estão apresentados na Tabela 9 (Apêndice C), e estão identificados por código numérico.

A revisão teórica sobre o tema, desenvolvida ainda na etapa de revisão bibliográfica descritiva, aponta que um dos primeiros estudos sobre contabilização de recursos naturais e resíduos gerados foi realizado em 1969 pela Companhia Cola-Cola, com expansão para diversas outras empresas, principalmente nos Estados Unidos e Europa, em meio a crise do petróleo (CHEHEBE, 2002; SOUZA, 2012; BEREZUK, 2015; FELICIANO, 2019).

Figura 18 – Diagrama de fluxo de seleção dos estudos.



Fonte: A autora.

No Brasil, Silva (2017) indica três estudos desenvolvidos na década de 1980: pelo CEFET/MG, em 1982, sobre EI de edificações (BRASIL, 1982)⁶; pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas da USP, no mesmo ano, sobre conteúdo energético de materiais de construção (IPT, 1982)⁷; e Guimarães (1985)⁸, também sobre EI de edificações. Ramos (2019) destaca que as primeiras publicações bibliográficas na área ocorreram somente no fim da década de 1990, com autores como Chehebe.

Silva (2012a) contabilizou onze publicações entre dissertações e teses sobre ACV relacionadas à madeira e seus derivados entre os anos de 2001 e 2009, não relacionando os mesmos com a construção civil. De maneira similar, para o mesmo período, Costa (2012b) somou 131 dissertações e 33 teses sobre AVC de diversos setores, como o químico, automobilístico, energético, e também edificações.

Em uma escala regional, um dos trabalhos pioneiros no Rio Grande do Sul é o de Grigoletti (2001), abordando as indústrias de cerâmica vermelha e os impactos ambientais gerados. Já no contexto nacional, o trabalho realizado por Tavares (2006), sobre o ciclo de vida energético de habitações, é, até hoje, um dos mais referenciados e utilizados como base de dados por estudos brasileiros.

Considerando o exposto como base introdutória, a análise da produção científica do presente estudo se apoia nos trabalhos caracterizados elegíveis pelas etapas de seleção da RSL descrita anteriormente. Assim, estão presentes aqueles estudos com a sustentabilidade como tema central, abordando impreterivelmente a energia incorporada e/ou o carbono incorporado em edificações brasileiras ou em materiais de construção no Brasil.

Esse tipo de abordagem busca demonstrar as tendências de pesquisa na área a partir de análise quantitativa e estatística do conjunto de produções selecionadas. Optou-se pela distinção de análise em dois grupos, uma vez que a estrutura, o alcance e a comunicabilidade entre eles são diferentes: dissertações e teses; e artigos científicos, somando-se, respectivamente, 67 e 29 publicações.

Dentre as 67 dissertações e teses, a Figura 19 demonstra que não houve linearidade de produção sobre quantificações de energia e emissões de GEE de

⁶ BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio, Secretaria de Tecnologia Industrial – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC / MG. **Balanco Energético de Edificações Típicas**. Brasília, 1982

⁷ IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Pesquisa de oferta de materiais de construção no Estado de São Paulo**. São Paulo, 1982

⁸ GUIMARÃES, G. D. **Análise energética na construção de habitações**. Rio de Janeiro, 1985. Dissertação de mestrado, Programa de Planejamento Energético, COPPE, UFRJ.

materiais da construção ou edificações entre os anos de 2010 e 2020. Nota-se, porém, um aumento discreto dessas publicações entre os anos de 2015 e 2017.

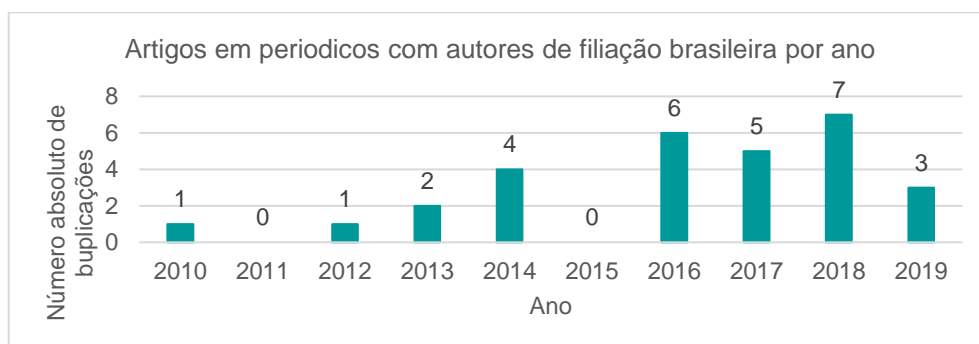
Figura 19 – Evolução anual da produção científica – dissertações e teses – em instituições brasileiras no período de 2010 a 2020.



Fonte: A autora.

Em se tratando das publicações em periódicos nacionais e internacionais, é possível inferir que houve um aumento de contribuição de estudos com autores filiados a universidades brasileiras ao longo do tempo, com exceção do ano de 2015 (Figura 20). Tal fato pode ter relação com o movimento de internacionalização e cooperação entre universidades nacionais com internacionais nesse período, além da evolução das pesquisas pelas universidades do Brasil em resposta a demanda pela mitigação de impactos ao meio ambiente relacionados ao CI e EI.

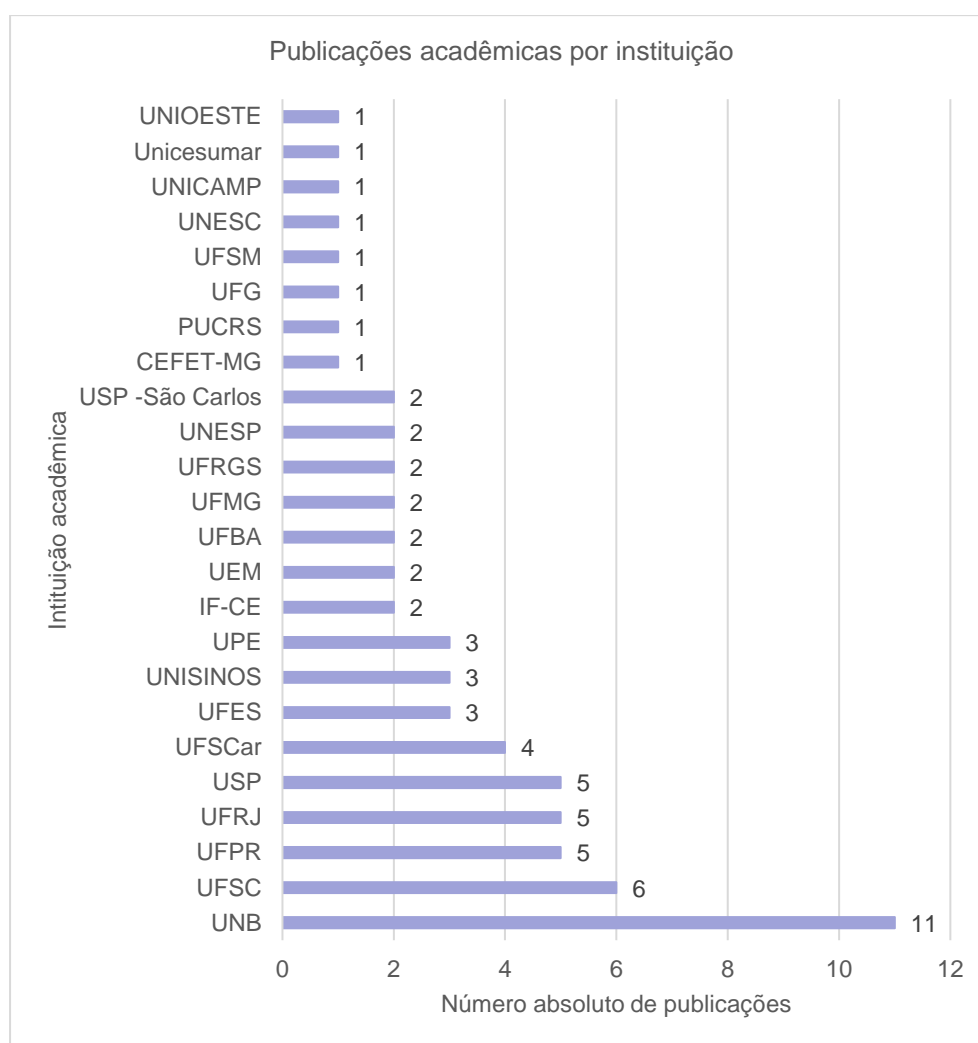
Figura 20 – Evolução anual da produção – artigos científicos – em periódicos no período de 2010 a 2020.



Fonte: A autora.

Dentre as instituições, notadamente as federais lideram as publicações, correspondendo a 54,16% das dissertações e teses, já pelas estaduais são 29,16%, 12,5% por privadas e 4,16% por comunitária (Figura 21). Cabe ressaltar que grande parte da produção da Universidade de Brasília, universidade com maior número de publicações, é oriunda de pesquisas desenvolvidas no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, onde a sustentabilidade é um dos temas centrais

Figura 21– Frequência da produção – dissertações e teses – por instituições brasileiras no período de 2010 a 2020.

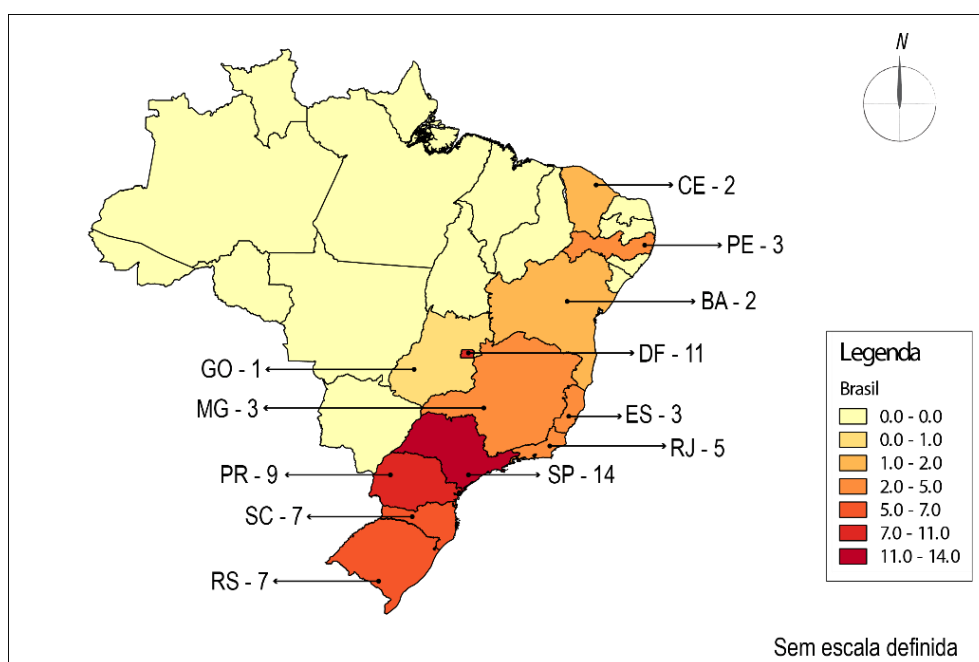


Fonte: A autora.

Na Figura 22, a espacialização dos estudos acadêmicos (dissertações e teses) é demonstrada em um mapa de escala de cores, por intervalos de número de

publicações por quebras naturais⁹, descritos na legenda. São Paulo é o estado com o maior número de produções, 14, seguido pelo Distrito Federal, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro. Assim, a região Sudeste, Centro-Oeste e Sul concentram a maioria dos estudos.

Figura 22 – Espacialização da produção científica – dissertações e teses- por estados brasileiros no período de 2010 a 2020.

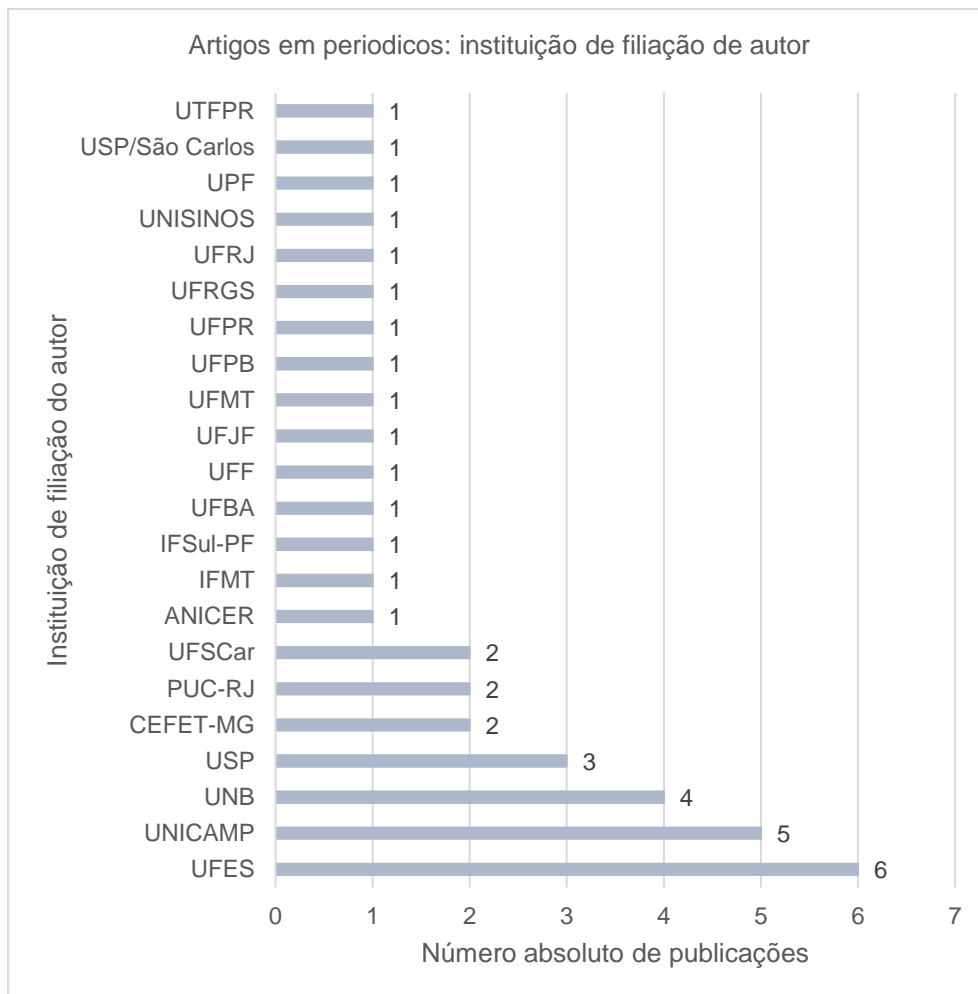


Fonte: A autora.

Já no que se refere aos artigos científicos, optou-se por contabilizar separadamente cada instituição quando autores de mais de uma desenvolvem o estudo em conjunto, como demonstrado na Figura 23. Por isso, a Universidade Federal do Espírito Santo engloba o maior número de publicações, sendo autores da UNICAMP os principais parceiros, com publicações em revistas nacionais e internacionais. Já a USP e a UnB publicam majoritariamente em periódicos internacionais e sem parceria com outras instituições.

⁹ Método que identifica as quebras entre as classes utilizando uma fórmula estatística (Otimização de Jenk). Este método consiste basicamente na minimização da soma da variância dentro de cada classe.

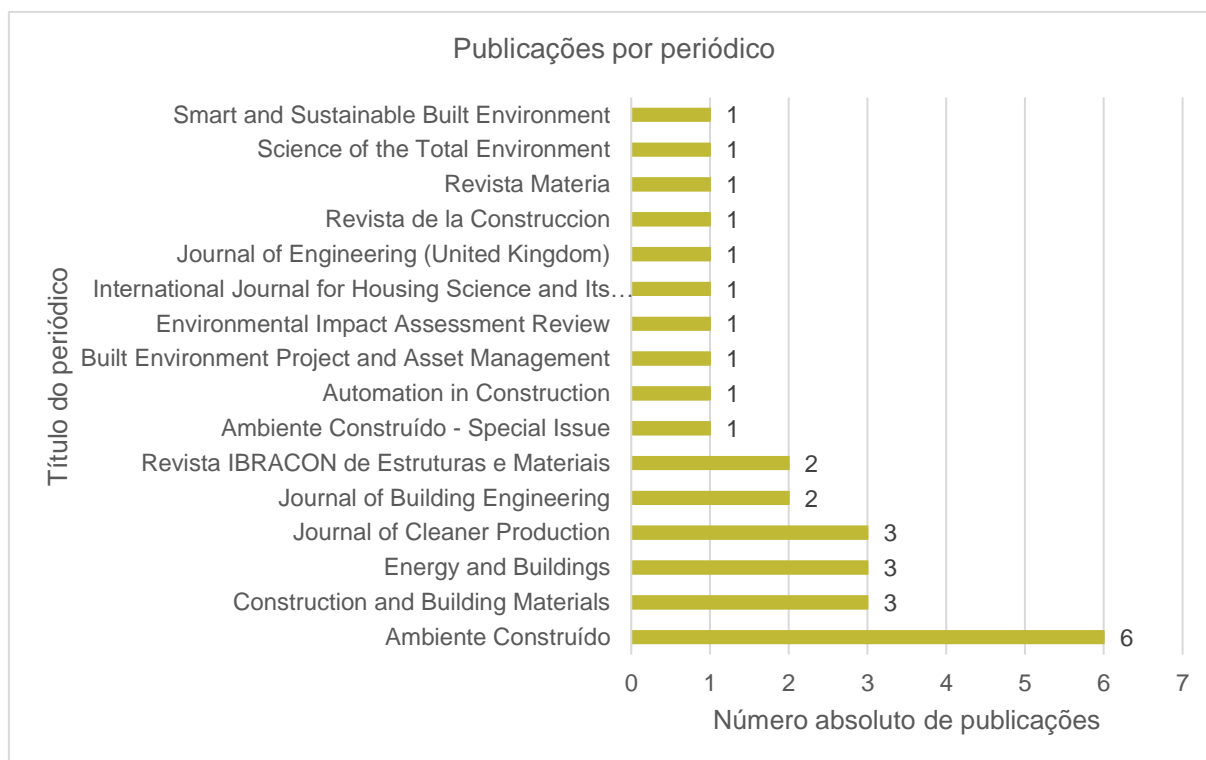
Figura 23 – Frequência da produção científica – artigos – com autores de filiação em instituições brasileiras no período de 2010 a 2020.



Fonte: A autora.

Apesar dos esforços de publicação em periódicos internacionais, sabido de maior reconhecimento no meio acadêmico, a revista *Ambiente Construído* lidera o número de publicações (Figura 24). Entretanto, a maioria dos artigos científicos selecionados sobre o tema estão publicados em periodicos internacionais, qualificados e de comum acesso científico global, como o *Energy and Buildings* e o *Journal of Cleaner Production*. A revista IBRACON de Estruturas e Materiais e a Revista *Matéria* também são destinos de divulgação da produção nacional.

Figura 24– Número absoluto de publicações – artigos científicos – por periódico



Fonte: A autora.

Os dados quantitativos apresentados dos estudos selecionados durante a RSL caracterizam o contexto da produção acadêmico-científica brasileira, e demonstram que o Brasil possui, hoje, uma produção concentrada, tanto em termos de região geográfica como de instituição, com ênfase para a região Sudeste e para a Universidade de Brasília. Tal fato pode estar vinculado ao prestígio das instituições da área, justificado pela localização dessas em polos historicamente de grande importância econômica para o país e, sede do poder executivo, possibilitando a aquisição de maiores recursos para pesquisa e também de pessoal, devido ao engajamento social e político da própria universidade.

Porém, as publicações, tanto de dissertações e teses como de artigos científicos, não ocorrem em ritmo crescente, ou seja, quando em se falando especificamente sobre energia ou carbono incorporados à edificação, se pode inferir que o Brasil não representa polo de pesquisa na área, ou, ainda, que a área não é considerada prioridade para a academia. Isso demonstra um possível desacordo à

demanda sustentável internacional e crescente publicação de normatizações a nível mundial.

3.4. AVALIAÇÃO DE CONTEÚDO

No que diz respeito a análise de conteúdo dos estudos, com exceção da metodologia de avaliação utilizada, optou-se pela síntese conjunta das informações extraídas, por entender que tanto a produção acadêmica nacional como aquela divulgada por periódicos não diferem nas características do conteúdo apresentado.

3.4.1. Análise de dados extraídos por estatística descritiva

A metodologia utilizada para a avaliação dos fatores energéticos ou de emissões de cada trabalho analisado foram levantadas, e, excepcionalmente para essa compilação de extração de conteúdo, foram avaliadas separadamente para dissertações e teses e artigos científicos. O que fundamenta tal decisão é a possibilidade de identificar quais produções tem sido mais publicadas por periódicos, inclusive internacionais, o que pode significar ser de maior aceitação para divulgação de maior escala que aquelas acadêmicas, como dissertações e teses.

Assim, a Figura 25 apresenta as nove abordagens metodológicas encontradas nas publicações acadêmicas nacionais, das quais 48%, ou seja 32 estudos, utilizaram a ACV completa. Nesse sentido, entende-se que esses trabalhos desenvolveram a análise de diversos aspectos que impactam o meio ambiente, utilizando para isso softwares específicos para esse tipo de avaliação dentro do escopo da ACV, que não somente as questões energéticas e de emissões.

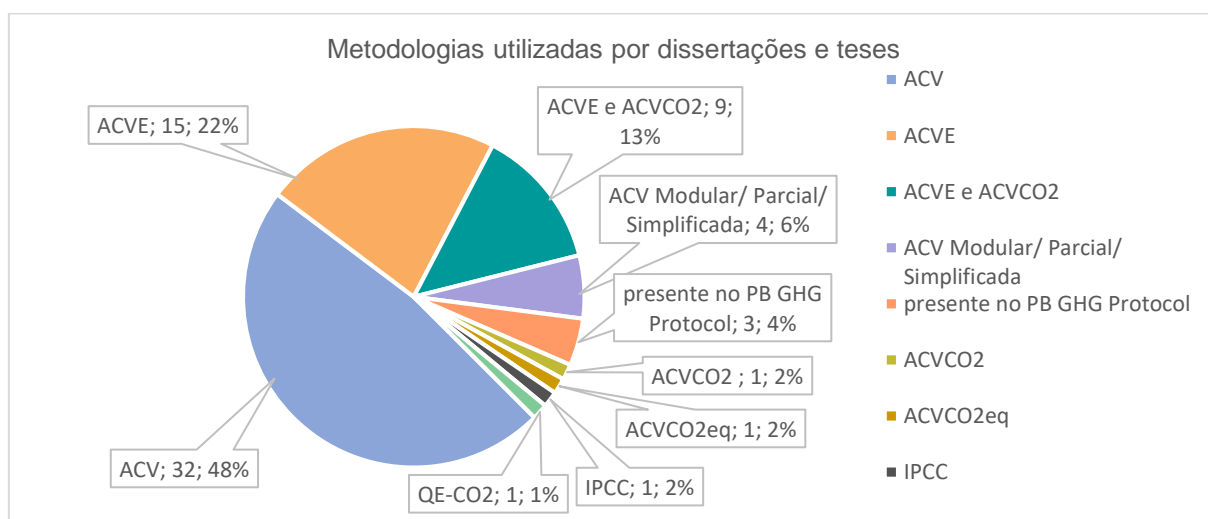
Entretanto, 35%, o que corresponde a 24 trabalhos, se restringem a análise energética das edificações ou materiais e sistemas, considerando ou não as emissões. Tal fato demonstra uma aplicação praticamente já estabelecida de ACVE no Brasil, e pode-se concluir que a dificuldade em obtenção de dados para essas

análises não impede que as mesmas sejam executadas, mesmo que com diversas adaptações, cortes e simplificações.

Sobre as simplificações, os estudos que se definem como modulares, parciais ou simplificados são aqueles que avaliam diversas categorias de impacto ambiental, mas não todos os necessários para uma ACV completa. Dessa forma, tanto as ACVE como ACVCO₂ podem ser consideradas como modulares, o que contabiliza um total de 45% dos estudos que utilizam tal conduta.

Cabe lembrar que em ACVs completas, a análise das emissões de GEE e energética é obrigatória de acordo com a série de normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), sendo sempre avaliadas dentro de suas categorias de impacto específicas, como o potencial de aquecimento global (GWP) ou mudanças climáticas, para o caso das emissões.

Figura 25– Metodologias de avaliação utilizadas pela produção acadêmica entre 2010 e 2020.



Fonte: A autora.

Com menor utilização, considerado como metodologia, o Programa Brasileiro *GHG Protocol*, indicado por órgãos governamentais brasileiros para a realização de avaliações desse tipo, foi aplicado por somente três trabalhos, indicando pouca aplicabilidade ao setor da construção civil. Ainda, a metodologia QE-CO₂, elaborada por Costa (2012) não foi utilizada por demais trabalhos, o que pode ser explicado pela

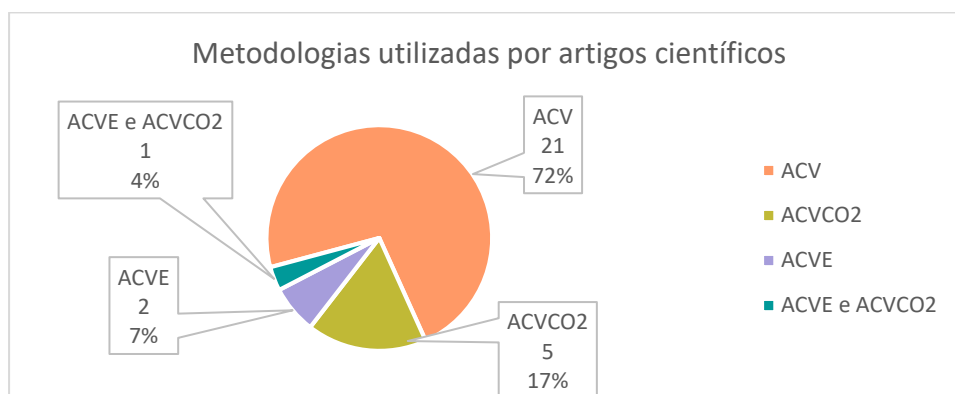
não oficialização da mesma, já que o autor desenvolve sua proposta com profundidade técnica e aplicabilidade para o Brasil, sendo uma potencial metodologia.

Outro fato a ser apontado é que, para aqueles estudos modulares, a avaliação de emissões de CO₂ é mais utilizada que as de CO₂ eq., ou seja, de vários outros gases do efeito estufa. Isso se deve ao fato de que, dentro das limitações de dados disponíveis, os relativos ao CO₂ são de mais fácil mensuração, logo, sendo mais disponibilizados, também por ser um dos que mais exerce influência sobre o processo de aquecimento global. A contabilização e avaliação do CO₂ equivalente é mais comumente abordada nas ACVs completas.

Já na produção científica em periódicos, 72% dos estudos realizaram a ACV completa (Figura 26), o que pode indicar o maior interesse pela comunidade científica em abordagens que consideram diferentes categorias de impacto ambiental, como por exemplo a influência de algum processo na toxicidade humana.

Opondo-se ao encontrado nas publicações acadêmicas, a aplicação da ACVCO₂ foi mais frequente que a ACVE, correspondendo respectivamente a 6 e 3 estudos. O recente interesse e apelo mundial quanto ao efeito estufa e preocupação com o aquecimento global pode estar relacionado a essa constatação.

Figura 26 – Metodologias de avaliação utilizadas por artigos científicos entre 2010 e 2020.



Fonte: A autora.

Apesar de o termo “fronteiras do sistema” ser originário de documentos e normativas sobre ACV, como a série de normas ISO 14.040, e abordado diferentemente por autores referência sobre o tema, as etapas e fases estabelecidas

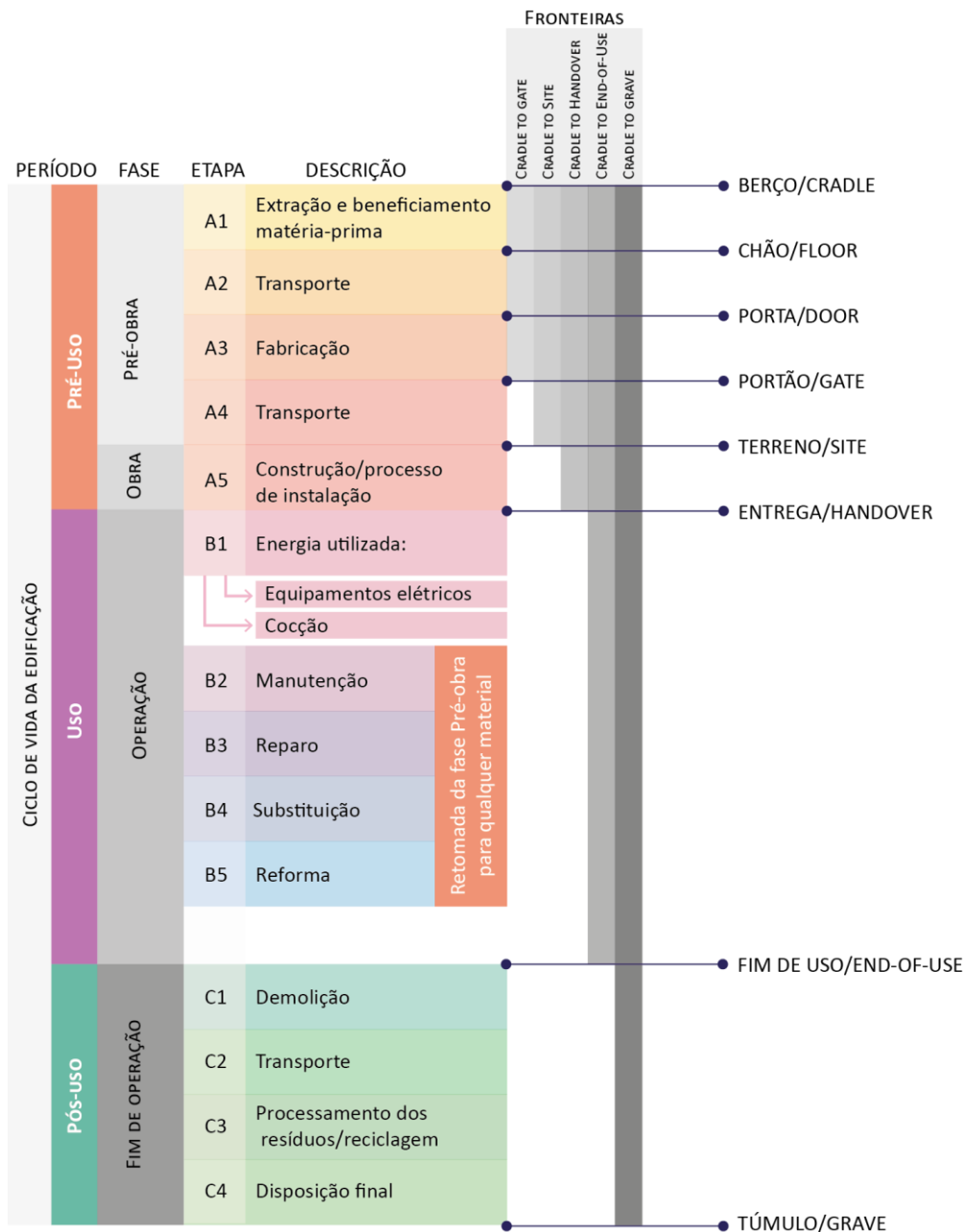
por esses documentos específicos podem ser aplicadas para qualquer análise ambiental de produto ou edificação, pois elas estabelecem os limites que devem ser considerados para a construção de inventários, ou seja, aquisição e ordenamento de dados.

Os mesmos limites são aplicados para ACVs modulares, como a ACVE e ACVCO₂, considerando que essas são derivadas de uma avaliação completa, mas que objetivam identificar os impactos ao meio ambiente apenas de fatores específicos, buscando resultados de maior acessibilidade e aplicabilidade pelo agente. Entretanto, por serem mais específicas, essas avaliações têm flexibilidade na alteração dessas fronteiras, devendo sempre serem indicadas.

Considerando que não há consenso entre nomenclatura, fases e etapas analisadas, apesar de haver correspondência de ações, como demonstrado na Figura 6 do item 2.3.1., houve dificuldade na síntese e comparação das informações apresentadas pelos estudos selecionados no que diz respeito aos processos analisados por cada um. Assim, uma nova estrutura de fronteiras do sistema para o ciclo de vida de uma edificação, material ou sistema foi elaborada, e é apresentada na Figura 27, desenvolvida com base em Todd e Curran (1999), Tavares (2006), BRE (2018), Paulsen e Sposto (2013), IBICT (2014), Yokoo e Yokoyama (2016), Caldas et al. (2017) e Hauschild, Rosenbaum e Olsen (2018), e sendo adotada para a identificação das fronteiras em cada trabalho, com o computo final demonstrado na Figura 27.

Desse modo, é possível afirmar que a fronteira “berço ao portão” é a mais aplicada, correspondendo a aproximadamente 30% de todos os estudos, o que demonstra a importância da etapa pré-obra e os esforços para o desenvolvimento de inventários e disponibilização de dados. Ainda, para esse intervalo, deve-se destacar que todos os autores apontaram a inexistência de um banco de dados brasileiro, com dificuldades no levantamento de dados e complexidade na formulação de inventários, utilizando, sobretudo, dados secundários nacionais de outras pesquisas (onde o mesmo já havia ocorrido), e quando não encontrados, em bases de dados internacionais.

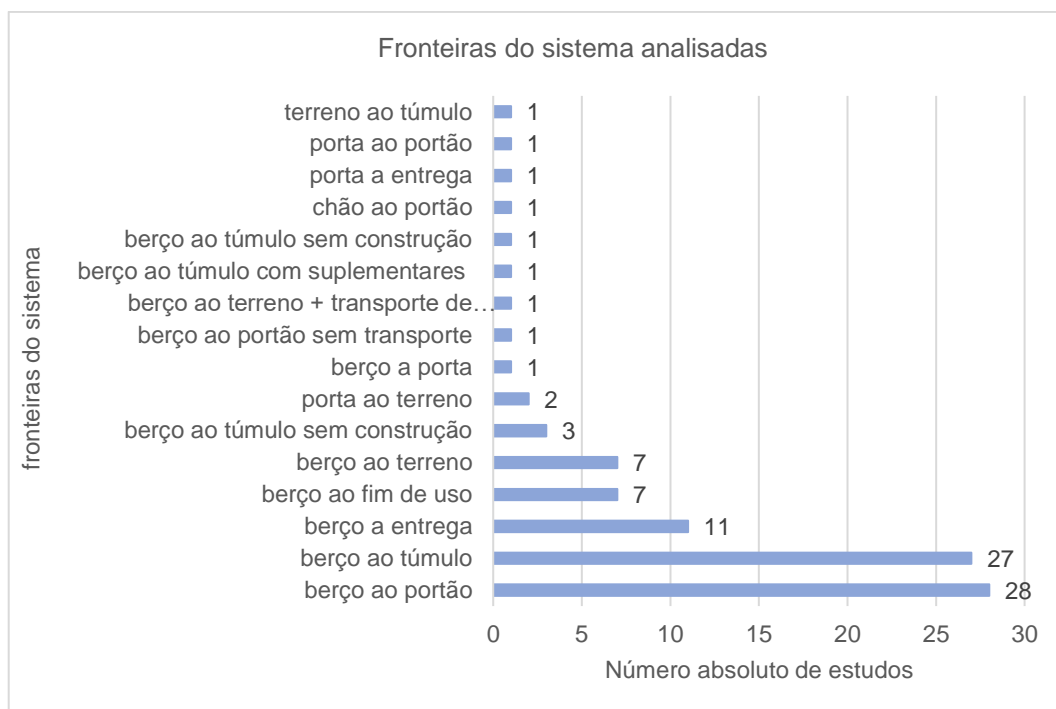
Figura 27 – Fronteiras do sistema consideradas para categorização e comparação dos estudos.



Fonte: A autora.

Ainda, as etapas de obra, operação e fim de vida são bastante estudadas no Brasil dentro desse escopo de pesquisa, quando aproximadamente 28% dos estudos analisados abordaram a fronteira berço ao túmulo (Figura 28), evidenciando que avaliações completas do ciclo de vida são bastante abordadas já no Brasil e possuem representatividade em relação às demais.

Figura 28 – Fronteiras do sistema analisadas.

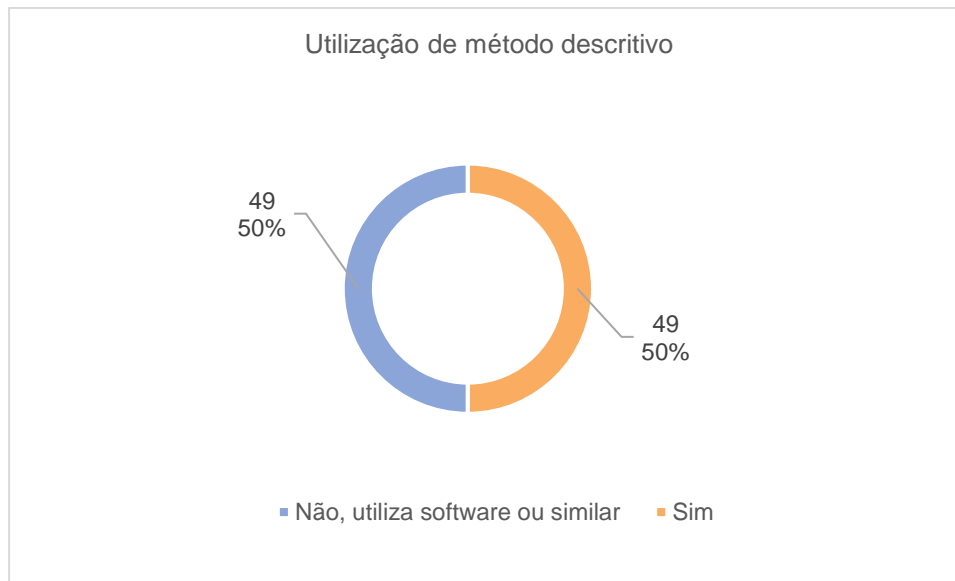


Fonte: A autora.

Outra questão diz respeito ao uso ou não de *softwares*, ferramentas eletrônicas ou módulos de extensão (conhecidos também como *plug-ins*) para a realização das avaliações energéticas e de emissões incorporadas, uma vez que foi destacado a complexidade de utilização de muitas delas, e o elevado custo (COSTA, 2012b), sendo indicadas para uso por especialistas da área. Ainda assim, como mostra a Figura 29, 50% das pesquisas utilizaram algum tipo de *software*, e em sua maioria, não houve detalhamento dos processos e tomadas de decisão no que diz respeito a sua utilização e manipulação de dados, tornando o trabalho pouco transparente e de difícil replicação, sendo esse um dos princípios das ACVs.

Para as ACVs completas, dez publicações dentre as 53 que realizaram a avaliação não utilizaram algum tipo de software específico de ACV, sendo, entre essas dez, dois dos vinte estudos que consideraram a fronteira temporal do sistema do “berço ao portão”, e cinco entre os dezoito que avaliaram a fronteira “berço ao túmulo”. Já para as ACVEs e ACVCO₂, das 38 publicações, somente seis utilizaram algum tipo de software ou ferramenta, não havendo relação com a fronteira temporal analisada, sendo o restante dessas avaliações executadas de modo descritivo.

Figura 29– Utilização de método descritivo para avaliação de energia ou carbono embutidos.



Fonte: A autora.

Os *softwares* SimaPro e GaBi, de balanço de massas e fluxos de entrada e saída, ou seja, que consideram as quantidades de materiais, foram os mais usados pelos trabalhos analisados (Figura 30). Ambos utilizam a ACV para a avaliação de impactos ambientais e possuem bancos de dados próprios, sendo de origem internacional, respectivamente da Holanda e Alemanha.

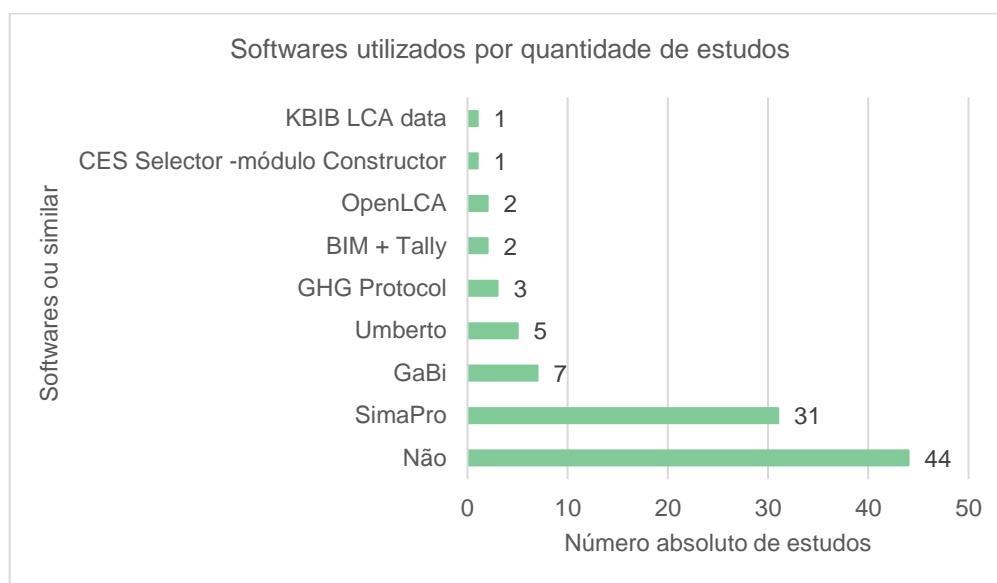
Campos (2012) e Costa (2012b) destacam que para a utilização do *software* SimaPro, é necessário avançado conhecimento em ACV, além de investimento financeiro na aquisição do mesmo. Já em sua pesquisa, Braga (2018) afirmou que a dificuldade em utilização de uma base de dados profissional no *software* GaBi exigiu a utilização de uma versão educacional, de menor abrangência.

Esses dois *softwares* podem ter maior utilização pela possibilidade de inserção de outros bancos de dados que não os disponibilizados como padrão e a modificação de alguns fatores, como a matriz energética utilizada para a simulação dos impactos.

Uma preocupação é o pouco uso do Programa Brasileiro *GHG Protocol*, uma planilha eletrônica de uso público e com respaldo e indicação governamental para a realização de inventários por empresas, inclusive pelo PBACV, lançado no Brasil em 2018. Tal fato pode estar associado a sua não adaptação para inventários de edificações, sendo voltada para produtos e serviços. Além disso, engloba diversos

fatores e diferenciação entre emissões por escopo 1, 2 e 3, como indicado pelo IPCC, muitas vezes não categorizadas pelo agente.

Figura 30 – Softwares, ferramentas ou plugings utilizados pelos trabalhos de análise não descritiva.



Fonte: A autora.

Outro destaque nesse cenário é o *plug-in* Tally, único indicado e utilizado para as avaliações ambientais experimentais através de *softwares* BIM¹⁰, quando da realização integral nessas plataformas, ou seja, sem considerar unicamente a extração de quantitativos pelos *softwares* BIM e inserção das mesmas em outros programas específicos de análise ambiental.

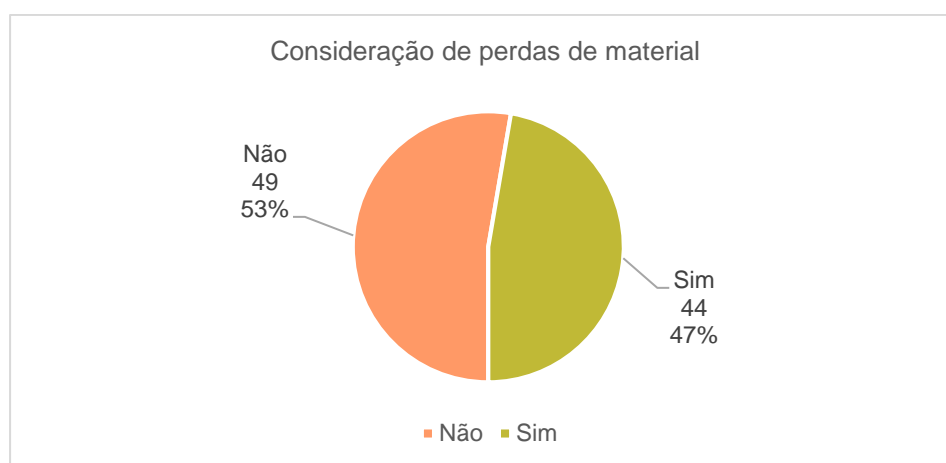
Ademais, um dado que causa apreensão é em relação a não consideração de percentuais de perda de materiais nas contabilizações de 53% dos trabalhos analisados, pois, apesar de muitas vezes representarem pouca massa em relação ao total de uma obra, causam impacto e não devem ser desconsiderado (Figura 31). Nesse sentido, dentre aqueles autores que consideraram as perdas, destacam-se as seguintes abordagens: Bessa (2010) utiliza dados de Agopyan et al. (1998)¹¹ para as perdas em canteiro de obras; para a argila, Vinhal (2016) considera as perdas dadas

¹⁰ Sigla para Modelagem da Informação da Construção (em inglês *Building Information Modeling*).

¹¹ AGOPYAN, V. et al. **Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Relatório Final. PCC-USP/FINEP/ITQC, 5 volumes. 1355 p. Setembro de 1998

pela própria base de dados Ecoinvent através do *software* SimaPro; as Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos - TCPO (PINI, 2008)¹² é utilizado por Indiviata (2017); Guerra (2017) considera as perdas na armação do aço; os dados apontados por Agopyan et al. (1998) também são utilizados por Lira (2017) para alguns materiais e Madeira (2019), que também aplica as perdas pelo TCPO.

Figura 31 – Número e percentual de trabalhos em relação a consideração ou não da perda de materiais.



Fonte: A autora.

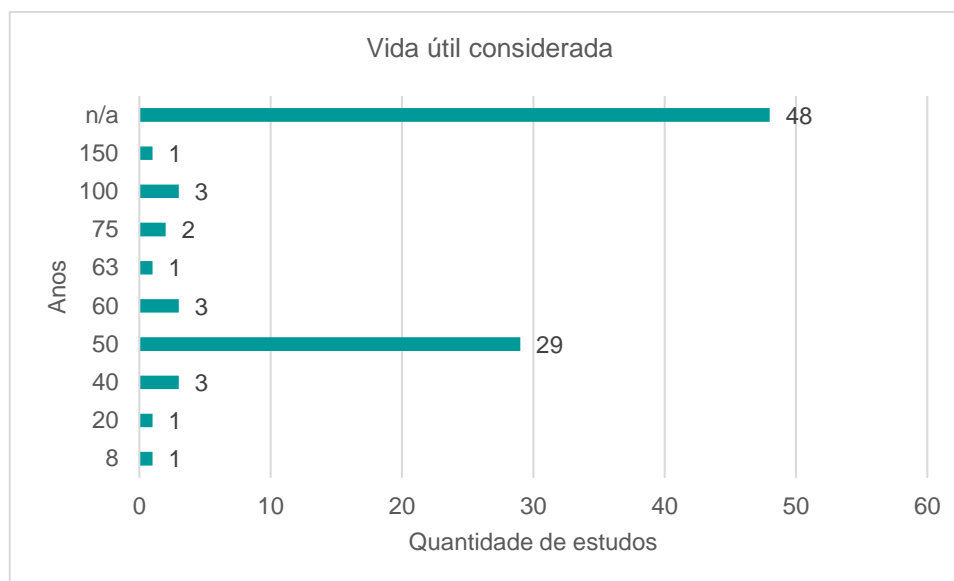
A vida útil considerada para as edificações ou materiais durante a fase de operação também foi extraída dos estudos, por se entender que o dado pode vir a ser relevante para outros pesquisadores, apesar de não ser parte do escopo do presente trabalho. Assim, a Figura 32 indica que a maioria dos estudos considera a vida útil de 50 anos para a manutenção das edificações, indicada por Tavares (2006) e pela ABNT NBR 15575: 2013¹³ para a edificação como um único produto.

Os 48 estudos que não citaram uma vida útil são aqueles que não realizaram a avaliação de material ou da edificação para a fase de uso, não avaliando aspectos como manutenção, reparos, substituição ou reforma. Ainda, os períodos de vida útil de 20 e 8 anos referem-se especificamente a algum elemento ou material.

¹² PINI. TCPO **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 13. ed. Editora PINI. São Paulo, 2008.

¹³ ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.575-4. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4: **Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013

Figura 32 – Vida útil considerada pelos estudos sem distinção de edificação ou material.



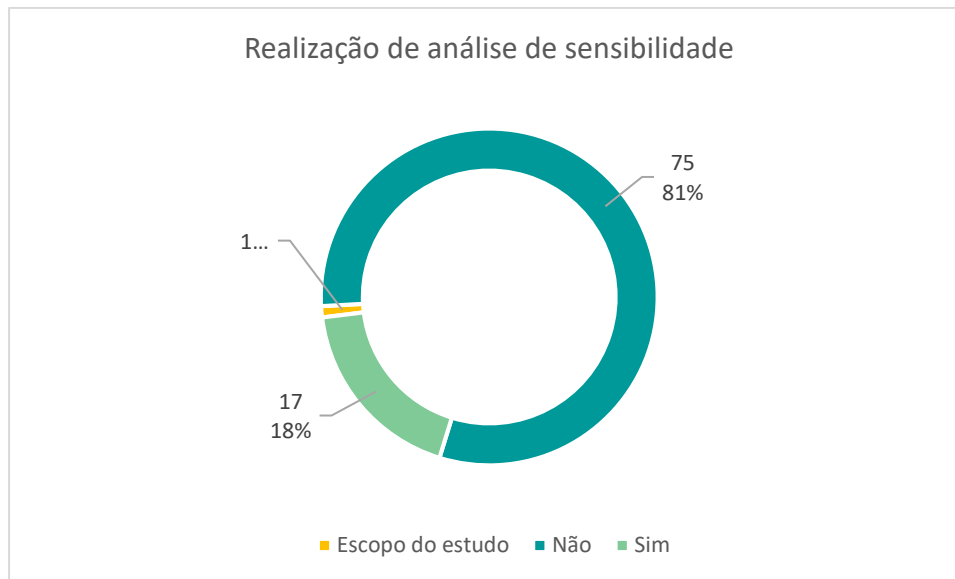
Fonte: A autora.

Como comentado no item 2.3., a análise de sensibilidade em estudos que realizam a avaliação de impactos ambientais, seja ela uma ACV ou derivada dessa, nomeada ou não, é um procedimento básico, sendo fortemente recomendado para identificar como as escolhas durante o processo de avaliação influenciaram nos resultados. Nesse sentido, somente 18% dos estudos selecionados citaram a realização de tal análise, um percentual bastante baixo (Figura 33).

Dentre essas 17 publicações, Nascimento (2011) aplica duas bases de dados distintas para comparação final da influência das mesmas, mesmo não nomeado tal procedimento como uma análise sensível. O mesmo foi realizado por Morales et al. (2019), que comparou a ACV de blocos estruturais cerâmicos utilizando dois inventários: a base de dados Ecoivent sem modificações e a regionalizada, com modificações de dados de matriz energética e inserção de dados da indústria local nessa base de dados.

Análises de sensibilidade para a fase de uso da edificação foram realizadas por Evangelista (2017) e Maheca (2018), onde a primeira autora alterou o comportamento do usuário, e a segunda simulou o consumo energético por diferentes matrizes energéticas.

Figura 33 – Número de trabalhos e percentual quanto a realização de análise de sensibilidade.



Fonte: A autora.

Uma das análises de sensibilidade mais comuns é a alteração de um parâmetro ou dado específico, e foi realizada por Sombrio (2015), com modificação das distâncias percorridas na etapa de transporte.

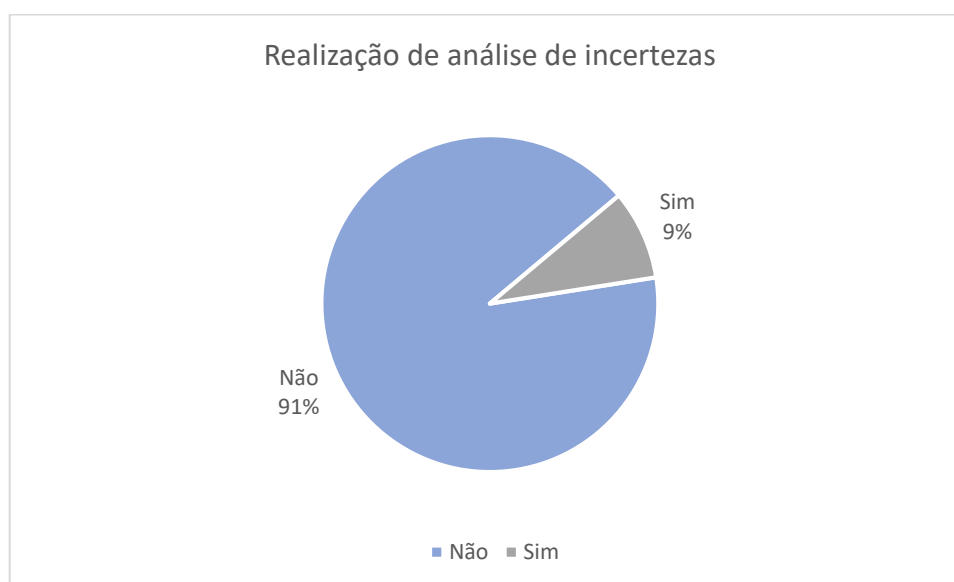
Já a análise de incertezas, de maior complexidade, foi realizada somente por oito estudos (Figura 34). Medeiros, Durante e Callejas (2018) e Maia de Sousa et al. (2016) executam o procedimento pelo *software* SimaPro, que programadamente realiza a Matriz de Qualidade dos Dados (Matriz Pedigree).

Já nas análises ambientais realizadas sem apoio de *software*, ou seja, descritivas, Taborianski e Prado (2012) realizam a análise de incertezas junto a uma análise de sensibilidade pela Matriz de Qualidade dos Dados (Matriz Pedigree), com base em Weidema e Wesnaes (1996)¹⁴, onde as porcentagens de incertezas finais de cada sistema analisado são resultantes da multiplicação das incertezas parciais de cada estágio pela contribuição de cada um desses no ciclo de vida do sistema.

¹⁴ WEIDEMA B.P.; WESNAES M.S. Data Quality Management for Life Cycle Inventories - An Example of Using Data Quality Indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 4, n. 3-4, p. 167-174. 1996.

As incertezas quanto ao levantamento de dados são analisadas por Bessa (2010, p.181) através de um modelo desenvolvido por Benedet Junior (2007)¹⁵, que considera também a Matriz de Qualidade dos Dados.

Figura 34– Número de trabalhos e percentual quanto a realização de análise de incertezas.



Fonte: A autora.

Caldas (2016), no intuito de diminuir as incertezas pela impossibilidade de levantamento para obtenção de dados primários, utiliza valores mínimos, médios e máximos encontrados na literatura. Oliveira (2015a) não indica de maneira transparente o método utilizado para consideração das incertezas, mas entende-se que a autora realiza o mesmo procedimento de Caldas (2016).

Para aquelas realizadas com apoio do programa *GHG Protocol*, tanto Silva (2014) como Maciel (2016) realizam a análise de incertezas de acordo com as indicações do Sinduscon-SP (2013), que atribui percentuais de incertezas de acordo com os escopos das emissões, diferenciação e categorização inerente ao *GHG Protocol*, e as atividades realizadas, indicadas em tabela.

¹⁵ BENEDET JUNIOR, G. Avaliação de incertezas em inventários do ciclo de vida. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal, Santa Catarina, 2007.

3.4.2. Revisão de conteúdo e análise crítica

Na revisão crítica de conteúdo e análise entre autores, optou-se por considerar a produção de Tavares (2006), Ramesh; Prakash e Shukla (2010), Chau, Leung e Ng (2015) e Pomponi, de Wolf e Moncaster (2018) como referencial de discussão, uma vez que tais publicações são referências no que diz respeito às questões de energia e carbono incorporados e ACV de edificações.

3.4.2.1. Introdução

A redução dos impactos ambientais causados pelas atividades que envolvem as edificações tem exigido esforços de profissionais da construção civil em todo o mundo, de tal maneira que a mensuração desses impactos deve ser realizada de maneira objetiva e regida por diretrizes (MACIEL, 2013). Costa (2012b, p. 17) afirma que “as iniciativas baseadas em sustentabilidade deixaram de ser, ao longo dos anos, uma ação voluntarista, baseada em abordagens ecológicas inviáveis para se afirmar como um processo de integração do desenvolvimento e do meio-ambiente”.

As questões ambientalmente sustentáveis são incorporadas aos produtos e processos antes tratados de forma linear pelo conceito de ciclo de vida, passando a considerar a produção uma parte essencial da concepção dos produtos (ROSSI, 2013). No que diz respeito às edificações, para Grigoletti (2001), o desenvolvimento sustentável depende das análises ambientais dos materiais da construção, o que está atrelado aos processos de concepção de todos os constituintes envolvidos.

Ao longo da história, usualmente eram utilizados “materiais locais com baixo custo energético e baixo impacto ambiental” na construção civil (LASSIO et al., 2016, p. 1, tradução nossa). Entretanto, de acordo com LASSIO e Haddad (2016) e Passuelo et al. (2014), a demanda exigida do setor da construção civil, principalmente pelo aumento populacional e também períodos de aumento do poder aquisitivo da população, intensificou os impactos ao meio ambiente pelo grande consumo de recursos naturais e energia.

Como indicadores de sustentabilidade para os materiais de construção e as edificações, Saade et al. (2014) destacam que a EI e o CI são os mais usuais, podendo ou não incluir ainda o consumo de água de acordo com o objetivo da análise. Para os autores, tais análises são eficientes para o contexto brasileiro pelo poder de mensuração nas etapas iniciais de projeto, uma vez que as ACVs ainda são embrionárias no país.

Argumentando principalmente o caráter único de cada edificação, possuindo uma vida útil longa, passível de poucas ou muitas mudanças nesse período, diferenciação de função e com impactos ambientais de difícil projeção, Munarim (2014) relata que há grande diferenciação entre a avaliação de uma edificação e de um produto, como uma caneta ou um carro.

Nesse sentido, com destaque por Medeiros, Durante e Callejas (2018), e corroborado pelo presente estudo, a maioria dos estudos de análise ambiental no Brasil, sendo ela ACV ou não, não se referem às edificações, mas sim aos materiais, sistemas ou componentes. Isso porque a inexistência de um inventário consistente impossibilita uma análise confiável da edificação, necessitando que primeiros passos sejam dados em uma etapa prévia, ou seja, para aquilo que compõe os edifícios.

De acordo com Braga (2018), por possuir um programa de desenvolvimento e registro de inventários, o Brasil se destaca quando em comparação à América Latina (AL). Entretanto, quando da referência de países nessa região do continente americano que podem ser reconhecidos como exemplo às práticas e avaliações sustentáveis e impactos pela construção civil, Pomponi, de Wolf e Moncaster (2018) citam a Colômbia, Chile e Peru. Os autores ainda afirmam que as fontes primárias de dados necessários para ACV e análise de CI na área da construção civil para a América Latina são representadas por publicações acadêmicas, reconhecidamente o caso do Brasil, e complementam que tais estudos infelizmente não contribuem para uma solução eficaz para a falta de dados, uma vez que se referem a estudos de caso de edificações individuais e utilizam, em sua maioria, banco de dados já existentes que podem não representar dados específicos.

Sedrez (2016) destaca que o Programa Brasileiro de Etiquetagem para Edificações, conhecido como PBE Edifica, e criado em 2003 por uma parceria entre o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), é resultado dos históricos

esforços para a maior eficiência durante o uso das edificações, com conseqüente redução de demanda de energia elétrica. A criação e existência dessas normas específicas são também indicadas por Surgelas, Marques e Rodrigues (2010) como uma resposta às etapas de uso e manutenção da edificação, de grande significância energética em países em desenvolvimento como o Brasil.

Entretanto, Sedrez (2016) reforça que tais iniciativas muitas vezes apenas alteram a fase onde os gastos energéticos ocorrem, a exemplo de materiais com maior massa térmica, que geralmente exigem grandes gastos energéticos na etapa de produção. Esse fato, em conjunto com a maior eficiência de equipamentos e utensílios, demonstra a necessidade de atentar para os componentes incorporados, seja energia ou emissões, a fim de uma redução total da edificação (DIXIT et al., 2010).

De igual forma, Pomponi, de Wolf e Moncaster (2018) criticam a preocupação e promoção governamental de iniciativas de diminuição da energia operacional, ignorando partes essenciais do problema energético do mundo. Os autores afirmam que se não houver consideração quanto a energia e emissões incorporadas, os esforços realizados hoje para a redução do uso energético das edificações em uso será perdido.

Para Maheca (2018), quanto melhor o desempenho termal da envoltória da edificação, menores os consumo energético e emissões de CO₂ durante o ciclo de vida da edificação. Isso porque tanto no âmbito internacional como no nacional, a fase operacional da edificação corresponde aos valores mais altos para os dois fatores, mesmo que em meio a uma mudança nesse padrão, com o imponente crescimento dos impactos na fabricação dos materiais e sistemas mais eficientes, como destacado por Dixit et al. (2010) acima e Gomes et al. (2018).

As várias certificações existentes no mundo, como o Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), BRE Environmental Assessment Method (BREEAM), Haute Qualité Environnementale (HQE), e no Brasil, como o selo Casa Azul e Alta Qualidade Ambiental (AQUA), além de se restringir a empreendimentos de alto padrão (MARCOS, 2015), baseiam-se em avaliações prescritivas e requisitos específicos de certificação, e pouco ou nada consideram o impacto global da edificação em todo o seu ciclo de vida (EVANGELISTA, 2017). Por esse motivo, Evangelista (2017) evidencia que as mesmas não podem ser utilizadas como método de identificação de

impactos ambientais potenciais, não sendo capazes de “provocar melhorias efetivas no desempenho ambiental de uma edificação ao longo de todo o seu ciclo de vida” (p.22).

3.4.2.2. *Análise energética*

Baseando-se no processo metodológico da ACVE desenvolvido por Tavares (2006), Lobo (2010) destaca que a elaboração do inventário de emissões de dióxido de carbono, no âmbito do edifício, pode se dar pela “discriminação do inventário energético e a identificação das fontes de energia” (LOBO, 2010, p. 70), as quais permitem uma análise energética dos processos realizados.

Nesse sentido, desde a publicação da tese de Tavares (2006), muito se tem utilizado a análise energética, ou seja, as emissões de gases a partir de fonte de energia, em inventários de GEE, considerando para tal uma investigação detalhada dos processos que envolvem o ciclo de vida de uma construção. Cabe ressaltar que o IPCC aprova essa abordagem, desde que se respeitem as fontes energéticas reais de um determinado caso, local ou país, sendo embasada ainda em parâmetros da norma internacional ISO 14.040 e requisitos da EPA (2006) para impactos ambientais (LOBO, 2010).

De acordo com Paulsen e Sposto (2013) e defendido por Bessa (2010), tal conduta é consistente pois grande parte da energia utilizada é gerada com a utilização de combustíveis fósseis, principalmente no que se refere aos processos de produção dos materiais de construção. Para Pedroso (2015, p. 48), “o impacto do consumo energético intrínseco aos materiais de construção, [...] foi sendo compreendido como uma referência importante para avaliar o grau de sustentabilidade das habitações”, consolidando-se em pesquisas brasileiras.

No caso da estimativa de emissões de CO₂ incorporado a partir de dados energéticos, a abordagem mais utilizada é aquela que contabiliza as emissões para cada unidade de energia a partir das fontes primárias, por isso a necessidade de verificar a matriz elétrica geradora da energia disponível na região, e os processos

envolvidos na produção de um material, conseqüentemente dos energéticos utilizados quando não a energia elétrica (OLIVEIRA, 2016), ação indicada por Tavares (2006).

Também na escala do edifício, Nascimento (2011) considera o CO₂ como um impacto relacionado ao consumo energético, aplicando coeficientes de emissão, seja fatores de emissão, sobre a intensidade de consumo de energia, tanto pela matriz energética brasileira, quanto pelo consumo real, adotando as devidas métricas de transformação entre energia primária e secundária. O autor utiliza a abordagem de Hilgemberg (2005), que determina as emissões e coeficientes de conversão através de um modelo insumo-produto aplicado a indústrias e consumidores finais.

Marcos (2015) indica a obtenção dos valores de energia incorporada a partir da mensuração da energia, entretanto acrescenta que tal medida pode ser oriunda da energia fornecida ou da energia primária, que se referem, respectivamente, a quantidade de energia utilizada registrada em conta de energia elétrica e a utilizada para a produção dessa energia, podendo ser renovável ou não renovável. Porém, quando a mensuração ocorre de acordo com o consumo de energia fornecida, é necessário considerar as perdas que ocorrem, por exemplo, na transmissão, aplicando fatores de conversão.

A adoção de energia primária é imperativa por Teodoro (2017), independente da etapa do ciclo de vida da edificação a ser analisada, e é essa energia, contabilizada a partir da matriz de produção de um país, que pode ser utilizada como um indicador de emissão de GEE.

Pereira (2014) também assume em seu trabalho a relação entre conteúdo energético e emissão de CO₂, a qual seu estreitamento ou distanciamento é determinado pela fonte de energia utilizada, presente em todas as etapas de vida de uma edificação. Dessa forma, os diversos impactos ambientais possíveis de um material de construção são rigorosamente influenciados pela matriz energética industrial de um local (TEODORO, 2017).

Tanto Bessa (2010) como Costa (2012a) abordam as emissões de CO₂ com relação direta ao consumo de energia não renovável utilizada para a fabricação de um material. Isso porque essas fontes de energia correspondem a 70% da utilizada no processo incorporado dos principais materiais da construção (TAVARES, 2006). No entanto, Caldas (2016) verifica que a relação entre o consumo de energia e quantidade de CO₂ emitida não é direta, mas sim interligada, uma vez “que um sistema

pode ter menor consumo de energia, no entanto, pode emitir maior quantidade de emissões de CO₂” (p. 121).

Corroborando essa última alegação, Azevedo (2019) relata que é importante verificar a qualidade das fontes primárias, e não somente a quantidade utilizada. Nesse sentido, mais uma vez destaca-se a aplicação de fatores de conversão quando da utilização de dados de energia secundária, sendo imprescindível determinar a matriz energética e elétrica do local.

No Brasil, Rupp e Lamberts (2017), com base em dados do Sistema Interligado Nacional (SIN), apresentam esses fatores de conversão para energia primária a partir de energia elétrica, de 1,6, e térmica, de 1,1 tanto para o GLP como para o gás natural, no contexto da etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações, pelo PBE Edifica, para que a eficiência dos sistemas e equipamentos considere toda cadeia de transformação de energia. Os autores indicam ainda uma conversão direta das mesmas em emissões de CO₂, de 0,090 t.CO₂/MWh para a eletricidade, 0,202 t.CO₂/MWh para o gás natural e 0,227 t.CO₂/MWh para o GLP, sendo os dois últimos oriundos de queima direta.

3.4.2.3. *Carbono Incorporado*

A completude do ciclo de vida energético da edificação se dá pela soma entre a energia incorporada, a energia operacional e a energia de demolição (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010). Quanto a relação entre energia e emissões de CO₂, como já afirmado, o CI está associado a EI.

De acordo com Chau, Leung e Ng (2015), destacado por Azevedo (2019), e também indicado por Tavares (2006), existem dois tipos de emissões de carbono a serem considerados para a quantificação estimada de carbono incorporado, que inclui a soma das emissões pelos processos de extração, manufatura, montagem do produto e transporte das matérias-primas, ou seja, as de carbono fóssil e as por processo. A primeira refere-se ao processo de produção do material, enquanto a segunda diz respeito às resultantes de reações químicas inerentes ao processo industrial (CHAU; LEUNG; NG, 2015). Assim, tanto as emissões fósseis como por

processo ocorrem na fase de construção e o que a antecede, e em todas as ações de manutenção ao longo da vida.

Para as emissões de carbono fóssil, um primeiro método de cálculo multiplica o total de energia utilizada para um processo de manufatura de material pelos valores apropriados de combustíveis, seja, as emissões para cada unidade de energia primária utilizada. Pelo segundo método, as emissões de carbono fóssil são estimadas multiplicando a quantidade de material utilizada pelos valores de emissão, seja, FE, de cada material (CHAU; LEUNG; NG, 2015). O segundo método é o mais simples e rápido, porém, exige um banco de dados periodicamente atualizado e regionalizado, de rara ocorrência como pode ser observado nas análises desse trabalho, enquanto que para o primeiro, os dados necessários são, em sua maioria, disponibilizados pelo Balanço Energético Nacional anualmente.

Já para as emissões de carbono por processo, de menor influência no ciclo de vida total da construção, e de valores mais altos para a produção do cimento e do aço, são justamente estimadas a partir do processo de calcinação e carbonatação, com cálculos mais detalhados (CHAU; LEUNG; NG, 2015). Nos estudos selecionados, apenas Silva (2017) demonstra a contabilização das emissões de CO₂ por processo pela carbonatação dos elementos estruturais.

Ainda, é necessário considerar a contabilização das emissões de GEE de materiais de base biológica, como a madeira, chamado de carbono biogênico, que pode ser considerado neutro e excluído do inventário, ou contabilizado a partir do CO₂ capturado e retido dentro do material pela fotossíntese (PAWELZIK et al., 2013). Azevedo (2019) utiliza a abordagem do carbono neutro para calcular as emissões do Painel de Tiras de Madeira Orientada – OSB –, considerando que, quando a madeira for queimada, ela irá liberar para a atmosfera a mesma quantidade de carbono que foi estocado durante sua vida enquanto vegetal, ou seja, com somatório resultante zero.

Considerando emissões de CO₂ eq., Lobo (2010) destaca que os dados resultantes de estudos brasileiros e internacionais se assemelham numericamente, mesmo que internacionalmente os materiais demandem maior energia embutida, muito em função da maior quantidade de tecnologia empregada nos processos, e as matrizes energéticas com maior participação de combustíveis fósseis. O mesmo foi apontado por Tavares (2006), o qual justifica tal semelhança de valores totais por práticas brasileiras da indústria da construção, como, até hoje, o uso da lenha para a

queima da alvenaria; o intenso uso de cimento em diversos sistemas construtivos; e ainda os altos índices de desperdício de material em obra e ao longo do processo de produção.

É possível destacar a importância do trabalho realizado por Tavares (2006) para o avanço dos estudos nessa área no Brasil, sendo citado quase que pela totalidade da produção selecionada, independente do ano de desenvolvimento. Nesse sentido, se constata que a abordagem indicada pelo autor de emissões de CO₂ a partir da descrição de energéticos para determinado processo ou ação ainda é a mais aceita e disseminada no país, principalmente pelo levantamento de dados brasileiros.

3.4.2.4. *Nomenclatura, complexidade e dificuldades*

Atualmente, existem diversas e confusas interpretações para energia incorporada (*Embodied energy – EE*), muito pela falta de um protocolo fixo ou norma amplamente aplicada para a quantificação dessa energia (DIXIT et al., 2010). No Brasil, tal confusão ainda é complementada pela tradução da expressão *Embodied energy* em energia incorporada e energia embutida, sendo utilizada simultaneamente em diversos estudos da área em referência a uma mesma energia, e, em uma situação mais crítica e equivocada, sendo empregada para representar energias diferentes.

A não uniformização de nomenclatura também é apontada por Guimarães (2018), mas no que diz respeito a análise de incertezas e métodos para sua realização, o que gera um obstáculo para sua aplicação. Ainda, a correta referência aos processos ou etapas a serem considerados em uma avaliação são determinantes para uma interpretação confiável e precisa, e também a utilização do estudo como base para outras aplicações, evitando dubiedade.

Como exemplo, Albuquerque, Lira e Sposto (2018) indicam uma ACVCO₂ para a fase de aplicação de argamassas, o que corresponde aos processos em obra. Entretanto, no decorrer do estudo, é possível perceber que a análise considerou fatores de emissão das matérias primas da argamassa, o que, em um cenário ideal de inventário, corresponde ao processo de manufatura, que pode ou não conter dados

do transporte para a obra, configurando uma etapa anterior à aplicação indicada pelos autores.

Em relação a complexidade de cálculo do valor da energia incorporada, denominada embutida por Teodoro (2017) e Madeira (2019), em uma visão mais prática se dá pela dependência dos setores industrial de produção dos materiais de construção e de transporte (TEODORO, 2017; MADEIRA, 2019), que, por sua vez, dependem de outros conjuntos de atividade antecedentes. Teodoro (2017) afirma que os valores de energia incorporada para o setor da construção civil dependem da metodologia de cálculo adotada, resultando em grande variabilidade. Nesse sentido, é na metodologia que se determinam as fronteiras do sistema, seja, as atividades e insumos a serem considerados, ao modo de coleta de dados para o inventário, local de aplicação da pesquisa e tipos de transporte, entre outros fatores.

Para Gomes et al. (2019) e Morales et al. (2019), a complexidade das questões de quantificação de impactos ambientais e a associação de produtos ditos como sustentáveis pela indústria com os custos são as principais dificuldades da adoção de práticas sustentáveis no setor da construção civil, além da falta de transparência nessas avaliações ambientais e uso de dados inadequados. De mesma opinião, Guimarães (2018), a partir de uma revisão sistemática de literatura, aponta que o baixo uso desse tipo de análise se deve, entretanto, não a divergências metodológicas ou relevância, uma vez que “incertezas são inevitáveis e inerentes à aplicação da técnica” em análises de impacto ambiental, mas sim à dificuldade e complexidade do processo (GUIMARÃES, 2018, p. 16).

Costa (2012b, p. 18), assim como Munarim (2014), salienta que “a abrangência do tema dificulta o avanço dos estudos na adequação de metodologias para diversos setores”, principalmente em função da complexidade dos cálculos, a necessidade de dispor de dados quantitativos e qualitativos, autênticos e muitas vezes com necessidade de manipulação quanto a métricas padrão, e a dificuldade no uso de modelagem computacional, que poderia facilitar a difusão da aplicação. Para Bento (2016), a complexidade das ferramentas computacionais disponíveis exige um profissional especialista, estando inacessíveis para a maioria dos projetistas e construtores, impedindo a difusão e normatização de análises ambientais.

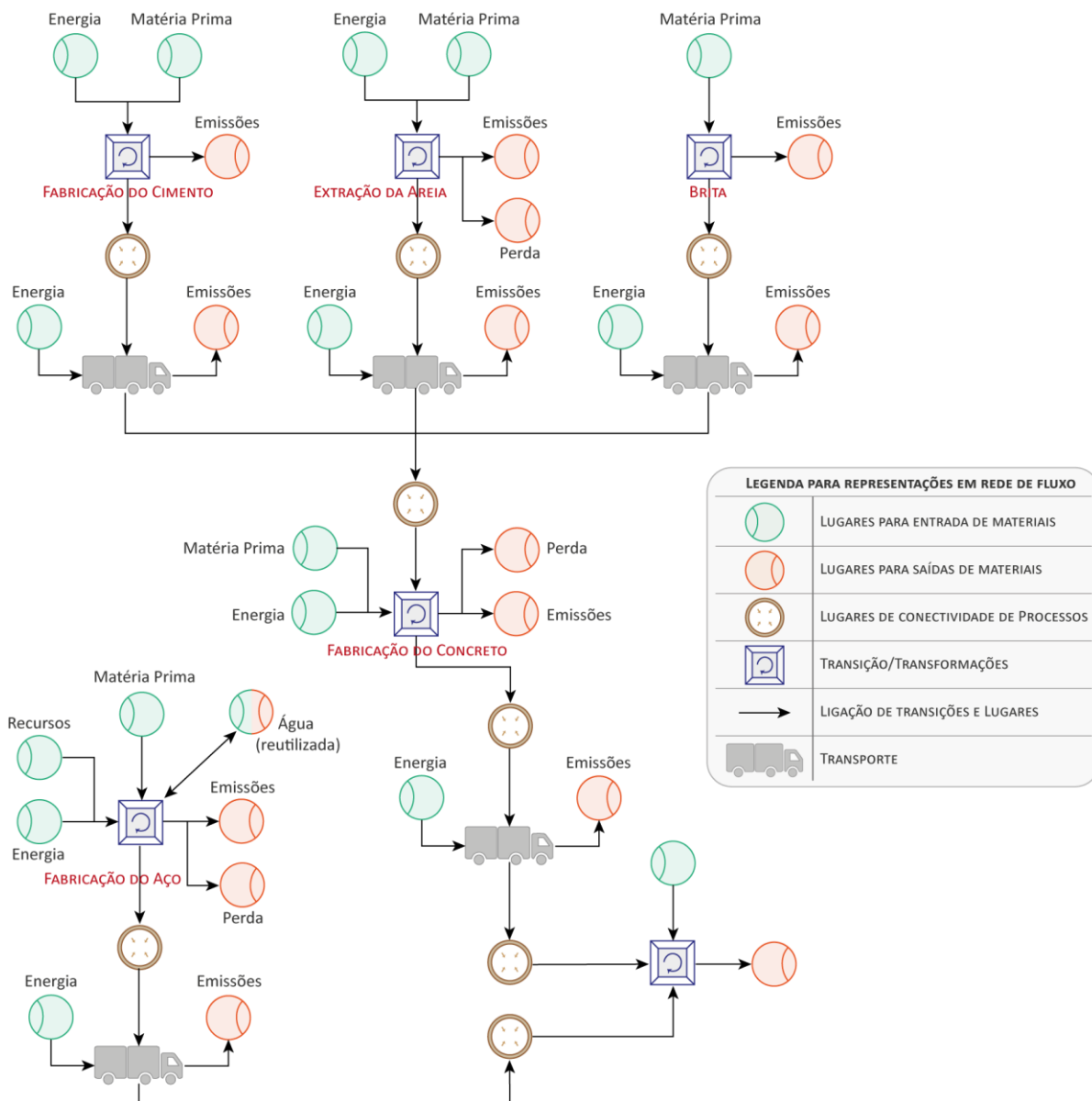
Essa complexidade é apontada também por Sartori e Calmon (2019), que sugerem que uma possível solução para disseminar o uso de metodologias de

avaliação ambiental no setor é a incorporação dessas em programas de modelagem 3D que utilizam a Modelagem de Informações da Construção, conhecida como BIM (*Building Information Modelling*). Essa aplicação, voltada para a etapa projetual e auxiliando na escolha de materiais, foi investigada por: Marcos (2015) e Postay (2015), em análise energética da etapa pré-operacional, onde a primeira autora inseriu manualmente no software BIM os dados de EI e emissões de CO₂ para cada material do modelo, e a segunda utilizou o BIM principalmente para extração de quantitativos; Bueno e Feliciano (2018) e Najjar et al. (2017), utilizando um plug-in (Tally) para uma avaliação do ciclo de vida completo da edificação; Crippa et al. (2018), através de planilha de dados do software SimaPro introduzida ao ArchiCAD e para a etapa pré-operacional; e por Azevedo (2019), em todo o ciclo de vida da edificação, adicionando as informações de cada material e as equações dentro do software BIM.

Quanto a pesquisa de Bueno e Feliciano (2018), que compararam os resultados obtidos pelo plug-in Tally aplicado ao BIM e do software GaBi para diferentes configurações de parede, os autores identificaram que pelo primeiro processo, os dados da categoria de impacto aquecimento global, correspondente as emissões de GEE, foram superiores aos resultados do software GaBi, concluindo inconsistências na utilização do plug-in. Ainda assim, acredita-se que, mesmo com distorções, o uso de BIM em conjunto com plug-ins possa incentivar as avaliações por profissionais não especializados na área ambiental e auxiliar na escolha de materiais, uma vez que não seria mandatório o uso de outros programas e arquivos específicos (BUENO; FELICIANO, 2018; CRIPPA et al., 2018), podendo ser uma das ferramentas a serem disseminadas para a aplicação em larga escala por profissionais no Brasil em busca de melhorar a performance ambiental das edificações (NAJJAR et al., 2017; EVANGELISTA et al., 2018).

Para o desenvolvimento de análises ambientais no Brasil, Campos (2012) indica a criação de redes de fluxos, o que representa de forma transparente, de fácil compreensão e esquemática os processos produtivos de determinado produto. Assim, “é possível visualizar as principais etapas da produção e as interfaces entre elas— que ocorrem por meio de processos de transformação e armazenamento, representados por entradas e saídas de uma determinada rede” (CAMPOS, 2012, p. 73), como demonstra a Figura 35.

Figura 35 – Exemplo de diagrama de redes de fluxo – painel pré-moldado de concreto.



Fonte: A autora, com base em Campos (2012)

Com uma abordagem diferente da maioria dos outros autores, que utilizam modelos e softwares para a avaliação das categorias de impacto ambiental, Silva (2013) defende uma análise independente, ou seja, a consideração do consumo de energia e emissão de CO₂ com utilização de um banco de dados criada especificamente para um dado caso, e com a realização descritiva dos cálculos. Corroborando Caldeira (2016), esse procedimento configura a identificação de soluções mais próximas para aplicação no Brasil, além de o agente da avaliação estar

a par de todos os processos e tomada de decisões da análise, minimizando dificuldades possíveis com uso de softwares ou banco de dados específicos sobre os quais não se tem controle.

Por isso, entende-se que o fato de muitas estimativas de GEE serem realizadas descritivamente, a metade de todas as publicações analisadas por esse trabalho, atribui maior transparência para a pesquisa, pois apresentam os processos considerados e aqueles desconsiderados, sendo geralmente detalhados em redes de fluxo, como indicado por Campos (2012), além dos dados utilizados, os procedimentos de cálculo e as manipulações realizadas sobre os mesmos.

Em todas as estimativas de emissões de GEE ou de análise energética realizadas com uso de softwares, se percebeu que a maioria dos autores não justificou com propriedade a escolha do software para a realização de inventários – e cabe lembrar que este trabalho não analisa o tema impactos ambientais, sendo assim desconsiderados qualquer análise sobre os softwares que avaliam tal ocorrência –. A prática recorrente dos autores para justificar a escolha de determinada ferramenta é o relato e referência de trabalhos anteriores de mesmo desenvolvimento.

Ainda, o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida (PBACV) recomenda o uso da metodologia descrita pelo Manual do Sistema Internacional de Referência de Dados de Ciclo de Vida (*International Reference Life Cycle Data System –ILCD*), baseada nas normas internacionais ISO 14040 e 14044 de 2006, para a realização de ACVs no Brasil. De acordo com Sombrio (2015), os passos necessários para o desenvolvimento de uma avaliação, presentes no manual, são acompanhados de descrições de revisão pelos organizadores, tornando o texto confuso e dificultando a execução pelo profissional.

A autora sugere que ocorra o treinamento de profissionais para essa atividade, e que seja desenvolvido, ainda, “um método de organização pré-configurado para as situações propostas nos manuais [...], que passem por uma revisão de um especialista em cada caso, mas que possa ser utilizada por outros profissionais da equipe que passem por um treinamento rápido” (SOMBRIO, 2015, p. 118).

Por outro lado, Pedrosa (2015) afirma que o fato de o PBACV adotar os princípios do ILCD facilita o diálogo das pesquisas brasileiras com outros países, por seguir o padrão internacional, na consideração das normas ISO. É importante salientar que o manual em questão é destinado a avaliação de produtos, e não a

edificações, mesmo essa podendo ser considerada um único produto, não contemplando muitas variáveis necessárias para todos os sistemas que envolvem uma obra da construção civil.

O PBACV considera imprescindível a realização de avaliações completas, garantindo através do ILCD a robustez, consistência e qualidade de dados. Entretanto, para o Centro Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS), essa iniciativa não é a mais apropriada para a realidade da indústria da construção do Brasil, que necessita ainda unir esforços para formalizar seus processos.

Nesse sentido, o CBCS (2014) argumenta que é necessário no país uma condução simplificada de avaliações, o que pode vir a auxiliar na realização futura de ACVs completas, de realização defendida pelo PBACV, na possibilidade de fornecer um banco de dados inicial (PEDROSO, 2015), vindo ao encontro de uma ACV simplificada que Todd e Curran (1999) defenderam há mais de vinte anos para o contexto norte-americano. Essa simplificação, já adotada nos países europeus, e normatizada, é imprescindível para que a “implementação (de ACVs) cresça na construção civil” (CBCS, 2014, p. 113).

3.4.2.5. *Simplificações*

Assim, uma proposta de simplificação é a Avaliação do Ciclo de Vida Modular, baseada nas normas ISO em questão, e apresentada pelo CBCS, que prevê uma avaliação por módulos e evolutiva, acompanhando as possibilidades de empresas. Tal abordagem foi utilizada por Oliveira (2015a), em uma análise de impacto que considerou apenas a EI e emissão de CO₂ de blocos de concreto a partir de inventário realizado em 33 fábricas brasileiras.

Nesse caso, essa ACV modular pode ser caracterizada e denominada de ACV Energético (ACVE) e ACV de emissões de CO₂ ou CO₂ equivalente (ACVCO₂ e ACVCO₂ eq.), e é caracterizada também pela alteração das fronteiras do sistema, não avaliando o ciclo de vida completo da edificação ou produto, ou desconsiderando aspectos de interferência ao ambiente. Assim, “estudos que considerem somente alguns aspectos ambientais da ACV, como é o caso da ACVE, ACVCO₂ e a ACV

modular talvez sejam mais interessantes, visto que o país ainda possui uma carência de dados para vários setores, inclusive o da construção civil“ (CALDAS, 2016, p. 34).

Para Oliveira (2015a, p. 31), a “adoção de soluções simplificadoras com base na ACV tradicional é uma imposição da realidade para tornar a metodologia aplicável no cenário atual, tornando sua execução mais acessível à indústria” e aos profissionais. A autora elenca a utilização de dados secundários como uma das formas mais utilizadas de simplificação, recomendando sempre a análise de incertezas.

Caldas (2016) demonstra outras formas para essas simplificações que não a análise específica e independente de alguns elementos, como na atribuição de igual fator de emissão para diferentes tipos de areia aplicadas ao objeto de estudo, ou também a não diferenciação entre os tipos de tintas utilizadas, como acrílica ou PVA. A simplificação de utilização de um único fator de emissão para a areia também é adotada e destacada por Moraga (2017).

Em outra abordagem, a partir de comparação entre realização convencional de ACV por programa específico de análise ambiental e utilização de plug-in para BIM, Bueno e Fabrício (2018) afirmam que simplificações são necessárias para possibilitar a aplicação de uma ferramenta que auxilie as escolhas na fase de projeto por profissionais leigos, sem experiência ou conhecimento específico em ACV.

A ACVE é interpretada por Silva (2012b) como uma opção de otimização dos recursos disponíveis, além de simplificação da ACV, de aplicação extremamente complexa. Essa otimização diz respeito à necessidade de considerar apenas os processos que envolvem uso energético, direto e indireto, e obter como resultado dados mais palpáveis (PAULSEN; SPOSTO, 2013; OLIVEIRA; PACCA; JOHN, 2016), passíveis de mudança hoje no país, como otimização de maquinário e investimento em fontes renováveis no local de determinada empresa.

Entretanto, por meio de uma revisão bibliográfica sobre publicações de ACVE no Brasil, Madeira (2019) demonstra que a produção científica nesse tema ainda é bastante incipiente.

3.4.2.6. Limitações

Dentre uma das limitações apresentadas quanto a aplicação de ACV no Brasil, a dificuldade de mensuração de dados da construção é apontada por Costa (2012b), uma vez que a origem de muitos desses dados estar na informalidade. Além disso, muitos processos, principalmente no setor dos materiais não industrializados, ainda são ultrapassados, com baixo controle de qualidade e gerenciamento de processos de produção (COSTA, 2012b), dificultando o levantamento para um inventário por terceiros.

Outra questão que deve ser destacada é a confidencialidade exigida pelas empresas na disponibilização de dados, o que reduz a transparência dos estudos, e também das análises, quando algum dado não pode ser fornecido (OLIVEIRA, 2016). O mesmo é apontado em Evangelista (2017), onde a não divulgação ou fornecimento de dados ocorre pelo receio de plágio e até mesmo pela possibilidade de vinculação de uma imagem negativa em relação aos resultados das análises.

Esse tipo de empecilho é comumente visto nos trabalhos que envolvem estudo de caso, em que, quando da não omissão de informações por uma dada empresa ou indústria, as mesmas são impossibilitadas de difusão pelo autor, comprometendo a transparência do trabalho e comprometendo a comparabilidade entre estudos, e mais consequente que isso, exigindo o retrabalho por outros profissionais. Essa última consequência pode vir a ser um dos motivos de maior entrave para a realização de ACVs no país.

Além disso, Sartori (2018), com base em Buyle, Braet e Audenaert (2013), aponta que outro entrave para avaliações ambientais em edificações que não exclusiva ou acentuada do Brasil, principalmente para aplicações de ACV e suas derivações, é a “a imprevisibilidade do comportamento dos componentes da edificação” durante o ciclo de vida considerado e vida útil adotado (p. 38). Por isso, entende-se que as análises de impacto ao longo da vida útil de uma edificação apresentam muitas incertezas e imprevisibilidades, devendo, principalmente para essa etapa, ocorrer a análise de fatores geradores de incertezas em diferentes cenários, considerando diversas possibilidades ao longo da vida útil.

3.4.2.7. *Regionalização de Dados*

A necessidade da utilização de dados regionalizados foi verificada por Oliveira (2015a), onde, a partir de levantamentos de processos e insumos com diferentes fábricas de agregados, encontrou uma grande variabilidade entre resultados para energia incorporada e emissões de CO₂ entre empresas, concluindo a não homogeneidade de processos e insumos. Essa verificação também foi realizada por Braga (2018), que comparou o método de análise híbrida, com dados majoritariamente adaptados ao Brasil, e a simulação pelo software GaBi, com banco de dados internacionais, para a quantificação de emissões de CO₂. As emissões resultantes superiores no software em comparação com o método prescritivo são atribuídas pela autora aos diferentes coeficientes de conversão de energia em emissão de GEE utilizados.

De modo similar, em função dos poucos dados sobre levantamentos energéticos de materiais e processos na literatura brasileira voltados para a construção civil, e os disponíveis sem informações suficientes para avaliação e adoção, Nascimento (2011) realizou um estudo comparativo utilizando dupla base de dados: uma com agrupamento de banco de dados internacionais, e outra mista, com dados levantados na indústria local e modificações no agrupamento de dados internacionais para maior aproximação ao contexto brasileiro.

Percebe-se que, dos 24 elementos considerados no inventário, no banco de dados misto, somente 5 foram calculados, sendo os outros de literatura, e a diferença de valores desses cinco elementos entre as bases relacionam-se, em sua maioria, a diferenciações de etapas consideradas no processamento (NASCIMENTO, 2011). Essa diferenciação de valores das bases em relação ao total de energia para a construção altera em menos de 1% o resultado final, resultando em uma quantidade de energia inventariada menor que aquela que utiliza o banco de dados misto, seja, considerando elementos inventariados pelo autor, buscando a regionalização (NASCIMENTO, 2011).

Dentre todos os estudos selecionados, Nascimento (2011) é o que defende com maior argumentação a utilização de bases de dados regionais, além de incitar o olhar dos pesquisadores da área para os impactos locais, muitas vezes de discussão omitida na maioria das publicações. Assim, o autor salienta, para todos aqueles

processos envolvidos em uma edificação, desde sua concepção (NASCIMENTO, 2011, p. 58):

A entrada de recursos e a saída de poluentes nestes processos resultam no impacto ambiental local. Para a estimativa da produção de poluentes diretamente liberados na região são necessárias as considerações inerentes à produção dos materiais, deslocamento de veículos, consumo de combustíveis fósseis e disposição dos resíduos (NASCIMENTO, 2011, p. 58).

Morales et al. (2019) também realizaram comparação de uso de dados regionalizados e uso de banco de dados internacionais a partir de uma ACV, e os resultados demonstraram que o uso de dados não condizentes com o local de aplicação da avaliação pode levar a decisões de projeto inconsistentes, com escolha equivocada de materiais. Para os autores, que comprovaram uma redução dos impactos para o aquecimento global de até 54% com o uso de dados locais comparados aos internacionais, a regionalização de dados é comumente ignorada, mas influenciam diretamente nos resultados (MORALES et al., 2019).

Em um encaminhamento oposto, Invidiata (2017), a partir de uma análise multicritério de sustentabilidade (viés social, econômico e ambiental) para todo o ciclo de vida de uma edificação, realiza a contabilização das emissões de CO₂ para três cidades distintas utilizando uma mesma base de dados, resultando em um único valor para as três localidades, não conseguindo se aproximar da realidade, e mostrando a influência da regionalização de dados. O mesmo ocorre com Maia de Souza et al. (2016), onde uma das limitações apresentadas foi a necessidade de uso de valores ou parâmetros constantes em todo o país, levando a resultados de menor acurácia e que não podem ser garantidos e utilizados como referência.

Logo, deve-se considerar que mudanças na escolha do fabricante ou do estabelecimento comercial de compra do material, local da construção e tipo de transporte utilizado alteram significativamente os valores de energia incorporada e emissões de GEE para uma dada edificação (CARMINATTI JR., 2012). Isso demonstra que a utilização de dados de bibliografia, seja ela local, nacional ou internacional, e de bancos de dados de softwares, podem intensificar as incertezas em análises ambientais, fazendo com que as mesmas não sejam confiáveis para importante tomada de decisões em obra e em processos produtivos.

Como trabalhos que podem ser considerados de caráter local, com o acompanhamento dos processos desenvolvidos na região de estudo e utilizando dados majoritariamente nacionais, destacam-se: Souza (2012), relativo à areia; Silva (2012a), com o MDP; Fabrício (2014), com a análise do gesso; telhas de fibrocimento de Marques (2014); telhas cerâmicas e termoacústicas de Caldeira (2016); Oliveira (2016), com o sistema wood frame; e Feliciano (2019) com perfis de alumínio para esquadrias.

Dentre os trabalhos selecionados, Caldeira (2016), aplicando a ACVE em telhas, é um dos únicos a sugerir a não utilização dos dados apresentados em seu trabalho para outras aplicações por se tratar de uma situação específica, para um local e época, evidenciando a singularidade das avaliações para os materiais. Por isso, a regionalização dos dados é entendida por Guerra (2017) como um dos maiores desafios para o país, considerando a não existência da prática de registro desse tipo de informação pelas indústrias.

Quanto à formulação de inventários de materiais e processos, o grau de detalhamento e precisão são dependentes de um acompanhamento das etapas junto ao construtor e etapas da obra, uma vez que o banco de dados brasileiro se apresenta de maneira bastante rudimentar (NASCIMENTO, 2011). Além disso, a extensão e diversidade das cadeias produtivas dos materiais de construção no Brasil configuram uma amplitude de aspectos possíveis a serem considerados muitas vezes difícil de compreender ou acompanhar (PEDROSO, 2015).

Ainda, é necessário apresentar como foram obtidos esses dados, geralmente energéticos, e que vão compor uma base de dados, pois esse tipo de informação pode ser determinística e ter influência substancial em uma análise energética baseada em ACV (NASCIMENTO, 2011). Sombrio (2015) ressalta que existe uma dependência entre materiais, pois a realização de uma análise ambiental de produto exige informações sobre ciclo de vida e impactos de diversos outros produtos, quando em um processo de manufatura.

Por outro lado, Evangelista (2017) muito bem argumenta que a inexistência de banco de dados locais não deve impedir o desenvolvimento e disseminação de análises ambientais como a ACV, sendo as pesquisas que utilizam dados secundários e internacionais validadas. A autora explicita que tanto a disseminação que vem sendo realizada hoje, nas condições existentes em relação a banco de dados, como o

desenvolvimento de inventários nacionais e regionais, devem ocorrer simultaneamente, não dependente um do outro, para que não comprometa “a devida melhoria de desempenho e competitividade dos produtos nacionais” (EVANGELISTA, 2017, p. 42).

Para os trabalhos que não realizam o levantamento em obra ou acompanhamento de todos os processos, ou ainda quando não há fornecimento de dados pelas empresas, a conduta comum entre autores é a utilização de ferramentas com parâmetros nacionais relativos a construção, como a Tabela de Composições e Preços para Orçamentos (TCPO) e o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), disponibilizado pela Caixa Econômica Federal.

Por fim, para Pomponi, de Wolf e Moncaster (2018), a conversão de dados de energia incorporada de processos industriais, como de materiais da construção, já estabelecidos em dados de carbono incorporado, considerando a matriz energética do país de análise, é uma das medidas de mitigação para a falta de dados regionalizados. Ainda, a utilização de um modo híbrido para a realização das análises é recomendada, sendo as duas medidas sugeridas coincidentes com a abordagem utilizada por muitos autores analisados nessa revisão.

3.4.2.8. *Transporte*

Sartori (2018) afirma que comumente a etapa de transporte é descartada de contabilizações e análises energéticas, pois representa pouco valor em relação ao ciclo de vida total de energia. Trabalhos como Monich (2012), Borges et al. (2014), Cunha (2016) e Madeira (2019) desconsideram a etapa por esse motivo. Entretanto, contrariando a afirmação anterior, a etapa de transporte deve ser avaliada para cada caso e cada material, e é apontada por Tavares (2006) como uma das mais importantes, exemplificando que eventualmente um material, como a areia, pode exigir pouca energia em sua preparação (seja ela extração da matéria prima ou manufatura), mas o peso e a distância até o local da obra contabilizam altos valores de energia incorporada.

Isso é percebido no estudo de Marques, Gomes e Kern (2016), onde, em uma avaliação ambiental de diferentes telhas, as grandes distâncias percorridas entre os processos da fase de pré-obra resultaram em impactos ambientais, no caso de emissões, maiores do que aqueles resultantes do processo de fabricação.

Complementarmente, Caldas e Sposto (2017, p. 92) enfatizam que as diferenças das regiões brasileiras quanto ao desenvolvimento tecnológico resultam “na variação da disponibilidade de diferentes materiais para cada uma dessas regiões”. Os autores lembram que o Brasil possui uma grande área territorial, sendo provável que grandes distâncias sejam percorridas para entrega de determinado produto não disponível na região para uma determinada obra (CALDAS; SPOSTO, 2017).

3.4.2.9. *Instalações*

Um dos poucos trabalhos a considerar os impactos das instalações elétricas e hidráulicas para a energia e carbono incorporados é o de Sartori (2018), utilizando dados de relatório interno auxiliar do processo de etiquetagem do RTQ-C. Pessoa (2019) também contabilizou tais emissões, multiplicando os quantitativos utilizados em obra pelo fator de emissão do material a partir de dados estimados e utilizados por Lobo (2010).

3.4.2.10. *Materiais e Cortes*

No que se refere à escolha dos materiais e “entradas” a serem considerados para uma análise ambiental, seja ela por ACV ou não, Costa (2012a) indica considerar a quantidade de energia incorporada consumida. Nesse sentido, a partir de outros autores, como Tavares (2006), há a indicação de que “a estrutura e as paredes de uma edificação correspondem a mais de 60% do conteúdo energético dos materiais de uma edificação” (COSTA, 2012a, p. 77), e de que, dentro desses sistemas, “o cimento, cerâmica vermelha, aço e cerâmica de revestimento são responsáveis por

mais de 80%” (COSTA, 2012a, p. 77). Em seu trabalho, o autor classifica o setor de energia e o setor de transporte como materiais, sendo avaliados como elementos integrados aos citados anteriormente.

Ainda, quanto a quais materiais considerar para as estimativas quando em uma análise integral do edifício, autores como Bessa (2010), Costa (2012a), Silva (2012a), Silva (2013), Miller (2015), entre outros, utilizam ação aprovada pela IBICT (2008), que indica o corte, ou desconsideração, de materiais que contribuem com menos de 1% da massa total de materiais.

Já Rossi (2013) adota o critério de corte de 5% dessa massa, no que se refere a entradas no fluxo. Entretanto, caso a substância seja reconhecida como de alto impacto ambiental, deve ser considerada nas avaliações, independente do critério de corte. Essa mesma regra de corte foi adotada por Caldas (2016), em análise de sistemas de vedação vertical, sendo descartados, nesse caso, materiais como pregos, parafusos, vidraria, impermeabilização e rejunte.

Dentre os materiais de maior influência nas questões ambientais no Brasil e representando as maiores participações para os impactos, LASSIO e Haddad (2016), corroborando Costa (2012), destacam a madeira, o cimento, o aço e a cerâmica. A esse último, a influência ambiental ocorre em função da grande massa utilizada nas construções pelos tijolos ou blocos e revestimentos (LASSIO et al., 2016), além de ser um material já estabelecido culturalmente no Brasil como de qualidade, sendo ainda referência de escolha para as construções no país.

Como destaque, o concreto é um dos elementos com maior poder de geração de impactos ambientais no que diz respeito as emissões atmosféricas, em função da decomposição dos carbonatos do cimento, sendo ainda um dos materiais da construção mais utilizados em todo o mundo (GOMES et al., 2019). Por se tratar de emissões por processo, como caracterizado por Tavares (2006) e Chau, Leung e Ng (2015), Gomes et al. (2019) afirmam que essas emissões tem pouco potencial de redução pelo aumento da eficiência energética ou troca de combustível durante seu processo de transformação, exigindo que sejam estudados materiais substitutos ao clínquer e o desenvolvimento de cimentos alternativos, e até mesmo a redução do cimento na indústria da construção civil.

3.4.2.11. Conclusão da revisão de conteúdo e análise crítica

É possível afirmar que a maioria dos autores utiliza argumentos muitas vezes distorcidos para justificar uma pesquisa, como a afirmação de que a maioria dos estudos no Brasil não consideram a fase de uso da edificação, quando esse é o objeto da pesquisa, ou que a maioria realiza análise sobre todo o ciclo da edificação, em contrapartida ao trabalho que é realizado para uma determinada fase. Isso se deve ao fato de que há uma necessidade acadêmica e científica em justificar uma pesquisa com base em outras, o que, para o atual tema, poderia não ser aplicado, uma vez que, como destacado por muitos autores, entre eles Pomponi, de Wolf e Moncaster (2018), tais estudos estão, ainda que ao longo de aproximados vinte anos de emergência do tema, em fase inicial, tanto no Brasil como na América Latina.

Nesse sentido, argumenta-se que a justificativa plausível para a avaliação de qualquer etapa da edificação dentro do assunto exposto se dá pela necessidade de aprofundamento ao tema, de contribuições para a área, tanto no que diz respeito a dados sobre produtos e materiais, como em processos e referencial teórico no país.

Majoritariamente entre todos os trabalhos selecionados após os critérios de elegibilidade, a falta de um banco de dados nacional, em geral, foi indicada como uma das principais limitações. Embora existam no país as Estimativas Anuais de Emissões de GEE (BRASIL, 2017) e o Registro Público De Emissões, inventários disponibilizados publicamente por algumas empresas¹⁶ pelo Programa Brasileiro GHG Protocol, a carência de informações específicas para a construção civil, sendo elas relativas à materiais e processos que precedem o seu uso, são determinantes para a baixa adesão e engajamento com o tema, principalmente por exigir investimento financeiro de quem a realiza.

Ainda, dentre os trabalhos que integraram os impactos por transporte nas análises, a falta de consistência e homogeneidade entre métodos ou procedimentos de cálculo adotados pelos autores foi identificada, além de uma variedade entre fontes de dados utilizadas como referência para tal. Nesse sentido, é notável a necessidade

¹⁶ A única empresa da construção civil a realizar periodicamente e disponibilizar inventários é a Construtora Norberto Odebrecht. Já para a Indústria da transformação, 48 empresas, maioria do setor automobilístico e alimentício (GHG Protocol. Registro público de emissões. FGV: São Paulo, 2020. Disponível em: <https://registropublicodeemissoes.com.br/>. Acesso em: jun 2020)

de elaboração de um procedimento padrão nacional específico para esse item, uma vez que o mesmo integra avaliações ambientais de diversos outros setores que não somente a construção civil.

Quanto ao tipo de abordagem, a análise híbrida, mesmo que de origem da ACV, pode ser utilizada como abordagem por outras análises de impacto ambiental no que diz respeito ao tipo de processo realizado quanto às entradas de dados, e se destaca nos trabalhos analisados. Mesmo sem a nomeação ou indicação desse processo pelos autores, percebe-se que os mesmos reúnem esforços para a aquisição de dados de diferentes fontes e naturezas, seja, os possíveis de serem levantados, indicando uma prática bastante comum no Brasil, em função da incompletude de inventários oficiais.

No entanto, para reais medidas de mitigação de emissões de GEE na área da construção, Lampreia et al. (2011) indicam a necessidade de investimento em tecnologia, como a transferência dessas de países desenvolvidos para aqueles em desenvolvimento, em conjunto com a aplicação de normas, acordos, e inclusive multas, o que pode gerar conflito principalmente com o setor industrial em um primeiro período de implantação.

Para Silva (2012a), a concorrência comercial já está pautada no desempenho ambiental dos produtos, possibilitado a partir de comparações entre ACVs, e a avaliação de produtos pode ser utilizada como uma estratégia comercial, oferecendo um fator qualitativo diferente da concorrência (SILVA, 2013). Entretanto, o autor ainda enfatiza que, no que se refere aos métodos de avaliação de impacto, que de fato darão subsídios mais completos para essa comparação, seu desenvolvimento ocorre para algumas regiões do mundo, como Estados Unidos e Europa, impossibilitando uma representação próxima à real em demais localidades (SILVA, 2012a).

Nesse sentido, Campos (2012) destaca que a ACV no Brasil ocorre isoladamente, majoritariamente, por meio de trabalhos acadêmicos, também argumentado por Munarim (2014), muito em função das relações e contatos exteriores de autores nesse setor. Em relação à indústria e empresas, poucas genuinamente brasileiras desenvolveram uma ACV de seus produtos ou processos, enquanto que aquelas com sede no exterior, ou que estão ativamente no comércio exterior, buscam esses estudos com intuito de melhorar a competitividade e se manter nos critérios exigidos pelos países de importação.

Apesar disso, segundo Campos (2012), até 2012 o Brasil era o único país da América Latina a possuir um programa apoiado pelo governo federal e em acordo com diretrizes internacionais para o desenvolvimento de ICVs, em função da utilização do manual ILCD. Entretanto, a participação e interesse em fornecimento de dados pelo setor industrial são incipientes desde o princípio (CAMPOS, 2012), comprometendo tanto a inserção de produtos brasileiros no exterior, como o comércio local, uma vez que inventários e ACVs são limitadas e não realizadas.

Pedroso (2015) ressalta que a validação de comparações entre materiais depende de uma parametrização de coleta de dados, com parâmetros definidos para a realização de inventários, sendo necessário sua aplicação em cada país ou região.

A melhor aplicação da ACV é vista por Silva (2012a) como de suporte para a tomada de decisão, fazendo parte de um processo mais amplo, contendo aspectos econômicos e sociais, cada um com técnicas ou ferramentas de análise apropriadas. Assim, para a questão ambiental, tal método corresponde a uma ferramenta útil na etapa de projeto, colaborando na identificação de estratégias projetuais de acordo com o objetivo desejado (INVIDIATA, 2017).

Nesse sentido, Invidiata (2017) esclarece que a adoção da prática pelos projetistas pode evitar escolhas determinadas somente pela eficiência em operação de algum material ou sistema, que, por sua avaliação de energia, poderia condicionar soluções de grande impacto incorporado.

Pomponi, de Wolf e Moncaster (2018) afirmam, de modo bastante enfático, que a realização de muitos trabalhos na área sem aplicação prática por profissionais configuram esforços perdidos, sem provocar mudanças significativas no modo como o ambiente construído é desenvolvido. Por fim, “os interesses comerciais, setoriais ou políticos não devem sobrepor os interesses científicos e da sociedade” (EVANGELISTA, 2017, p. 59).

CAPÍTULO 4

PROPOSTA DE FERRAMENTA PARA QUANTIFICAÇÃO ESTIMADA DE CARBONO DE MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Com o intuito de contribuir para a difusão da consideração prática das questões ambientais pelos profissionais da construção civil, principalmente para aqueles responsáveis pela etapa de projeto das edificações, a parte final do presente trabalho apresenta o esqueleto e desenvolvimento inicial de uma ferramenta de contabilização estimada de emissões de carbono incorporado inicial e recorrente para materiais de construção específicos na região central do Rio Grande do Sul, especificamente para a cidade de Santa Maria.

A ferramenta foi elaborada em um editor de planilhas (Microsoft Excel), de utilização difundida no meio acadêmico, utilizando dados de fatores de emissão secundários da literatura e compilados, formando um banco de dados exclusivo para a ferramenta, e a partir de levantamento junto a empresas da região no que diz respeito à etapa de transporte. Os materiais contemplados foram: areia, argamassa industrializada, brita, cal, cimento, concreto, blocos de concreto, revestimentos e blocos cerâmicos, e telhas de cerâmica, de concreto e de fibrocimento.

A aplicação da proposta de ferramenta é apresentada na parte final dos resultados a partir de um exemplo prático de estimativa de emissões de CO₂ para alguns materiais e sistemas de uma edificação. Para fins de comparação, se optou pela utilização de uma edificação utilizada por outra pesquisa na qual a estimativa de

emissões foi realizada para materiais e sistemas contemplados pela ferramenta proposta.

4.1. COMPILAÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS PARA INSERÇÃO NA FERRAMENTA

A inviabilidade de levantamento de processos dos materiais da construção em questão para o cálculo do fator de emissão (FE) de cada um para a região estudada demandou que uma compilação a partir de dados secundários fosse executada. Assim, somente dados encontrados na literatura nacional e/ou com referência nacional à fonte original de dados foram considerados.

O Apêndice D apresenta os FE de diferentes autores nacionais, em kgCO_2/kg , dos materiais da construção aos quais o presente trabalho se dedica. Os dados apresentados pelos autores foram tabelados e as referências dos mesmos mantidas. Dados com referência anterior aos anos 2000 foram excluídos da compilação pela dificuldade em identificar e acessar a fonte original dos mesmos e reconhecer os procedimentos para sua obtenção.

Os FE dos materiais de construção apresentados na Tabela 10 do Apêndice D foram extraídos das dissertações de Caldas (2016), Piva (2019) e Madeira (2019) e das teses de Indiviata (2017) e Teodoro (2017), trabalhos classificados como de alta qualidade durante a condução da RSL, além da tese de Montes (2016), de média qualidade. Os trabalhos foram considerados justamente por apresentar a origem dos dados utilizados.

Além desses, FE calculados para as fronteiras “berço ao portão” por autores através de ACV descritiva a partir de levantamentos e medições locais para materiais específicos, constituindo fonte primária de dados, foram transformados na unidade kgCO_2/kg quando necessário e integrados aos FE citados anteriormente, sendo: areia, a partir de Souza (2012), na cidade de São José do Rio Preto, SP; brita 1 (brita de basalto 4,8 to 12,5mm) por Rossi (2013), em Limeira, SP; telhas de fibrocimento com a incorporação de fibras de polipropileno (PP) em substituição ao amianto em fábrica

em Esteio, RS; e, bloco de concreto, por Oliveira, Pacca e John (2016), a partir de dados de 26 fábricas brasileiras de blocos de concreto.

Contribuindo para a compilação desses dados, o artigo de Tavares e Bragança (2016) apresenta uma atualização de dados e coeficientes utilizados na tese de Tavares (2006), bem como parcialmente o procedimento de obtenção dos mesmos. Entretanto, com a existência de dados mais recentes, os valores apresentados por Tavares e Bragança (2016) foram recalculados com base no uso de insumos energéticos e geração por fonte para cada material.

A Figura 36 discrimina a atuação em porcentagem de cada insumo energético, apresentados por Tavares e Bragança (2016), e os valores de Energia Embutida (MJ/kg), como nomeado pelos autores, para cada material, indicados originalmente por Tavares (2006). Os dados apresentados por esse autor, apesar do ano de publicação, ainda são utilizados como referência para estudos aplicados no Brasil, como os de Sartori e Calmon (2019), Paulsen e Sposto (2013) e Taborianski e Prado (2012), publicados em qualificados periódicos internacionais.

Figura 36 - Insumos energéticos para fabricação de materiais (%) e Energia Embutida (MJ/kg)

FONTES	FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS								RENOVÁVEIS				EE (MJ/kg) - TAVARES 2006
	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	OUTRAS	
AÇO E FERRO	1	6					45	10	19			19	35
AREIA	25	15						30				30	0,5
ARGAMASSA (1:2:8)	30	10		10				30				20	2,1
CAL	10	20						15		55			0,5
CERÂMICA REVESTIMENTO	15	60	10					15					3
CERÂMICA VERMELHA	4	2	8					5		80		1	3
CIMENTO	1			70		2		13	3			11	4,5
CONCRETO (12% CIMENTO)	25	15		10				30				20	1,2
PEDRA	30	10						30				30	1,5

Fonte: A autora, a partir de Tavares (2006) e Tavares e Bragança (2016).

A geração de CO₂ por uso de cada uma dessas fontes foi atualizada com dados do BEN (2019) e apresentadas na Figura 37. Para aquelas fontes as quais não foram encontrados dados atualizados ou não foi possível o cálculo dos mesmos com os

dados disponíveis pelo BEN (2019), em branco na Figura 20, se considerou o valor apresentado por Tavares e Bragança (2016).

Figura 37 - Geração de CO₂ por uso de fonte combustível

FONTE COMBUSTÍVEL	CO ₂ (kg/Gj) - Tavares e Bragança (2016)	CO ₂ (kg/Gj) atualizada	Referência/Fonte
ALCOOL COMBUSTÍVEL	70,8		
BIODIESEL	70,8	74,067	BEN 2019/IPCC 2006
BIOMASSA SOLIDA GERAL	100	100,1	BEN 2019/MCTIC 2016
CARVÃO MINERAL	94,6	94,6	BEN 2019/MCTIC 2016
CARVÃO VEGETAL	33,6	106,7	BEN 2019/MCTIC 2016
COQUE DE CARVÃO MINERAL	107	107,067	BEN 2019/MCTIC 2016
COQUE DE PETRÓLEO	97,5	97,533	BEN 2019/MCTIC 2016
ELETRICIDADE (ver tab. 3)	42,2		
GÁS DE ALTO FORNO	260		
GÁS DE ATERRO	54,6		
GÁS NATURAL	56,1	56,1	BEN 2019/MCTIC 2016
GASOLINA	69,3	69,3	BEN 2019/MCTIC 2016
GLP	63,1	63,067	BEN 2019/MCTIC 2016
LENHA	56	100,467	MCTIC 2016/MCTIC 2016
LIXÍVIA	95,3	95,333	BEN 2019/IPCC 2006
ÓLEO COMBUSTÍVEL	74,1	77,367	BEN 2019/MCTIC 2016
OUTRAS	87		
OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	100	80,77	MCTIC 2016/IPCC 2006
OUTRAS FONTES PRIM.FÓSSEIS	73,3		
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	73,3	73,333	BEN 2019/MCTIC 2016
OUTROS BIOGASES	54,6	54,633	BEN 2019/IPCC 2006
PETRÓLEO	73,3	73,333	BEN 2019/IPCC 2006
QUEROSENE AVIAÇÃO	71,5	71,5	BEN 2019/MCTIC 2016

Fonte: A autora, com base em Tavares e Bragança (2016) e dados de BEN (2019).

No que diz respeito às emissões de CO₂ pela geração de energia elétrica, ou seja, o fator de emissão para a eletricidade, se considerou apenas a parcela de eletricidade gerada por termelétricas a partir de combustíveis fósseis. Considerando a abordagem apresentada por Tavares (2006) e Tavares e Bragança (2016), o valor é estimado a partir da contribuição das fontes de termoeletricidade na matriz elétrica brasileira e sua eficiência, junto às emissões por cada fonte, de acordo com a Figura 38, resultando em uma geração de CO₂ para a eletricidade de 29,3 kgCO₂/Gj considerando dados do EPE (2019).

Figura 38 – Emissão de CO₂ para a eletricidade

TERMOELETRICIDADE	MATRIZ BRASILEIRA (%)	EFICIÊNCIA	FATOR	%	kg CO ₂ /GJ (Fontes)	kg CO ₂ /GJ (Eletricidade)
Carvão	3,7	0,2	5	18,5	94,6	17,501
Óleo	1,9	0,3	3,3	6,333333	77,367	4,89991
Gás Natural	8,6	0,7	1,4	12,28571	56,1	6,89228571
						29,2931957

Fonte: A autora, com base em Tavares (2006) e dados de EPE (2019).

Já a geração de CO₂ por processos é apresentada por Tavares e Bragança (2016), a partir das quais, junto aos dados já descritos, foi possível a obtenção de valores de FE atualizados para os materiais em questão (Figura 39), e integralizados aos cômputo dos dados no Apêndice D.

Figura 39 – Fator de emissão por material de acordo com metodologia de Tavares (2006).

MATERIAIS	CO ₂ (kgCO ₂ /kg) por material	CO ₂ (kgCO ₂ /kg) liberado	CO ₂ (kgCO ₂ /kg) final por material
AÇO E FERRO	3,22		3,222
AREIA	0,03		0,031
ARGAMASSA (1:2:8)	0,14	0,21	0,346
CAL	0,24	0,76	0,996
CERÂMICA REVESTIMENTO	0,17		0,168
CERÂMICA VERMELHA	0,46		0,460
CIMENTO	0,39	0,37	0,764
CONCRETO (12% CIMENTO)	0,08	0,05	0,126
PEDRA	0,10		0,096

Fonte: A autora.

A Figura 40 apresenta os Fatores de Emissão de CO₂ em quilograma de gás carbônico emitido para cada quilograma de material, na fronteira do sistema “berço ao portão”, que considera os processos de extração da matéria prima, transporte e processamento e/ou manufatura. Os dados são resultantes da compilação apresentada no Apêndice D e são apresentados a média, o valor máximo e o valor mínimo encontrados, bem como o desvio padrão (DV) e o coeficiente de variação (CV).

Figura 40 - Fator de emissão de CO₂ por material a partir de diversos autores.

Material	FE CO ₂ (kgCO ₂ /kg)					
	Média	Max	Mín	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	
AÇO	1,9590	3,2220	1,4500	0,536998138	27%	
AGREGADO	0,0893	0,0960	0,0860	0,004714045	5%	
AREIA	0,0257	0,0900	0,0058	0,025451314	99%	
ARGAMASSA	0,2120	0,3460	0,1160	0,081945658	39%	
BLOCO DE CONCRETO	0,1622	0,2700	0,0188	0,090577452	56%	
BRITA	0,0400	0,0900	0,0017	0,041136697	103%	
CAL	0,9303	1,2700	0,7400	0,168556927	18%	
CERÂMICOS	Geral	0,2544	0,5100	0,0910	0,146721622	58%
	Blocos	0,4298	0,9100	0,1100	0,292352848	68%
	Pisos	0,6730	0,9080	0,2900	0,253167138	38%
	Revestimento	0,2299	0,2900	0,1230	0,060867745	26%
	Telha	0,4325	0,9080	0,0910	0,296503794	69%
CHAPISCO	0,1100	0,1100	0,1100	0	0%	
CIMENTO	0,6400	0,9690	0,2560	0,172751655	27%	
CONCRETO	0,1703	0,4000	0,0900	0,094380546	55%	
EMBOÇO	0,1100	0,1100	0,1100	0	0%	
FIBROCIMENTO	0,8990	0,8990	0,8990	0	0%	
GESSO	0,6119	0,9000	0,4300	0,1703118	28%	
REBOCO	0,1100	0,1100	0,1100	0	0%	

Fonte: A autora.

Tanto o DV como o CV são utilizados para análises de incertezas, sendo apresentados sempre que possível.

4.1.1. Procedimentos de Cálculo

Como já visto no item 2.4., o carbono incorporado pode ser dividido em inicial, quanto aos processos de extração e processamento de materiais; e, recorrente, emitido pelos processos de manutenção, que, em termos de cálculo, repetem os procedimentos de estimativa do carbono incorporado inicial. O FE de carbono de um

material corresponde às etapas de extração da matéria prima, transporte dessa matéria prima até o local de manufatura/processamento e a manufatura/processamento.

Assim, fazendo parte da fase de pré-uso da edificação, o transporte do local de processamento à obra também é considerado como inicial, e é particular de cada edificação. Por isso, essa etapa de transporte é calculada com base nas distâncias entre fornecedores de materiais e o local de depósito ou estabelecimento da loja na cidade de Santa Maria, RS. A partir daí, é possível que o usuário insira a distância desse estabelecimento até o local da obra.

Ainda, o desperdício atrelado aos materiais corresponde a perdas na etapa de execução, entretando, deve ser incorporado ao CI inicial uma vez que estão incluídos na demanda da obra, ou seja, no pedido de materiais. Esse desperdício, chamado fator de perda e considerado em termos percentuais é considerado por Montes (2016) e Caldas (2016) através de dados do TCPO (2012) e de Agopyan et al. (1998).

Os procedimentos de cálculo apresentados nesse trabalho e inseridos na construção da proposta de ferramenta são baseados naqueles adotados por Montes (2016), Caldas (2016), Teodoro (2017) e Indiviata (2017), sendo os dois primeiros respectivamente reproduzidos por Madeira (2019) e Piva (2019). Ainda, tais procedimentos de cálculo acordam com aqueles adotadas por Sartori e Calmon (2019), os quais utilizam também valores de EI a partir de Tavares (2006) em análise energética de ações de retrofit em Vitória, ES.

Assim, o cálculo para o carbono incorporado inicial corresponde a soma das emissões pela extração, transporte e processamento da matéria prima, representadas por um fator de emissão, juntamente ao transporte dos materiais até o local da obra e ao desperdício dos mesmos. A Equação 1 descreve:

$$ECO_2i_n = ECO_{2ii_n} + ECO_{2itr_n} + ECO_{2ir_n} + ECO_{2itrr_n} \quad (\text{Eq. 1})$$

ECO_{2i} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado

n – material de construção discriminado

ECO_{2ii_n} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado inicial

ECO_{2itr_n} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado de transporte

ECO_{2ir_n} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado recorrente

ECO_{2itrr_n} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado de transporte recorrente

A seguir, cada um dos elementos da soma é detalhado.

4.1.1.1. Emissões pela extração, transporte e processamento

As etapas de extração da matéria-prima, transporte do local de extração até a fábrica/indústria e o posterior processamento do material fazem parte da fase de pré-obra quanto ao ciclo de vida da edificação. As emissões incorporadas resultantes dessas etapas são representadas por um fator de emissão por unidade de material e chamadas de incorporada inicial. Assim, a Equação 2 descreve o processo de obtenção do carbono incorporado dessas etapas:

$$ECO_{2ii_n} = q_n \times FECO_2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

ECO_{2ii} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado inicial

n – material de construção discriminado

q – quantidade utilizada do material de construção (kg)

$FECO_2$ – fator de emissão de CO_2 do material ($kgCO_2/kg$), de acordo com a Figura 40.

A equação acima se refere somente ao material aplicado em obra, considerando a quantidade utilizada sem atender às perdas.

4.1.1.2. Emissões pelo desperdício

O desperdício de materiais diz respeito ao percentual de perdas que ocorrem no canteiro de obras, ou seja, na fase de execução da mesma. Entretanto, essa quantidade de material desperdiçada é contabilizada nos pedidos de aquisição, devendo ser considerada junto à fase pré-obra (MONTES, 2016).

Por isso, percentuais de perda são aplicados a cada material, e são descritos na Tabela 1 abaixo a partir de cinco diferentes referências bibliográficas, uma vez que não se encontrou referência mais atual e confiável:

Tabela 1 - Percentuais de perda por material

MATERIAL	PERDAS (%) POR REFERÊNCIA					PERDAS (%) ADOTADAS (MÉDIA)
	1	2	3	4	5	
Aço (Estrutura)	10	11		10	5	- 9
Agregado						-
Areia	20	44	45,76	76	10	39
Argamassa	20			18	5-10	13
Bloco De Concreto					8	8
Brita		38	45,76		10	31
Cal		36	84,13	97	10	57
Cerâmico - Geral				17		17
Cerâmico – Blocos	26	13		17		18,5
Cerâmico – Pisos	2					2
Cerâmico – Revestimento		14		16	8	12,5
Cerâmico - Telha	10				10	10
Chapisco				21		21
Cimento	20	56	84,13	95	10	53
Concreto	15	9		9	5	9,5
Emboço				99		99
Gesso	9 (placa)	30	9 (placa)	45	10	9 (placa) e 28
Reboco				13		13

Fonte: A autora, considerando:

- (1) Valores apresentados por Caldas (2016) com base em TCPO (2012) e Agopyan et al. (1998).
- (2) Valores apresentados por Teodoro (2017) com base em Silva et al. (2015) com base em Agopyan et al. (2003)
- (3) Valores apresentados por Pedroso (2015) com base em Agopyan et al. (1998) e Formoso et al. (2012).
- (4) Valores apresentados por Costa (2012) com base em Agopyan et al. (1998), Marcondes (2007) e Souza et al. (1998). Valores médios.
- (5) Valores adotados por Evangelista (2017) com base em Skoyles (1976, apud Souza, 2005), Enshassi (1996), Pinto (1989), Soibelman (1993), Santos (1995), Souza et al. (1998) e Agopyan, Silva, G. e Silva, V.. (2001).

O valor adotado para as perdas no presente trabalho é a média dos apresentados pelos diferentes autores, os quais referiram publicações de Agopyan em suas buscas. Entretanto, entende-se que o valor adotado deve ser revisto em futuros trabalhos, por apresentar grande variação entre os valores de cada referência.

As emissões incorporadas ao desperdício podem ser calculadas a partir da Equação 3:

$$ECO_{2id_n} = q_n \times \left(\frac{P_n}{100} \right) \times FECO_2 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

ECO_{2id} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado de desperdício

n – material de construção discriminado

q – quantidade utilizada do material de construção (kg)

P_n – perdas do material n (%), de acordo com a Tabela 1.

$FECO_2$ – fator de emissão de CO_2 do material ($kgCO_2/kg$), de acordo com a Figura 40.

Assim, incorporando as perdas à quantidade necessária de material, a Equação 2 pode ser reformulada e representada pela Equação 4:

$$ECO_{2ii_n} = q_n \times \left(1 + \frac{P_n}{100} \right) \times FECO_2 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

ECO_{2id} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado de desperdício

n – material de construção discriminado

q – quantidade utilizada do material de construção (kg)

P_n – perdas do material n (%), de acordo com a Tabela 1.

$FECO_2$ – fator de emissão de CO_2 do material ($kgCO_2/kg$), de acordo com a Figura 40.

Tais perdas devem ser consideradas também para emissões recorrentes, a serem descritas no item 4.1.1.4.

4.1.1.3. Emissões pelo transporte

De acordo com Silva (2013), as três principais variáveis que interferem no consumo de combustível, e conseqüentemente de emissões, na etapa de transporte são: a quantidade de material transportado, a distância rodada e a tecnologia, ou seja, as características e eficiência do meio de transporte.

Quanto às emissões da etapa de transporte após a fronteira do sistema “portão”, o levantamento junto a estabelecimentos comerciais demonstrou que o único

modal utilizado, como já esperado, é o rodoviário, e a distância a ser considerada é a distância real entre o fornecedor e o local de venda ou depósito do estabelecimento.

Em relação ao consumo energético, Teodoro (2017) indica seis diferentes referências encontradas em 26 trabalhos acadêmicos analisados, primeiramente listadas, juntamente a outros fatores de energia e de emissões de CO₂ (Tabela 2). Os valores dizem respeito a referências nacionais, considerando a não representatividade de dados internacionais ao transporte de materiais no Brasil (GRIGOLETTI, 2001).

Tabela 2 – Consumo energético e emissões relacionadas ao transporte.

(continua)

Fonte	Valor
MIC CETEC MG (1982)	Energia embutida: 1,469 MJ/tkm
Guimarães (1985 apud MORAIS; SPOSTO, 2010)	Energia embutida: 0,0384 l/tkm (1,363 MJ/tkm)
Reis (1999 apud SPERB, 2000)	Energia embutida: 0,843 MJ/tkm fora da região metropolitana das cidades e 1,127 MJ/tkm dentro das cidades
Tavares (2006)	Energia embutida: 1,62 MJ/tkm calculado a partir de Pereira (2004)
Nabut Neto (2011)	Energia embutida: 0,0137 l/tkm (0,486 MJ/tkm)
Campos (2012)	Energia embutida: 0,006-0,022 l/tkm (0,213 -0,781 MJ/tkm)
Costa (2012), utilizado também por Pessoa (2019)	Fator de emissão de CO ₂ : FE do diesel de 3,16 (kgCO ₂ /l) Caminhão leve- Consumo: 0,0446 l/tkm – FE: 0,140936 kgCO ₂ /t/km C. médio- Consumo: 0,0347 l/tkm – FE: 0,109652 kgCO ₂ /t/km C. semipesado - Consumo: 0,0196 l/tkm – FE: 0,061936 kgCO ₂ /t/km C. pesado- Consumo: 0,0121 l/tkm – FE: 0,038236 kgCO ₂ /t/km
Montes (2016)	Energia embutida: Emprega o valor médio de Guimarães et al. (2013) ¹⁷ , de 0,002044 MJ/kg.km Fator de emissão de CO ₂ : 0,00011917 kgCO ₂ /kg.km (0,11917 kg CO ₂ /t.km, a partir de PBMC (2013) e Leal Junior et al. (2015)
Leal Junior et al. (2015) ¹⁸	Fator de emissão de CO ₂ : 0,11917 kg/t.km (transporte rodoviário com uso de diesel)
Ferraz, John e Bessa (2010) ¹⁹	Fator de emissão de CO ₂ : de 253,1 a 327,8 kgCO ₂ /1000 (t.km)
Caldas (2016) e Piva (2019)	Utilizam o valor de Nabut Neto (2011)

¹⁷ GUIMARÃES, V. DE A. et al. Análise da evolução da eficiência energética no setor de transporte brasileiro. XXVII ANPET - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Disponível em: http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/431_AC.pdf. Anais [...] Belém, PA: 2013.

¹⁸ LEAL JUNIOR, I. C. et al. Análise da matriz de transporte brasileira: Consumo de energia e emissão de CO₂. **Revista UNIABEU**, v. 8, n. 18, p. 49–64, 2015.

¹⁹ FERRAZ, E.; JOHN, V.; BESSA, V. CO₂ no Transporte. 3 Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável-Sustentabilidade nos Negócios e Instrumentos de Mudança. Anais [...] São Paulo: 2010. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/sbcs10/website/userFiles/palestras_sbcs_10/em_issao_co2_transporte.pdf. Acesso em: maio 2020.

Tabela 2 – Consumo energético e emissões relacionadas ao transporte.

(conclusão)

Fonte	Valor
Gama Jr. (2013) a partir de Stadler et al. (2010) ²⁰	Fator de emissão de CO ₂ : 3,109 gCO ₂ a cada grama de diesel consumido.
Silva (2013)	Energia embutida: 44 GJ/t, ou 37 MJ/l Fator de emissão de CO ₂ : 3,276 gCO ₂ a cada grama de diesel consumido.
Azevedo (2019)	Energia embutida: 1,62 MJ/tkm (TAVARES, 2006) Fator de emissão de CO ₂ : 0.0741 kgCO ₂ /MJ (TAVARES; BRAGANÇA, 2016)
Caldas et al. (2017)	Consumo do caminhão: 0,017 L diesel/t.km (CAMPOS; PUNHAGUI; JOHN, 2011) ²¹ . Considera a volta do caminhão carregado com metade de sua capacidade, o que multiplica o consumo por 1,5. Fator de emissão de CO ₂ : 0.067 kgCO ₂ /t.km.
Caldas e Sposto (2017)	Consumo do caminhão: 0,026 L/t.km. FE do diesel: 2,603 kgCO ₂ /L (MINISTÉRIO..., 2013) ²² Fator de emissão de CO ₂ : 0.068 kgCO ₂ /t.km

Fonte: A autora.

O autor destaca o incremento de 50% no consumo energético do transporte por Morais e Sposto (2010) pela volta dos caminhões sem carga. Já Oliveira (2015a) considera somente a entrega do material, não estimando o retorno do veículo, o qual, supostamente, voltaria carregado com outro tipo de carga a qual o consumo do diesel estaria vinculado. Porém, esse não é o caso do fornecimento de materiais aos estabelecimentos comerciais e desses para as obras na cidade de Santa Maria, RS, que costumam retornar aos locais de fornecimento vazios²³.

O valor indicado por Nabut Neto (2011) será utilizado no presente trabalho, uma vez que o mesmo refere-se ao consumo médio de diesel exclusivamente para o transporte de materiais a partir do caminho da fábrica até a obra, com vasta pesquisa sobre as características da frota brasileira naquele ano. O valor considera o consumo

²⁰ STADLER, J. P.; CORREA, S. R. C.; PERGORARO, L. A.; UGAYA C. M. L. Emissões atmosféricas da combustão do óleo diesel do transporte rodoviário de carga no Brasil para ACV. In: 2º Congresso Brasileiro em Gestão de Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, 2010. Santa Catarina, Brasil. **Anais[...]** ACV 2010. Florianópolis, 2010, 6f. p. 58-63..

²¹ CAMPOS, E. F.; PUNHAGUI, K. R. G.; JOHN, V. M. Emissão de CO₂ do Transporte da Madeira Nativa da Amazônia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 157-172, abr./jun. 2011.

²² MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviário**. 2013. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/inventario/inventario_Ar/2014-05-27%20inventario%202013.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2019.

²³ Informação a partir de conversa informal por telefone com algumas empresas de fornecimento de materiais.

do veículo cheio da fábrica ao local da obra e vazio do local da obra à fábrica, ou seja, com retorno vazio.

A partir desse dado de consumo de Nabut Neto (2011), complementado por Caldas (2016) e Piva (2019), os coeficientes de Energia Incorporada (EI) e Carbono Incorporado (CI) com base na equivalência de 1 litro de óleo diesel em 35,50 MJ pelo BEN (BRASIL, 2015b) e a emissão de 2,63kg de CO₂ pelo IPCC (2006), o coeficiente de energia é de 0,48 MJ/t.km, e o coeficiente de emissões de CO₂ é 0,036 kgCO₂.L/t.km.

Entretanto, em setembro de 2019, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis fixou em 11% o percentual mínimo de biodiesel incorporado ao óleo diesel comercializado em todo o território brasileiro, pelo despacho nº 621 (ANP, 2019). Logo, tanto o óleo Diesel S10 e o óleo Diesel S500, específicos para uso em transporte rodoviário, possuem um percentual mínimo de 11% de biodiesel, nomeado B11 (PETROBRÁS, 2018).

De acordo com o BEN (2018), quanto aos fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis em fontes móveis, 1 litro de óleo diesel puro, de densidade 0,840 kg/l e poder calorífico de 10100 kcal/kg, emite 2,603 kg CO₂. Quanto aos fatores de emissão por utilização de biocombustíveis em fontes móveis, o biodiesel (B100) emite 2,431 kg CO₂ por litro, e possui uma densidade de 0,880 kg/l e poder calorífico de 9000 kcal/kg. Logo, o cálculo de emissões para o combustível B11 utilizado para o transporte rodoviário de materiais resulta em 2,584 kgCO₂/L.

Assim, com a atualização dos dados de Nabut Neto (2011), Caldas (2016) e Piva (2019), o coeficiente de emissões de CO₂ passa de 0,036 kgCO₂.L/t.km para 0,0354 kgCO₂.L/t.km, sendo o valor utilizado para os cálculos do presente trabalho.

As distâncias entre os fornecedores de materiais da construção (fronteira “portão da fábrica”) e estabelecimentos comerciais inseridas na ferramenta proposta estão apresentadas no Apêndice E e no Quadro 5, no item 4.3.2. dos Resultados, e foram obtidas pelo Google Maps (GOOGLE, 2020) a partir de informações fornecidas pelos locais de comércio.

As emissões estimadas pelo transporte, através da Equação 5, consideram a quantidade total de material a ser adquirida junto ao estabelecimento, ou seja, a quantidade a ser utilizada em obra junto ao desperdício do material, conforme a Tabela 1.

$$ECO_2itr_n = q_n \times \left(1 + \frac{P_n}{100}\right) \times d_n \times CECO_2T \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

ECO_2itr – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado de transporte

n – material de construção discriminado

q – quantidade do material de construção utilizado (kg)

P_n – perdas do material n (%), de acordo com a Tabela 1.

d – distância entre o portão da fábrica e estabelecimento/estabelecimento comercial e obra

$CECO_2T$ – coeficiente de emissão de CO_2 pelo transporte - 0,0354 (kg CO_2 .L/t.km)

Para concluir as emissões relativas ao transporte, a ferramenta permite ao usuário a inserção da distância entre o estabelecimento de compra do material e o canteiro de obras, possibilitando as emissões desse trecho pela mesma Equação 5 acima.

4.1.1.4. Emissões recorrentes

Para uma estimativa do CI recorrente para uma vida útil da edificação de 50 anos, ou seja, não em uma situação real de manutenção durante a operação, mas sim prevista ao longo dos anos ainda em etapa de projeto, fatores de reposição são incorporados ao cálculo. Uma prática comum para isso é a utilização da vida útil de determinado material ou elemento, a Vida Útil de Projeto (VUP), transformada em fator de reposição (FR) de acordo com a vida útil da edificação e incorporadas ao cálculo das emissões dos processos de manutenção e reparos, abordagem utilizada por Montes (2016), Caldas (2016), Azevedo (2019) e Tavares (2006), esse utilizando a durabilidade de materiais da construção indicados por fabricantes em ciclos de reposição.

A Vida Útil de Projeto (VUP) é indicada na norma de desempenho de edificações, NBR 15575-1 (2013), para diferentes sistemas que compõem uma edificação, assegurando a durabilidade mínima dos mesmos de acordo com a indicação de manutenção preventiva e também corretiva a partir dos fabricantes de cada material, de modo a garantir que a VUP mínima ou prevista seja atendida.

Nesse sentido, o cálculo do carbono recorrente a partir da periodicidade de manutenção utilizando o valor de VUP de determinado sistema pode ser entendido como equivocado, pois o mesmo indica a necessidade de reposição total do mesmo pelo tempo indicado, não representando a realidade das manutenções, que devem ocorrer em intervalos dentro de um determinado valor de VUP. Esses intervalos são indicados por fabricantes, e geralmente são variáveis entre produtos de mesma natureza, pois dependem da matéria prima, tecnologia utilizada, armazenamento e condições de operação de um sistema ou material, sendo extremamente particular de cada edificação quando instalado.

Por isso, nesse trabalho, as emissões recorrentes dizem respeito à substituição total do material ou elemento na edificação, ou seja, etapa de reposição, de acordo com os valores mínimos de Vida Útil de Projeto indicados pela norma NBR 15575 -1 (2013, p. 46 - 47), e não à manutenções. Logo, considerando uma vida útil de edificação recomendada pela mesma norma em 50 anos, os Fatores de Reposição (FR) são calculados a partir da razão entre a VUP da edificação e a VUP mínima do sistema (Tabela 3).

Tabela 3 – Vida útil de projeto mínima para os diferentes materiais e parte da edificação correspondente.

(continua)

Material	Parte da Edificação	VUP Mínima Sistema (anos)	FR
Aço (Estrutura)	Estrutura principal	≥ 50	1
Agregado	Incluído em outras partes da edificação	-	-
Areia	Incluída em outras partes da edificação	-	-
Argamassa	Incluída em diferentes partes da edificação	-	-
Bloco De Concreto	Estrutura principal ¹	≥ 50	1
Brita	Incluída em outras partes da edificação	-	-
Cal	Incluída em outras partes da edificação	-	-
Cerâmico - Geral	Vedação ²	≥ 40	1,25
Cerâmico – Blocos	Vedação ²	≥ 40	1,25
Cerâmico – Pisos	Pisos internos	≥ 13	3,85
Cerâmico – Revestimento	Revestimento interno aderido	≥ 13	3,85
Cerâmico - Telha	Cobertura	≥ 20	2,5
Chapisco	Revestimento interno aderido	≥ 13	3,85
Chapisco	Revestimento de fachada aderido	≥ 20	2,5
Cimento	Incluído em outras partes da edificação	-	-
Concreto	Estrutura principal	≥ 50	1
Emboço	Revestimento interno aderido	≥ 13	3,85
Emboço	Revestimento de fachada aderido	≥ 20	2,5

Gesso	Revestimento interno aderido	≥ 13	3,85
Reboco	Revestimento interno aderido	≥ 13	3,85
Reboco	Revestimento de fachada aderido	≥ 20	2,5

Fonte: A autora, considerando:

- (1) Bloco de concreto estrutura, sendo inserido no sistema Estrutura
- (2) A vedação interna possui VUP de ≥ 20 quando contituída por paredes ou divisórias leves, o que não corresponde a uma vedação com bloco cerâmico.

Para os materiais indicados como “incluído em outras partes da edificação”, o usuário deve indicar para qual sistema o material é utilizado, para que as VUPs da Tabela 4 sejam incorporadas ao mesmo:

Tabela 4 – Vida útil de projeto de sistemas.

Sistema	VUP Mínima Sistema (anos)	FR
Estrutura	≥ 50	1
Pisos internos	≥ 13	3,85
Vedação vertical externa	≥ 40	1,25
Vedação vertical interna	≥ 20	2,5
Cobertura	≥ 20	2,5

Fonte: ABNT (2013).

A Equação 6 descreve o cálculo de carbono incorporado recorrente, já considerando as perdas da utilização de determinado material:

$$ECO_2ir_n = q_n \times \left(1 + \frac{FR_n}{100}\right) \times (FR_n - 1) \times FECO_2 \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

ECO_{2ir} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado recorrente

n – material de construção discriminado

q – quantidade utilizada do material de construção (kg)

FR_n – fator de reposição do material (adimensional), de acordo com a Tabela 3.

$FECO_2$ – fator de emissão de CO_2 do material ($kgCO_2/kg$), de acordo com a Figura 40.

As emissões recorrentes pela equação 6 dizem respeito aquelas atreladas ao material, sendo necessário ainda considerar as emissões para o transporte desse material de reposição, de acordo com a Equação 5, e também as perdas atreladas ao mesmo. A Equação 7 descreve a etapa de transporte atrelada a essa etapa de reposição (emissões recorrentes), considerando as perdas.

$$ECO_2itr_r_n = q_n \times \left(1 + \frac{P_n}{100}\right) \times (FR_n - 1) \times d_n \times CECO_2T \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

ECO_2itr – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado de transporte recorrente

n – material de construção discriminado

q – quantidade do material de construção utilizado (kg)

P_n – perdas do material n (%), de acordo com a Tabela 1.

FR_n – fator de reposição do material (adimensional), de acordo com a Tabela 3.

d – distância entre o portão da fábrica e estabelecimento/estabelecimento comercial e obra

$CECO_2T$ – coeficiente de emissão de CO_2 pelo transporte - 0,0354 (kg CO_2 .L/t.km)

Assim, o cálculo estimado para o carbono incorporado durante a etapa projetual corresponde ao carbono incorporado inicial e recorrente, demonstrado pela Equação 1 e com os componentes da mesma discriminados no quadro-resumo abaixo (Quadro 3), não considerando manutenções preventivas ou corretivas. Dessa forma, supõe-se que, considerando as manutenções, o CI seja superior aos resultados obtidos.

Quadro 3 – Quadro-resumo das equações para o procedimento de cálculo de estimativa de CO_2 dos materiais da construção em etapa de projeto.

Emissões incorporadas		Equação
Iniciais com perda	ECO_2ii_n	$ECO_2ii_n = q_n \times \left(1 + \frac{P_n}{100}\right) \times FE_{CO_2}$
Transporte	ECO_2itr_n	$ECO_2itr_n = q_n \times \left(1 + \frac{P_n}{100}\right) \times d_n \times CECO_2T$
Recorrentes com perda	ECO_2ir_n	$ECO_2ir_n = q_n \times \left(1 + \frac{P_n}{100}\right) \times (FR_n - 1) \times FE_{CO_2}$
Transporte para recorrentes considerando perdas	$ECO_2itr_r_n$	$ECO_2itr_r_n = q_n \times \left(1 + \frac{P_n}{100}\right) \times (FR_n - 1) \times d_n \times CECO_2T$
Fim de vida	ECO_2fv_n	$ECO_2fv_n = ECO_2ii_n \times 0,1$

Fonte: A autora.

Caso haja necessidade ou interesse de estimar as emissões de fim de vida, seja, pós-uso, pode-se considerar as mesmas como 10% do valor do carbono inicial²⁴, na fase de pré-uso, utilizando a última equação apresentada no Quadro 3.

²⁴ Valor da estimativa apoiado em pesquisas nacionais analisadas por Montes (2016) para tipologias semelhantes a uma habitação unifamiliar de 39,74m².

4.1.2. Levantamento em empresas e estabelecimentos locais

Na tentativa de regionalização dos dados pela etapa de transporte, o levantamento junto a estabelecimentos de comercialização de materiais de construção na cidade de Santa Maria (RS) foi realizado, buscando identificar os principais fornecedores dos materiais utilizados no setor da construção civil da cidade. Tal processo foi realizado entre maio e agosto de 2020, por meio de visita presencial quando possível, e, quando da restrição presencial devido à crise sanitária pelo COVID-19, por meio de telefone e endereço eletrônico. O modelo das fichas utilizadas para o levantamento estão apresentadas no Apêndice E.

A seleção para a busca dos estabelecimentos se deu a partir de uma pesquisa exploratória na ferramenta eletrônica gratuita *Google Maps* (GOOGLE, 2020), buscando selecionar pontos comerciais em diferentes regiões do perímetro urbano. Foi estabelecido contato com onze diferentes estabelecimentos comerciais, dos quais quatro aceitaram contribuir com a pesquisa.

A partir das informações recebidas, a distância entre os estabelecimentos comerciais e origem de fornecimento do material foi identificada utilizando a mesma ferramenta eletrônica gratuita *Google Maps* (GOOGLE, 2020), considerando a distância resultante do trajeto indicado por vias principais (arteriais) e rodovias. O Apêndice F contém as informações fornecidas por cada estabelecimento, as quais são inseridas e já utilizadas no cálculo das emissões pela etapa de transporte do local de fornecimento ao local de comercialização ou ao depósito do mesmo.

Ainda, para algumas informações repassadas pelos estabelecimentos comerciais sobre fornecedores, foi necessário o contato direto com esses, uma vez que os mesmos atuam somente como interceptores, ou seja, recebem o material da fábrica para depósito local ou para revenda.

4.1.3. A edificação

A edificação a ser utilizada para a exemplificação de aplicação prática da ferramenta proposta é a adotada por Piva (2019), sobre a qual a autora realizou uma

ACVE e ACVCO₂ para todo o ciclo de vida (berço ao túmulo) em 100 anos, e como unidade funcional o “m²”. A escolha possuiu como principal premissa a escolha de uma edificação para a qual foi realizada a estimativa de emissões de CO₂ incorporados considerando mais de um material ou sistema da obra, além da apresentação descritiva dos materiais e quantitativos da obra; localização geográfica, devendo ser preferencialmente no sul do Brasil; a consideração de percentuais de perda de materiais; realização descritiva das estimativas; e, por fim, a utilização de um banco de dados primário ou secundário adaptado.

Logo, dentre quatro estudos selecionados previamente (POSTAY, 2015; CUNHA, 2016; MORAGA; 2017, PIVA; 2019), o que contemplou todos os requisitos foi a pesquisa desenvolvida por Piva (2019), com a avaliação de EI e CI dos sistemas de fundação (infraestrutura), estrutura (supraestrutura), fechamentos (vedações verticais opacas externas e internas), cobertura, acabamento externo e interno, piso, forro e esquadrias de uma edificação, considerando perdas. Outro fator que colaborou na escolha desse estudo é a utilização da referência de Nabut Neto (2011) para as emissões relativas ao transporte, porém sem atualização dos dados originiais do autor.

A edificação é caracterizada por uma arquitetura esteticamente contemporânea, como mostra a Figura 41, projetada para a cidade de Novo Hamburgo, RS, local de desenvolvimento da pesquisa, com área total de 495,25 m², e será referenciada na presente pesquisa como edificação-exemplo.

Figura 41 – Imagem gráfica da edificação a ser utilizada como objeto de estudo.



Fonte: Piva (2019).

As características construtivas da edificação são descritas na Tabela 5.

Tabela 5 – Características construtivas da edificação-exemplo.

Sistema	Descrição
Fundação	Micro estacas de concreto armado
Estrutura	Concreto armado
Fechamento externo	Bloco cerâmico 19x19x29cm
Fechamento interno	Bloco cerâmico 14x19x29cm
Cobertura	Telha cerâmica portuguesa e de fibrocimento embutida na platibanda. Estrutura em madeira, caimento duas águas.
Acabamento externo	Reboco argamassa mista e= 1,5cm + tinta látex
Acabamento interno	Reboco argamassa mista e=2,5cm + massa PVA + tinta látex
Piso	Porcelanato e laminado
Forro	Gesso (estar, jantar e banheiros)
Esquadrias	Estrutura metálica (peles de vidro) e madeira cedro (portas e janelas)

Fonte: Adaptado de Piva (2019).

A seguir, o quantitativo dos materiais componentes da edificação é caracterizado.

4.1.3.1. Quantitativos da edificação

Os materiais foram quantificados por Piva (2019) com base na Tabela de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (PINI, 2012)²⁵, e todas as unidades de medida foram convertidas em massa pela autora. Como o intuito de uso da edificação é exclusivamente comparativo, os quantitativos foram mantidos os mesmos (Tabela 6).

Tabela 6 – Quantitativo de materiais para a edificação-exemplo.

Materiais e componentes	Quantidade sem perdas (kg)	Participação pela massa (%)
Água (assentamento e revestimento)	26818,8216	6,896
Areia (assentamento e revestimento)	105199,0714	27,052
Aço (estrutura)	11228,2339	2,887
Brita (estrutura)	88339,6388	22,716
Cal	não considerada	
Cerâmica - revestimento (piso)	7154,7172	1,840
Cerâmica - telha (cobertura)	7148,1006	1,838
Cerâmica - tijolo (vedação)	80357,3082	20,664
Cimento (assentamento e revestimento)	38570,1097	9,918
Cobre (instalações)	4,7961	0,001
Fibrocimento (cobertura)	1870,0999	0,481
Gesso (forro)	660,9488	0,170
Impermeabilizante (piso)	81,7409	0,021
Madeira - estrutura telhado (cobertura)	8589,9184	2,209
Madeira - piso e forro (piso/ forro)	3259,5203	0,838
Madeira - esquadrias (esquadrias)	861,9623	0,222
Metal (esquadria)	128,467	0,033
Pedra (piso)	2880,792	0,741
Plástico (instalações)	52,9828	0,014
PVC (instalações)	996,8505	0,256
Tinta (pintura)	727,5824	0,187
Vidro (esquadrias)	2003,095	0,515

Fonte: Adaptado de Piva (2019).

Para os materiais descritos acima e não contemplados pela proposta de ferramenta deste trabalho, em um primeiro momento foram mantidos os valores finais calculados por Piva (2019), e em um segundo momento, esses materiais foram

²⁵ PINI. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 14. ed. São Paulo: PINI, 2012.

retirados da análise, considerando assim somente aqueles para os quais novas estimativas foram realizadas pela proposta de ferramenta.

Logo, os materiais considerados para a segunda análise foram: areia (assentamento e revestimento), aço (estrutura), brita (estrutura), cerâmica - revestimento (piso), cerâmica - telha (cobertura), cerâmica - tijolo (vedação), cimento (assentamento e revestimento) e fibrocimento (cobertura).

4.2. PROPOSTA DE FERRAMENTA DE QUANTIFICAÇÃO ESTIMADA DE CO₂ (CARBONO INCORPORADO) PARA MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL

Como um dos objetos resultantes da presente dissertação, esse item busca descrever, em forma de um exemplo de aplicação, a proposta de ferramenta²⁶, chamada assim por considerar que a mesma ainda se encontra em fase de desenvolvimento, necessitando de ajustes e inserção de dados de demais estabelecimentos que possam futuramente contribuir para a pesquisa.

4.2.1. Dados secundários de fatores de emissão

A compilação dos dados secundários de fatores de emissão de CO₂ para cada material, apresentada no capítulo de metodologia, juntamente aos materiais comercializados e identificados pelos fornecedores locais e sua correspondência são apresentados no Quadro 4.

Ainda, a inserção da quantidade de material na proposta de ferramenta ocorre utilizando as unidades métricas comumente utilizadas para a comercialização do

²⁶ Para ter acesso à proposta de ferramenta, contatar a autora por meio do endereço eletrônico cakozloski@gmail.com.

mesmo, como o metro cúbico para areia e brita, área de cobertura para telhas cerâmicas, número de peças para telhas de fibrocimento, quilograma para o cimento, metros para o aço (vergalhões), área para revestimentos, posição de assentamento e área para tijolo cerâmico e número de pallets para o bloco de concreto.

Quadro 4 – Materiais comercializados em Santa Maria, RS, e os fatores de emissão de CO₂ atribuídos.

Material	Característica	FE CO2 (kgCO2/kg)	CV %	Perda %	FR
AÇO	Vergalhão	1,959	27,400	9	1
AREIA	Areia Fina	0,0257	99,086	39	1
AREIA	Areia Grossa	0,0257	99,086	39	1
AREIA	Areia Média	0,0257	99,086	39	1
ARGAMASSA	Argamassa Industrializada	0,2120	38,654	13	1
BLOCO DE CONCRETO	Bloco concreto	0,1622	55,843	8	1
BLOCO DE CONCRETO	Telha de concreto	0,1622	55,843	8	1
BRITA	Brita 0 - Pedrisco	0,0400	102,929	31	1
BRITA	Brita 1	0,0400	102,929	31	1
BRITA	Brita 2	0,0400	102,929	31	1
CAL	Cal	0,9303	18,120	57	1
CERÂMICOS Geral	Tijolo	0,2544	57,679	17	1,25
CERÂMICOS Revestimento	Comum	0,2299	26,480	12,5	3,85
CERÂMICOS Revestimento	Porcelanato	0,6730	37,618	2	3,85
CERÂMICOS Telha	Telha Cerâmica	0,4325	68,556	10	1,25
CIMENTO	Cimento	0,6400	26,991	53	1
FIBROCIMENTO	Telha	0,8990	0,000	10	2,5

Fonte: A autora.

As informações acima representam a principal base de dados inserida nas planilhas do editor de planilhas *Microsoft Excel*, utilizado para o desenvolvimento da proposta de ferramenta, juntamente às informações apresentadas no Quadro 5.

4.2.2. Levantamento local

O levantamento junto aos estabelecimentos que contribuíram para a pesquisa proporcionou a identificação dos principais materiais da construção comercializados

por esses bem como os fornecedores de cada, a partir dos quais se buscou as distâncias desde a saída da fábrica/indústria até o depósito do estabelecimento comercial em Santa Maria, RS, como mostra o Quadro 5. As informações de endereço do fornecedor, trajeto considerado e eventuais distâncias adicionadas são apresentadas no Apêndice F.

Quadro 5 – Materiais, fornecedores e distâncias percorridas da fábrica até depósito de estabelecimento.

(continua)

Redemac Potrich				
MATERIAL	CARACTERS.	FORNECEDOR	DISTÂNCIA TOTAL ("PORTÃO"-DEPÓSITO FORNECEDOR) km	
AREIA FINA		Pedras Muller	815,2	
AREIA MÉDIA		Areeira Ribas (Armando Albertani Ribas & Cia Ltda)	36,3	
AREIA GROSSA		Areeira Ribas	36,3	
ARGAMASSA IND		Dagoberto Barcellos	113	
CONCRETO BLOCO	14x19x29	Prantomix	3,8	
CONCRETO TELHA		Telha Nobre	1,3	
BRITA 0 - Pedrisco		Brita Pinhal	14,7	
BRITA 1		Brita Pinhal	14,7	
BRITA 2		Brita Pinhal	14,7	
CAL		Dagoberto Barcellos	113	
CERÂMICOS	Geral	6 furos 9x14x19	Cerâmica Veber	42,8
	Geral	maciço 5x23x10	Olaria Manfio	56,6
	Revestimento	Porcelanato	Portinari	529
	Revestimento	Porcelanato	Ceusa	567
	Revestimento	Porcelanato	Incepa	672
	Revestimento	Comum	Cejatel	573
	Revestimento	Comum	Angelgres	526
	Revestimento	Comum	Pisoforte	531
	Telha		Cia das Telhas	264,3
CIMENTO CP IV		Votoran	272	
CIMENTO ARI		Votoran	272	
FIBROCIMENTO TELHA		Brasilit	272	
FIBROCIMENTO TELHA		Imbralit	550	
Walter Beltrame				
AREIA MÉDIA		Conesul Ind E Com Brita Ltda Epp	38,6	
ARGAMASSA IND		Irmaos Cioccarri & Cia Ltda	112	
BRITA 1		Conesul Ind E Com Brita Ltda Epp	16,8	
CAL		Irmaos Cioccarri & Cia Ltda	112	
CERÂMICOS	Geral	Tijolo furado	Ceramica Veber Ltda Epp	45,9
	Geral	Tijolo maciço	Valdir Manfio & Filho Ltda	59,7
	Revestimento	Porcelanato	Pbg S/A (Portobello)	761
	Revestimento	Porcelanato	Incepa Rev Ceramicos Ltda	800
	Revestimento	Porcelanato	Incopisos Ind E Com Pisos Ltda	1411
	Revestimento	Comum	Pisoforte Revestimentos Ceramicos Ltda	534

Quadro 5 – Materiais, fornecedores e distâncias percorridas da fábrica até depósito de estabelecimento.

(conclusão)

CIMENTO CP IV	32	Supremo Cimentos S/A	737
CIMENTO CP IV	32	Inter cement Brasil S/A	281
FIBROCIMENTO TELHA		Saint Gobain Do Brasil Prod Inds E Para Construção (Brasilit)	275
AZO Comércio e Distribuição de Materiais para Construção Civil			
ARGAMASSA IND	QUARTZOLIT	Weber Saint-Gobain - Produtos quartzolit	308
Fabricon Componentes para Construção Civil			
AÇO	Armadura diâmetros	ArcelorMittal	899
AÇO	Armadura diâmetros	Gerdau	286

Fonte: A autora.

Complementarmente, a proposta de ferramenta possibilita a inserção da distância entre o depósito dos estabelecimentos comerciais, identificados na mesma pelas coordenadas geográficas, até o local da obra, a ser identificado pelo *Google Maps* via *hiperlink*. Como esse serviço de pesquisa e visualização de mapas, imagens de satélite e rotas apresenta, geralmente, mais de uma opção de trajeto, se indica que o escolhido seja sempre o de menor distância, porém considerando que ocorra em vias principais, e não por vias locais ou estradas rurais.

4.2.3. Estruturação e apresentação da proposta de ferramenta

Utilizando o editor de planilhas *Microsoft Excel*, o desenvolvimento da ferramenta se dá pela inserção em planilhas dos diversos dados numéricos e equações apresentados no decorrer do **Capítulo 3**, compondo, respectivamente, a base de dados da ferramenta e a operacionalização da mesma.

A **Página Inicial** do arquivo que representa a proposta de ferramenta informa o usuário acerca de sua natureza, ou seja, como produto desta dissertação, o vínculo com a Universidade Federal de Santa Maria e o Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo daquela instituição. Além disso, o usuário é informado sobre quais fases do Ciclo de Vida do material são consideradas na estimativa, bem como algumas instruções de preenchimento de dados, como mostra a Figura 42. Ainda na página inicial, um ícone de direcionamento para demais

indicações descreve cada item/dado constituinte das estimativas de cada um dos materiais contemplados.

Figura 42 – Página inicial da proposta de ferramenta para estimativas de emissões de CO₂ de materiais da construção civil.

QUANTIFICAÇÃO ESTIMADA DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO EM EDIFICAÇÕES: proposta de ferramenta para profissionais durante etapa projetual.


Este arquivo é parte integrante da dissertação de mestrado intitulada "QUANTIFICAÇÃO ESTIMADA DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO EM EDIFICAÇÕES: contexto da produção técnico-científica brasileira entre 2010 e 2020 e proposta de ferramenta para profissionais durante etapa projetual", de autoria da mestranda Cássia Laire Kozloski e orientação do professor Dr. Marcos Alberto Oss Vaghetti, em 2020, no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

Informações Importantes:

A estimativa de emissões incorporadas consideram as fases de extração da matéria prima, transporte da matéria prima até o local de processamento/fabricação do material, até o processamento/fabricação do material, e transporte desse local até o depósito do fornecedor na cidade indicada.

O transporte desse depósito até o local da obra pode ser estimado inserindo a distância em quilômetros no campo indicado em cada material ou sistema.

A quantidade de material a ser inserida deve ser aquela necessária para o fim desejado, pois as perdas atribuídas ao material são contabilizadas automaticamente, configurando assim a hipotética quantidade de compra.

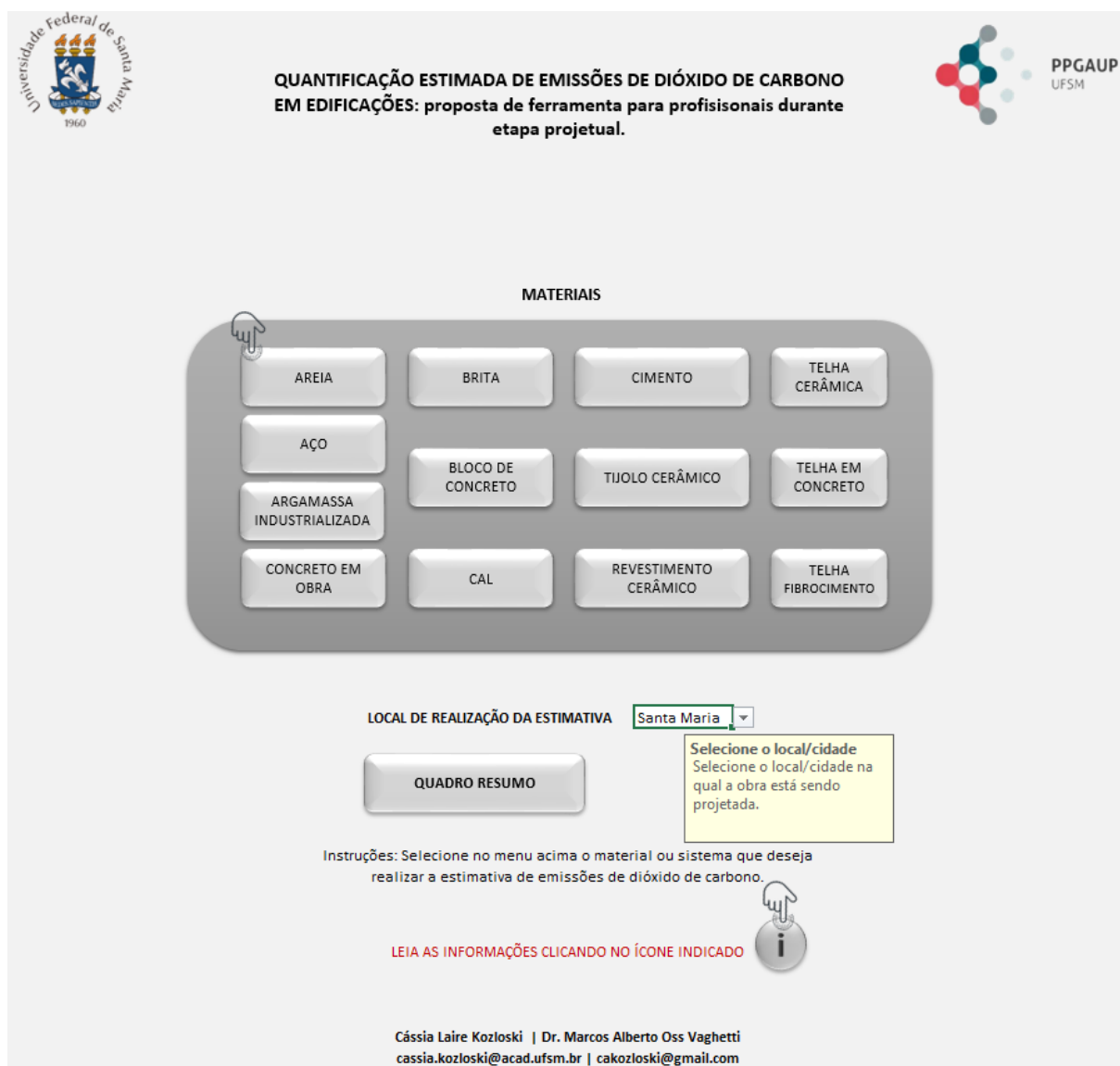
As emissões finais contabilizam o total das iniciais e recorrentes. Veja as indicações: 

Os locais a serem preenchidos pelo usuário em cada material ou sistema estão identificados com a cor BRANCA

Fonte: A autora.

Já o **Menu Inicial** apresenta os materiais contemplados pela ferramenta; a opção de seleção do local onde a estimativa está sendo realizada, que, no momento só permite a seleção da cidade de Santa Maria, RS, uma vez que o banco de dados possui informações somente de estabelecimentos comerciais dessa cidade; o ícone de direcionamento para o quadro resumo; um ícone de direcionamento para a Página Inicial; instruções de operação; e, o nome dos autores (Figura 43).

Figura 43 – Imagem do Menu Inicial da proposta de ferramenta para estimativas de emissões de CO₂ de materiais da construção civil.



Fonte: A autora.

A partir do momento em que um material é selecionado no Menu Inicial, uma nova guia (planilha), referente a esse material, é aberta, como mostra, a título de exemplo, a planilha de estimativas do material Tijolo Cerâmico na Figura 44. Entretanto, cada uma das planilhas dos diferentes materiais possuem diferenças no que diz respeito ao dado solicitado de preenchimento pelo usuário, geralmente em termos de métrica, como volume ou área, uma vez que a comercialização desses materiais é realizada em unidades de medida variadas.

Figura 44 – Planilha de estimativa de emissões para o material Tijolo Cerâmico.

TIJOLO CERÂMICO

Selecione a loja de compra	Redemac_Potrich_ti_cer
Selecione a opção disponível	Tijolo_6_furos_9x14x19
Selecione a posição de assentamento	14 cm
Insira a área necessária de vedação vertical	727,21 m ²
Opcional	29°42'21.1"S 53°43'31.4"W
Insira a distância do fornecedor à obra	5,3 km

Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.

Fator de Emissão do material	0,254375 kgCO2/kg
Massa específica média do material	não se aplica
Quantidade de material em kg	80356,705 kg
Perda atribuída	17 %
Variação	57,68 %
Emissões por transporte	142,4551889 kgCO2
Acréscimo emissões por transporte	17,640479 kgCO2
Emissões estimadas de material	23915,6621 kgCO2
Emissões iniciais estimadas de CO2	24075,75776 kgCO2
Emissões de CO2 recorrentes previstas	54,1078328 kgCO2
Emissões de CO2 recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0,039910586 kgCO2

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de

24129,91 kgCO2

Fonte: A autora.

A Figura 45 indica os dados a serem inseridos na ferramenta pelo usuário, ou seja, esse deve primeiramente selecionar o material para o qual necessita estimar as emissões, e depois indicar o local de compra e características desse material, além da quantidade a ser utilizada na edificação, sem considerar fatores de perda, e, opcionalmente, indicar o local do canteiro de obras. Essa última informação é necessária para estimar as emissões pelo transporte de determinado material entre o depósito do estabelecimento e a obra, sendo somadas às estimativas por transporte entre o fornecedor do material e o estabelecimento comercial.

Figura 45 – Indicação dos dados a serem inseridos pelo usuário para estimativa de emissões de determinado material

MATERIAL A TER AS EMISSÕES ESTIMADAS → TIJOLO CERÂMICO → **OPÇÕES INCLUÍDAS NA BASE DE DADOS DA FERRAMENTA A PARTIR DE LEVANTAMENTO EM ESTABELECIMENTOS**

Selecione a loja de compra: Redemac_Potrich_ti_cer → **ESTABELECIMENTO DE COMPRA DO MATERIAL**

Selecione a opção disponível: Tijolo_6_furos_9x14x19 → **CARACTERÍSTICAS/TIPO/TAMANHO DO MATERIAL**

Selecione a posição de assentamento: 14 cm → **DADO NECESSÁRIO PARA DEFINIR QUANTITATIVOS**

Insira a área necessária de vedação vertical: 727,21 m² → **DADO NECESSÁRIO PARA DEFINIR QUANTITATIVOS**

Opcional
Insira a distância do fornecedor à obra: 5,3 km → **COORDENADAS GEOGRÁFICAS DO ESTABELECIMENTO DE COMPRA DO MATERIAL**

29°42'21.1"S 53°43'31.4"W → **COORDENADAS GEOGRÁFICAS DO ESTABELECIMENTO DE COMPRA DO MATERIAL**

Dados requisitados variáveis de acordo com o material

Distância entre o depósito do estabelecimento e o local da obra, para completar as emissões por transporte

Fonte: A autora.

Já a Figura 46 demonstra as informações automaticamente calculadas pela ferramenta após a inserção dos dados pelo usuário, indicando quais valores e equações foram utilizados.

Figura 46 – Valores definidos a partir da base de dados da ferramenta e das equações para cada tipo de emissão.

Fator de Emissão do material	0,254375 kgCO ₂ /kg	→ VALORES CALCULADOS E APRESENTADOS NA FIGURA 40
Massa específica média do material	não se aplica	→ VALOR UTILIZADO QUANDO NECESSÁRIO
Quantidade de material em kg	80356,705 kg	→ A PARTIR DAS DEFINIÇÕES REALIZADAS PELO USUÁRIO
Perda atribuída	17 %	→ VALORES APRESENTADOS NA TABELA 1
Variação	57,68 %	→ VALORES APRESENTADOS NA FIGURA 40
Emissões por transporte	142,4551889 kgCO ₂	} A PARTIR DO ESTABELECIMENTO DE COMPRA DEFINIDO PELO USUÁRIO E EQUAÇÃO 5
Acréscimo emissões por transporte	17,640479 kgCO ₂	
Emissões estimadas de material	23915,6621 kgCO ₂	→ VALORES CALCULADOS PELA EQUAÇÃO 2
Emissões iniciais estimadas de CO ₂	24075,75776 kgCO ₂	→ SOMA DO VALOR RESULTANTE DA EQUAÇÃO 2 E 5
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas	54,1078328 kgCO ₂	→ VALORES CALCULADOS PELA EQUAÇÃO 6
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0,039910586 kgCO ₂	→ A PARTIR DO ESTABELECIMENTO DE COMPRA DEFINIDO PELO USUÁRIO E EQUAÇÃO 5
Equação 1: SOMA DE TODAS AS EMISSÕES ESTIMADAS DE CO₂ PARA O MATERIAL ESTIPULADO: INICIAIS, TRANSPORTE E RECORRENTES		
As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de		24129,91 kgCO₂

Fonte: A autora.

Por fim, o **Quadro Resumo** soma as estimativas dos materiais realizadas pelo usuário nas diferentes planilhas de materiais em um único valor de emissões de Dióxido de Carbono, em quilogramas (Figura 47).

Figura 47 – Quadro Resumo de Estimativa de Emissões de CO₂.



Fonte: A autora.

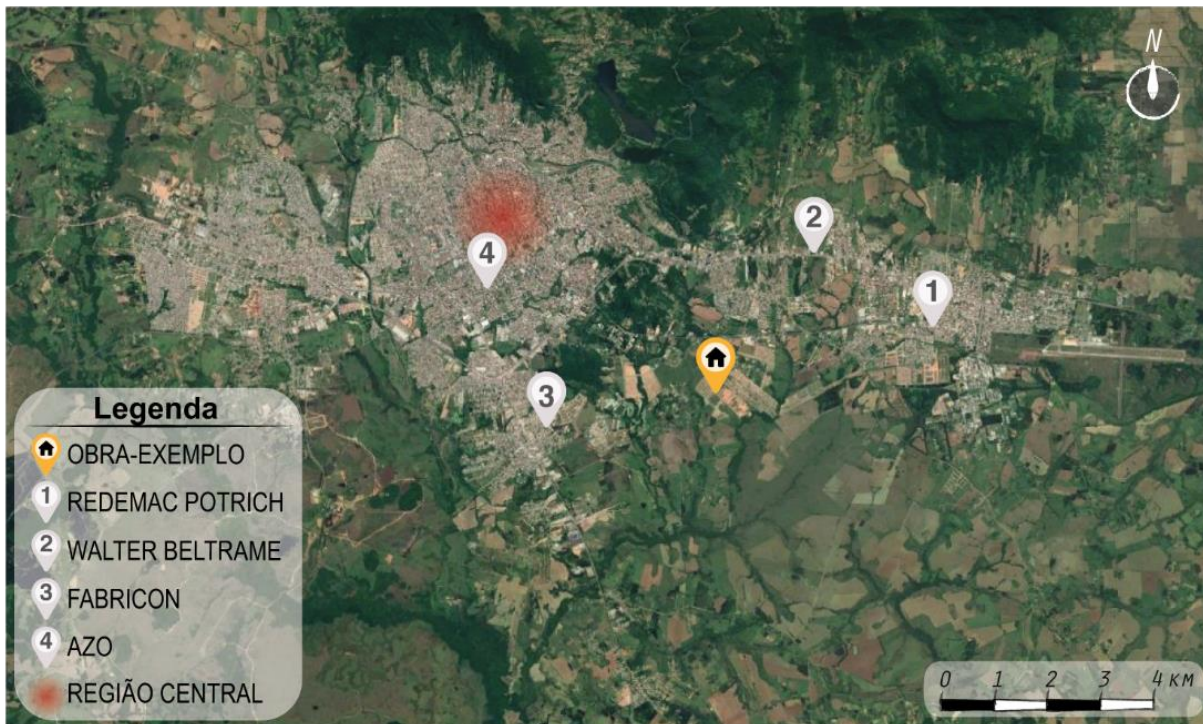
4.2.4. Emissões estimadas da edificação-exemplo pela proposta de ferramenta

A estimativa de emissões incorporadas iniciais e recorrentes da edificação-exemplo foram calculadas utilizando a proposta de ferramenta, na qual foram inseridos os dados de quantidade de material em massa disponibilizados por Piva (2019) e apresentados na Tabela 6 no item 4.1.3.1., além das distâncias entre o depósito do estabelecimento comercial escolhido e a localização fictícia da obra. O estabelecimento comercial foi escolhido com base nas menores emissões resultantes, exigindo que todos os disponíveis para determinado material fossem testados.

4.2.4.1. Localização da obra e transporte entre estabelecimentos comerciais

Para fins de exemplificação da ferramenta, a obra foi genericamente localizada na região central da cidade de Santa Maria, como se pode identificar no mapa ilustrado pela Figura 48, bem como a localização dos estabelecimentos comerciais que contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho, estando seus dados disponíveis no banco de dados da proposta de ferramenta.

Figura 48 – Mapa de localização da obra-exemplo



Fonte: A autora.

As distâncias entre os estabelecimentos Redemac Potrich, Walter Beltrame, AZO e Fabricon com a obra são, respectivamente, 5,3 quilômetros, 7,7 quilômetros, 9,1 quilômetros, e 9,2 quilômetros. Se salienta, entretanto, que essa distância não corresponde necessariamente a uma emissão menor por material utilizado quando atrelado ao estabelecimento, não devendo ser somente considerada como requisito de escolha dos mesmos.

Por isso, como já mencionado, a fim de selecionar os materiais com menores emissões incorporadas iniciais e recorrentes, foi necessário comparar um mesmo material em mais de um estabelecimento comercial. Assim, os materiais apresentados a seguir são, para a obra e localização genérica em questão, os que resultaram em menores emissões.

4.2.4.2. Estimativas de emissões de CO₂ por meio da ferramenta

Para que a comparação com os resultados de Piva (2019) fossem equivalentes em termos de parâmetros considerados, as emissões recorrentes da autora não foram consideradas, uma vez que o ciclo de vida da edificação foi determinado em 100 anos, dobrando as emissões recorrentes estabelecidas para um ciclo de vida da edificação de 50 anos na proposta de ferramenta.

Assim, utilizando tal ferramenta, o Quadro 6 apresenta os resultados das emissões incorporadas e de transporte obtidos. As imagens da obtenção dos resultados de cada material se encontram no Apêndice G.

Quadro 6 - Emissões da extração e processamento dos materiais e componentes

Materiais e componentes	Quantidade sem perdas (kg)	Quantitativo Ferramenta	Un.	ECO2I (kgCO ₂) total	ECO2I (kgCO ₂ /m ²)	Transporte (portão depósito) - (kgCO ₂)	Transporte (depósito obra) - (kgCO ₂)	Transporte total (portão-depósito-obra) (kgCO ₂)
Areia	105.199,071	72,55108372	m ³	3756	7,584048	187,914	27,436	215,35
Aço	11.228,234	28425,90861	m	23975,8	48,411429	123,917	3,986	127,903
Brita	88.339,639	51,96449341	m ³	4625,06	9,338839	68,828	21,713	90,541
Cerâmica - revestim.	7.154,717	7.154,717	kg	1850,18	3,735851	149,885	1,51	151,395
Cerâmica - telha	7.148,101	124,1	m ²	3400,74	6,866714	73,57	1,475	75,045
Cerâmica - tijolo	80.357,308	727,21	m ²	23915,7	48,290076	142,455	17,64	160,095
Cimento	38.570,110	38.570,110	kg	37770,5	76,265583	568,248	11,072	579,32
Fibrocimento	1.870,100	134	peça	2252,71	4,548632	24,39	0,47	24,86
Total	339.867,280			101547	205,041171			1424,509

Fonte: A autora.

Os resultados demonstraram que as etapas de extração, transporte e extração desses materiais para a obra-exemplo, representadas pelos fatores de emissão, junto às emissões recorrentes, emitiram 101.546,64 kgCO₂, ou 101,55 tCO₂, enquanto que a etapa de transporte entre fornecedores e estabelecimentos comerciais e entre esses e a obra emitiu 1424,51 kgCO₂. Logo, as três primeiras etapas foram responsáveis por 98,62% das emissões, e o transporte, por 1,38%.

Tais percentuais são próximos aos obtidos por Piva (2019), respectivamente de 98,90% e 1,09%, a qual utilizou as distâncias correspondentes aos seus fornecedores e outra localização da obra, mas com valores aproximados aos

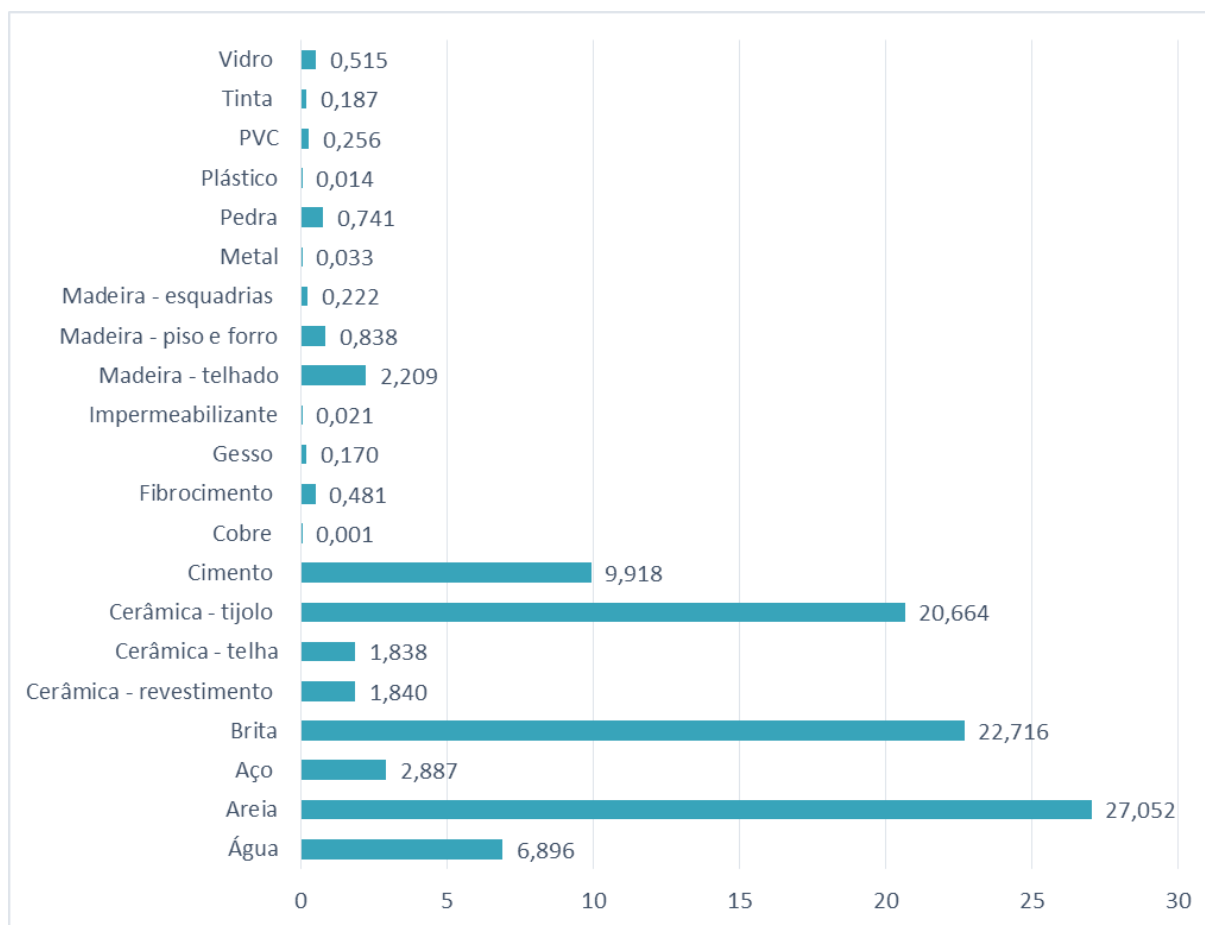
utilizados na proposta de ferramenta. Isso se deve a utilização de um mesmo referencial para o cálculo da etapa de transporte, ou seja, a partir da pesquisa de Nabut Neto (2011), apesar de os procedimentos de cálculo não serem iguais.

A etapa de transporte representou pouca contribuição para o total das emissões, entretanto, é considerável salientar que essas emissões estão vinculadas à massa de material, seja, as transportadas somente para a obra em questão, além das distâncias percorridas. Tal ação não representa a realidade do transporte de grande parte dos materiais de construção entre os fornecedores e depósitos de estabelecimentos comerciais, com exceção do aço que geralmente é requisitado sob encomenda, sendo realizado o transporte da carga máxima permitida pelo meio, e as emissões desse ficam distribuídas entre os diversos usos finais, como os 1,38% atribuídos a obra-exemplo.

Tal representatividade de emissões pela etapa de transporte se assemelha aos resultados encontrados por Nabut Neto (2011), com valores entre 2,9% e 4% em relação ao total, e por Caldas e Sposto (2017), que demonstram um baixo percentual (<2% em relação ao total) para materiais como o bloco de concreto no estado do Rio Grande do Sul. Esse último resultado, assim como o presente estudo, se deve, principalmente, ao valor de fator de emissões de CO₂ utilizado pelos autores para o transporte, que foi inicialmente de 0,068 kgCO₂/t.km e de 0,102 kgCO₂/t.km considerando um acréscimo de 50% para a volta do caminhão com parte da carga. Além disso, as distâncias percorridas entre fornecedores e obra é relativamente baixa comparadas ao restante do país, a exemplo do estado de Roraima, onde o transporte pode representar cerca de 75% das emissões totais.

Quando considerados todos os materiais apresentados no quantitativo da obra, com a utilização dos resultados de Piva (2019) para aqueles ainda não contemplados pela proposta de ferramenta, tais percentuais passam a ser, respectivamente, de 98,79% e 1,22%. Isso se deve, principalmente, em função da representatividade da massa desses outros materiais no total da edificação, sendo a maioria deles com representação menor de 1% em relação à massa total dos materiais utilizados na edificação, como mostra a Figura 49, e com emissões que somam 11,03%.

Figura 49 – Participação da massa dos materiais no total da edificação

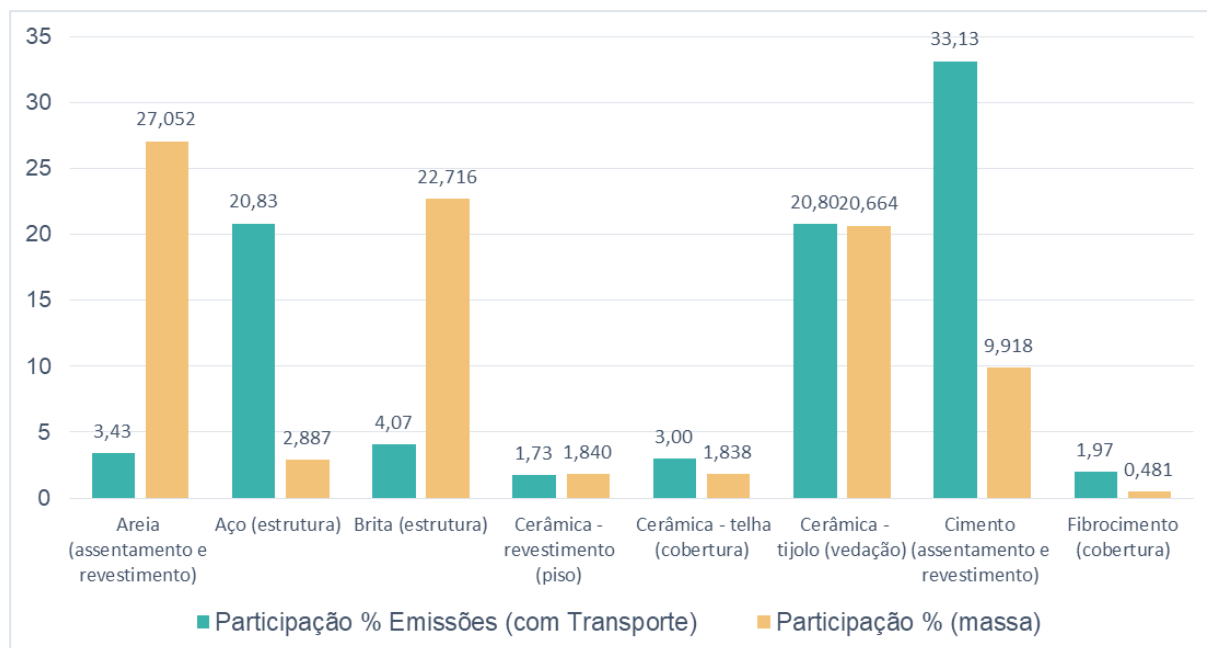


Fonte: A autora, com dados de Piva (2019).

Assim, a Figura 50 demonstra uma comparação entre o quanto representam as estimativas de emissões da extração, transporte, manufatura e transporte do fornecedor ao depósito do estabelecimento e desse à obra, e a recorrência em 50 anos, dos materiais calculados pela proposta de ferramenta, que integram 88,97% de todas as emissões, e sua representatividade em massa, considerando todos os outros materiais apresentados na Figura 49.

É possível inferir que, dentre os sete apresentados, o cimento é o material mais emissor, mesmo sua massa correspondendo a aproximadamente um terço do material de maior representatividade em massa, a areia, que emite dez vezes menos CO₂ que o cimento. Tais dados reiteram a não relação entre massa e emissões, e sim entre as características do material.

Figura 50 – Relação entre os percentuais de estimativas incorporadas iniciais com transporte e participação em massa



Fonte: A autora.

Ainda, dentre os materiais de maior impacto ambiental em relação às emissões para as etapas do ciclo de vida analisadas considerando a aplicação na obra-exemplo, destacam-se, em ordem decrescente, o cimento, com 33,13% das emissões, utilizado para o assentamento dos fechamentos verticais e revestimentos; o aço, com 20,83% utilizado na estrutura; e os tijolos cerâmicos, que correspondem a 20,80% das emissões. Depois desses, ainda em ordem decrescente, a brita emite 4,07%, mesmo sendo responsável por 22,72% da massa da edificação; a areia, responsável por 3,43% e por 27,05% dessa massa, e em sequência, as telhas cerâmicas, as telhas de fibrocimento e os revestimentos cerâmicos.

Em relação à questão de consideração ou não de materiais empregados nas construções com massa inferior a 1%, como apresentado na primeira parte do capítulo de resultados, pode-se observar que a telha de fibrocimento corresponde a aproximadamente 0,5% de massa, mas é responsável por quase 2% das emissões, quantidade significativa. De acordo com os resultados finais de Piva (2019), o mesmo ocorre com a tinta, o vidro e metal para esquadrias e a madeira utilizada no forro.

Diferentemente, outros materiais, também com massa menor a 1%, como o PVC e o plástico de instalações, a madeira das esquadrias e o gesso, participam, cada, em não mais que 1% das emissões totais. Já o impermeabilizante possui uma baixa participação nas emissões em função de sua irrisória contribuição em massa, de 0,02%, pois esse material possui um FE de aproximadamente 5,5 kgCO₂ por quilograma de material, e quando utilizado em grande quantidade ou escala, mesmo que a massa em relação aos demais materiais seja baixa, deve ser considerado nas estimativas.

Quanto ao total de emissões incorporadas estimadas para a edificação na fronteira “berço ao portão”, como mostra a Figura 27, considerando os 21 materiais originais apresentados por Piva (2019) e com a substituição dos resultados da areia, aço, brita, materiais cerâmicos, cimento e fibrocimento, se obteve um total de 233,699 kgCO₂/m², ou 0,234 tCO₂/m², enquanto que Piva (2019) obteve 236,153 kgCO₂/m², seja, 0,236 tCO₂/m². Tais dados se encontram próximos aos valores encontrados por outros estudos nacionais para a mesma fase, como de Tavares (2006), Costa (2012), Caldas et al. (2015) e Caldas (2016), de, respectivamente, 0,39 tCO₂/m², 0,2 tCO₂/m², 0,5 tCO₂/m² e entre 0,33 tCO₂/m² e 0,23 tCO₂/m².

Em relação ao transporte, para os 21 materiais, Piva (2019) obteve um valor de 2,45 kgCO₂/m², e a presente pesquisa, de 2,88 kgCO₂/m². Já para os oito materiais recalculados (areia, aço, brita, revestimento, telha e tijolos cerâmicos, cimento e fibrocimento), os valores obtidos foram de 2,30 kgCO₂/m² a partir dos dados descritos de Piva (2019) e novamente de 2,88 kgCO₂/m² para os recalculados. Isso se deve pois os 13 materiais restantes não recalculados somam um total de 0,003 kgCO₂/m².

Em se considerando somente os materiais contemplados pela ferramenta para a obra-exemplo, os valores obtidos pela nova estimativa são de 205,041 kgCO₂/m², ou 0,205 tCO₂/m², enquanto que para Piva (2019), os mesmos foram computados em 207,495 kgCO₂/m², seja, 0,207 tCO₂/m². Mais uma vez, se percebe a influência desses materiais nas emissões incorporadas, respondendo por 87,7% do resultado final junto aos outros materiais.

Logo, para a fronteira de “berço ao terreno”, considerando as emissões recorrentes em 50 anos de ciclo de vida, as emissões estimadas pelo presente trabalho correspondem a 0,237 tCO₂/m² para os 21 materiais, e 0,208 tCO₂/m² para aqueles contemplados pela ferramenta.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho contextualizou, em um primeiro momento, a produção acadêmico-científica brasileira no que diz respeito à análises de energia e carbono incorporados em edificações, realizada através de uma revisão sistemática de literatura em cinco diferentes bases de dados, considerando dissertações, teses e artigos científicos com autoria ou coautoria de pesquisadores brasileiros e aplicados no Brasil. Essa contextualização se deu a partir de uma bibliometria parcial e da análise de conteúdo dessas publicações.

Quanto às características bibliométricas, não se identificou um padrão na quantidade de publicações ao longo de 2010 e 2020, apesar de um discreto aumento nos últimos quatro anos. A Universidade de Brasília se destaca entre as instituições que mais publicam trabalhos acadêmicos sobre o tema, enquanto que a Universidade Federal do Espírito Santo, artigos em periódicos. Entretanto, é a região sudeste, em especial o estado de São Paulo, que contém o maior número de publicações quando somados os estudos entre instituições acadêmicas e autores.

Em relação à análise de conteúdo, a Avaliação do Ciclo de Vida completa, seja, sem cortes ou análise de impactos ambientais específicos, é a mais aplicada, estando em sequência a Análise do Ciclo de Vida Energético para as publicações acadêmicas e a Análise do Ciclo de Vida do Dióxido de Carbono para os artigos científicos. Para quaisquer delas, as fronteiras do sistema analisadas são, majoritariamente, o “berço ao portão” e “berço ao túmulo”, e a utilização de dados energéticos para estimar emissões é prevacente.

Ainda, para essas análises, a vida útil de 50 anos para a edificação foi mais utilizada, e as análises de sensibilidade e incertezas carecem de aplicação nos estudos brasileiros. Sobretudo, a utilização de dados secundários é imperativa, bem como simplificações, mas se percebeu grandes esforços para evitar o uso de dados internacionais, que não representam a realidade do país.

Isso posto, se considera de válida contribuição o entendimento do contexto brasileiro em pesquisa sobre o assunto, possibilitando, até o presente momento, a identificação de métodos utilizados e mais frequentes, origem de dados e práticas de condução de avaliações ambientais que consideram a energia e, principalmente, o carbono incorporados em edificações. Essas constatações podem auxiliar no delineamento de demais pesquisas, contribuindo para a tomada de decisões na condução de pesquisas do tipo no Brasil.

Além disso, a realização majoritária de ACVs nos trabalhos acadêmicos demonstra que as limitações em relação a falta de um banco de dados regionalizado não impedem a realização, mesmo que adaptada, dessas avaliações. Da mesma forma, as avaliações de materiais buscam mitigar essa limitação, buscando desenvolver gradativamente dados a integrar um banco de dados nacional.

Com as frequentes discussões internacionais acerca dos impactos ambientais e da identificação das atividades relacionadas a eles, espera-se que as pesquisas brasileiras na área acompanhem os movimentos e iniciativas de outros países, possibilitando o engajamento não só acadêmico, mas do setor industrial do país, que carece de incentivos governamentais e base de pesquisa local para mudanças seguras e substanciais.

Possivelmente o presente estudo não esgotou os trabalhos que se propôs identificar e selecionar, uma vez que, mesmo seguindo o protocolo de pesquisa e estratégias de busca, ainda foi necessária uma seleção manual de estudos previamente conhecidos ou encontrados em outros meios, e que não apareceram como resultado no banco de dados citado.

Indica-se como campo de pesquisa em potencial a investigação e contexto da aplicação das metodologias apresentadas, entre outras, no setor da indústria de materiais de construção. Tal investigação contribui para o entendimento das limitações do setor quanto as investigações de impacto ambiental e pode indicar, por exemplo, a necessidade do desenvolvimento de sistematizações a fim de padronizar e simplificar as aplicações a nível nacional no setor.

Em um segundo momento, o trabalho se ateve a desenvolver uma proposta de ferramenta de estimativas de emissões para a utilização por profissionais da construção civil, preferencialmente ainda em etapa projetual, com o intuito de auxiliar na escolha de materiais considerando as emissões dos mesmos como um indicativo

de sustentabilidade. Entretanto, para se tornar exequível dentro das condições da pesquisa, tal proposta considerou a aplicação na cidade de Santa Maria, RS, para a qual foram levantados em estabelecimentos locais parte dos materiais comercializados e seus fornecedores, a partir dos quais foram calculadas as distâncias de transporte.

A fronteira temporal considerada foi de “berço ao terreno”, utilizando uma compilação de dados secundários nacionais para os fatores de emissão e considerando ainda as emissões recorrentes para a reposição total do material durante a vida útil de 50 anos da edificação, desconsiderando manutenção, de complexa identificação e aplicação não particular em obra específica, dificultando a integração com a proposta de ferramenta, que foi desenvolvida em um editor de planilhas (*Microsoft Excel*).

Como modo de apresentação dessa ferramenta, considerada ainda em desenvolvimento, ou seja, “uma proposta de”, se optou pela aplicação da mesma em uma edificação para a qual estimativas de emissões já tivessem sido realizadas, possibilitando assim a comparação entre resultados. Por isso, a partir da apresentação de quantitativos, dados utilizados, e condução da obtenção das estimativas, para que fosse equivalente aos procedimentos utilizados na construção da ferramenta, foi selecionada a edificação apresentada por Piva (2019).

Considerando que nem todos os materiais analisados pela pesquisa de Piva (2019) estão contemplados pela proposta de ferramenta, duas estimativas foram realizadas, sendo a primeira utilizando os dados apresentados pela autora para materiais não incluídos no presente estudo, e a segunda considerando somente os materiais para os quais as estimativas foram recalculadas na ferramenta. Assim, a partir de uma implantação genérica da obra na cidade de Santa Maria, os resultados obtidos com o uso da ferramenta se encontram próximos aos obtidos por outros estudos similares, de 0,237 tCO₂/m² para todos os materiais, e 0,208 tCO₂/m² para aqueles contemplados pela ferramenta.

Dentre os materiais que tiveram as estimativas de emissões de dióxido de carbono calculadas pela ferramenta, se destacam como os maiores emissores quando aplicados em uma edificação, em ordem decrescente, o cimento, o aço utilizado na estrutura representado pelos vergalhões, e os tijolos cerâmicos utilizados na vedação vertical, que juntos representam 74,76% das emissões, corroborando os resultados

de Costa (2012), Lássio e Haddad (2016) e outros autores. Mais uma vez, como em demais estudos, apesar da relativa baixa contribuição em massa para a edificação, o cimento é identificado como o material de maior impacto ambiental, considerando, no caso, as emissões de CO₂, o que é explicado pelos processos do clínquer; e o aço, pelo alto consumo energético de produção.

No que diz respeito ao tijolo, a representatividade em massa é equivalente às emissões, as quais estão vinculadas ao processo de queima das peças. Dentre os materiais de alta representatividade em massa e baixa contribuição de emissões, estão a areia e a brita, que possuem fatores de emissão baixos comparados aos demais materiais, além de possuírem locais de extração próximos a cidade em questão, o que contribui para um baixo acréscimo emissivo vinculado ao transporte.

Por fim, a contribuição de emissões de CO₂ pelo transporte foi de 1,38% para os materiais estimados pelo presente estudo, o que pode ser considerado um baixo percentual em relação ao total. Entretanto, é necessário salientar que esse percentual corresponde a uma aplicação específica, tanto de características da edificação como de localização geográfica, sendo imprescindível considerar a participação dessa etapa nos estudos desse tipo.

Considerando os resultados obtidos, dentro de uma margem próxima aos de outras pesquisas, a proposta de ferramenta se mostra confiável de utilização na prática profissional, sendo acessível ainda pela inserção de quantitativos em acordo com as métricas de comercialização de materiais da construção, facilitando sua aplicação.

Embora com um banco de dados ainda limitado, em função da restrita contribuição dos estabelecimentos comerciais participantes, se acredita que a continuação do desenvolvimento da ferramenta, com a inserção de novos dados e funções, além de questões inerentes à programação e gráfica digital, possa vir a tornar tal objeto uma potencial ferramenta de utilização vinculada aos profissionais da área que buscam a consideração das questões ambientais em seus projetos, enquanto as mesmas não se tornem mandatórias, como se espera em um futuro não distante.

A inserção de práticas desse tipo na atuação profissional da construção civil é urgente, e, no campo da pesquisa grandes esforços são feitos diariamente para difundir a necessidade de preocupação com e consideração das questões ambientais.

Nesse sentido, o presente trabalho busca a aproximação da pesquisa com a prática, seja, a tentativa de real intercâmbio com a sociedade.

Quando as limitações da pesquisa, uma das simplificações executadas foi o uso de um mesmo FE por material, independente de características ou classificações disponíveis no mercado, mesmo entendendo ser evidente que o FE de cada um dos diferentes produtos originados de um mesmo material sejam diferentes. A exemplo, se espera que as emissões da brita 1 sejam superiores ao da brita 2, uma vez que a primeira exige atuação por mais tempo de máquinas e ferramentas para ser obtida, conseqüentemente maior energia e emissões. O mesmo ocorre com os tipos de areia e cimento, devendo-se considerar ainda diferentes elementos constituintes.

Entretanto, essa diferenciação só é possível com um levantamento e acompanhamento minucioso da etapa de extração e beneficiamento desses materiais, considerando ainda a região, não sendo possível a exequibilidade pelo tempo e não sendo o objetivo principal da presente pesquisa. Essas observações podem ser consideradas para futuros trabalhos, sendo potenciais tópicos de pesquisa a serem desenvolvidos individualmente, com precisão, requisitando para isso colaboração de pessoal, incentivos à pesquisa e colaboração entre indústrias e empresas.

Ademais, é necessário comentar que a utilização do coeficiente de emissão de Nabut Neto (2011) para a etapa de transporte, obtido com base em uma vasta pesquisa do autor para diversos modelos de caminhões utilizados para o transporte de cargas da construção civil, pode resultar em distorções. Utilizando os dados do autor, que considera a emissão pelo tipo do combustível e consumo do transporte em estado de carga, as emissões para essa etapa ficam vinculadas somente à massa transportada e distância percorrida.

Isso posto, para trabalhos mais acertivos, a partir do levantamento das características da frota utilizada para determinado material em determinada região, se recomenda a utilização de coeficientes de emissão diferenciados, principalmente entre os meios utilizados na rodovia e para grandes distâncias e aqueles que circulam no meio urbano.

Além dessas colocações de aperfeiçoamento diante do que foi realizado no presente trabalho, algumas sugestões para trabalhos futuros similares ao escopo deste são:

- Expansão dos bancos de dados da Revisão Sistemática de Literatura, considerando também estudos apresentados em eventos científicos e publicados em anais, visto que a publicação de estudos nacionais nos mesmos é mais acessível e ocorre em maior escala;
- Validação da proposta de ferramenta junto aos profissionais da área na cidade de Santa Maria, identificando as potencialidades e pontos necessários de reformulação;
- Investigação de como tornar o dado resultante de emissões na proposta de ferramenta, que atualmente resulta em quilograma de CO₂ para a quantidade de material solicitada, um dado mais palpável ao profissional usuário, como por exemplo a correspondência das emissões em número de árvores a serem plantadas para neutralização dessas emissões;
- Desenvolvimento de um banco de dados de outros municípios, com a replicação do processo realizado junto aos estabelecimentos locais de Santa Maria, para a expansão e aplicação da ferramenta em maior escala;
- Continuação da estruturação da ferramenta com a inserção de novos materiais e composições, como blocos de solo cimento, gesso, PVC, tinta, impermeabilizantes, aditivos e outros elementos; e sistemas, como *light wood frame*, *light steel frame*, bloco celular de cimento, entre outros, para os quais investigações acerca dos fatores de emissão e novos levantamentos precisam ser realizados.

Enfim, considerando a ascendente preocupação com as questões ambientais em todo o mundo e a comprovação da necessidade de mitigação de emissões de gases contribuintes para a intensificação do efeito estufa, acredita-se que os resultados da presente pesquisa colaboram para as ações em escala local, tornando a responsabilidade sobre as mudanças climáticas mais palpáveis e compreensíveis, auxiliando, ainda que em estágio inicial, em ações no setor da construção civil.

REFERÊNCIAS

ABREU, W. G. **Identificação de práticas sustentáveis aplicadas às edificações**. 2012. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, SP, 2012

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIO-COMBUSTÍVEIS (ANP). Despacho nº 621 de 06.08.2019 . **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 07 ago. 2019.

AGOPYAN, V. et al. Alternativas para redução do desperdício de materiais nos canteiros de obra. In: **Coletânea Habitare** – v. 2 – Inovação, Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. [2003]. p. 224-249.

AGOPYAN, V. et al. **Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo: PCC/EPUSP, 1998. v. 1-5.

AGOPYAN, V.; SILVA, M. G.; SILVA, V. G. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios: estágio atual e perspectivas para desenvolvimento no Brasil. **Revista Engenharia**, Ciência & Tecnologia, Vitória, v. 4, n. 3, p. 3- 8, 2001

ALBUQUERQUE, H. R.; LIRA, J.; SPOSTO, R. M. Emissões de CO2 de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 377- 393, 2018.

ALDERSON, P; GREEN, S; HIGGINS, J. P. T. (edt). **Assessment of study quality. Cochrane Reviewers' Handbook 4.2.2** [atualizado em março de 2004]; Seção 6. In: The Cochrane Library, 1 ed., Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2004.

ANAND, C., AMOR, B. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. (accepté), p. 16, 2016.

ARAÚJO, A. G.; CARNEIRO, A. M. P.; PALHA, R. P. Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 256, p. 120350, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120350>. Acesso em: jun. 2020.

ARIOLI, M. S. et al. The evolution of city-scale GHG emissions inventory methods: A systematic review. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 80, n. November 2019, p. 106316, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106316>. Acesso em: jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, RJ, 2013. p. 60

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14044:** Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 46 p.

AZEVEDO, N. C. **Avaliação do ciclo de vida energético e de CO₂ através da modelagem da informação da construção (BIM) e simulação termo energética de uma habitação unifamiliar em wood frame.** 2019. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2019.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, Maria C. D.; TAVARES, S. F. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 260, p. 121046, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121046>. Acesso em: jul. 2020.

BENTO, R. C. **Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da avaliação do ciclo de vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento.** 2016. 217 p. Tese (Doutorado em Ciências da Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2016.

BEREZUK, F. D. **Avaliação do ciclo de vida do concreto convencional com cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial da areia.** 2015. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2015.

BESSA, V. M. T. **Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios.** 2010. 286 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

BILAR, M. M. **Análise do ciclo de vida de um sistema vertical de vedação com adição de cinza pesada.** 2016. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

BIONOVA. **The embodied carbono review:** embodied carbono reduction in 100+ regulations and rating systems globally. One Click LCA. [S.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.oneclicklca.com/embodied-carbon-review/>. Acesso em: 12 mar. 2020.

BIRGISDOTTIR, H. et al. IEA EBC annex 57 'evaluation of embodied energy and CO₂eq for building construction'. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 154, p. 72–80, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.030>. Acesso em: dez. 2019.

BORGES, P. H. R. et al. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 153 - 168, abr./jun. 2014.

BRAGA, N. K. M. **Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida**. 2018. 137 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.

BRAGANÇA, L; TAVARES, S. F. Índices de CO2 para materiais da construção em edificações brasileiras. In: Sustainable Urban Communities towards a Nearly Zero Impact Built Environment – SBE 16 Brazil and Portugal, 16, 2016, Vitória, ES, Brasil. **Anais...** Vitória, ES, Brasil, 2016. p. 927 - 936.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e janeiro de 2012. 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2012.

BRASIL. Decreto nº 3.524, de 26 de junho de 2000. Regulamenta a Lei no 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 27 jun. 2000. Seção 1, p. 28. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3524.htm. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Decreto nº 7.390, de 09 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 dez. 2010. Seção 1, p. 4. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Decreto nº 8.264, de 1 de julho de 1998. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 jul. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2652.htm. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 nov. 2018e. Seção 1, p. 47. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9578.htm. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanco Energético Nacional 2018**: ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018b.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 dez. 2009c. Seção 1, p. 109. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 set. 1981. Seção 1, p. 16509. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989. Cria o Fundo Nacional de Meio Ambiente e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 jul. 1989. Seção 1, p. 11378. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7797.htm. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). **Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**: informações gerais e valores preliminares. Brasília, 2009b. Disponível em: http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/InventrioBrasileiroIEmissesGEE19902005ValoresPreliminares_nov09.pdf. Acesso em: mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 4 Ed. Brasília: MCTIC, 2017. 91 p. Disponível em: <<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/P2L00001.pdf>>. Acesso em: jan. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional**. 2015. Brasília, 2015b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda Ambiental na Administração Pública – A3P**. 5. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Compromissos Estabelecidos na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Brasília, 2018d. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/15142-contribui%C3%A7%C3%B5es-para-o-documento-base.html%20>. Acesso em: nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)**. Brasília, 2018c. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: dez. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília, 2019b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-sobre-mudan%C3%A7a-do-clima.html>. Acesso em: mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Protocolo de Quioto**. 2018 Acesso em 08 out. 2018a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>. Acesso em: maio 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, 2019a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/sistema-nacional-do-meio-ambiente>. Acesso em: mar. 2019.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável: Brasil 2015**. n. 10. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015a.

BRE. **BRE Global Methodology for the Environmental Assessment of Buildings using EN 15.978:2011**. PN 326 Rev 0.0. Londres: BRE Global, 2018.

BRE. **Product Category Rules for Type III environmental product declarations of construction products to EN 15.804:2012**. Londres: BRE Global, 2013.

BRINER, R. B.; DENYER, D. Systematic Review and Evidence Synthesis as a Practice and Scholarship Tool. In: ROUSSEAU, Denise M. (Ed.). **The Oxford Handbook of Evidence-Based Management**. [s.l.]: Oxford University Press, 2012. p. 112 - 129.

BUENO, C; FABRICIO, M. M. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 90, n. March, p. 188 - 200, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028>. Acesso em: jan. 2020.

BUYLE, M.; BRAET, J.; AUDENAERT, A. Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Elsevier BV, v. 26, p. 379 - 388, out. 2013.

CALDAS, L. R. et al. Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasília: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71 - 85, 2017.

CALDAS, L. R. **Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 de uma edificação habitacional unifamiliar de light steel framing**. 2016. 174 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M. Emissões de CO2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 91 - 108, 2017.

CALDEIRA, D. M. **Avaliação do ciclo de vida energético na fase de pré-uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF**. 2016. 187 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

CAMPOS, F. H. A. **Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria**

em blocos de concreto. 2012. 123 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.

CARMINATTI JUNIOR, R. **Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em light steel framing.** 2012. 164 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: subsídios para a promoção da construção sustentável.** 1 ed., [S.l.; s.n.], 2014, 111p.

CHAU, C. K.; LEUNG, T. M.; NG, W. Y. Corrigendum to “A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings” [Appl. Energy 143 (2015) 395 - 413]. **Applied Energy**, [s. l.], v. 158, p. 656, 2015. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261915010296>. Acesso em: jun. 2019.

CHEHEBE, J.R.B; **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial ISO14000.** Rio de Janeiro; Qualitymark, 2002.

COSTA, B. L. de C. da. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil.** 2012. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, COPPE- Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012a.

COSTA, K. A. **Utilização da avaliação do ciclo de vida no processo de tomada de decisão em sustentabilidade na indústria da construção no subsetor de edificações.** 2012. 217 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2012b.

CRIPPA, J. et al. A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil. **Built Environment Project and Asset Management**, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 491–503, 2018.

CUNHA, I. B. da C. **Quantificação das emissões de CO₂ na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais.** 2016. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.

CURRAN, M. A., MANN, M., NORRIS, G. The international workshop on electricity data for life cycle inventories. *Journal of Cleaner Production*, n.13, p. 853-862, 2005.

DE FEO, G. et al. LCA of the collection, transportation, treatment and disposal of source separated municipal waste: a southern Italy case study. **Sustainability**, v. 8, n. 11, p. 1084 - 1097, 2016.

DE LASSIO, J. et al. Case study: LCA methodology applied to materials management in a Brazilian residential construction site. **Journal of Engineering** (United Kingdom), [s. l.], v. 2016, p. 1-9, 2016.

DEEKE, V. **Materiais convencionais utilizados na construção civil e na emissão de CO₂**: estudo de caso de um edifício educacional da UTFPR. 2009. 221 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2009.

DIXIT, M. K.; CULP, C. H.; FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L.. System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 21, p. 153-164, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.037>. Acesso em: jun. 2018.

DIXIT, M. K.; et al. **Protocol for Embodied Energy Measurement Parameters**. Department of Architecture, Texas A&M University. U.S.A. 2010.

DIXIT, Manish K. Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 209, p. 731 - 754, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.230>. Acesso em: jan. 2020.

EKVALL, Tomas et al. Attributional and consequential LCA in the ILCD handbook. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 293 - 296, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço Energético Nacional – BEN- 2019** (ano base 2018). Rio de Janeiro, RJ: MME/MMA, 2019.

EN European standard. **DIN EN 15804/2012: Sustainability of construction works, Environmental product declarations, Core rules for the product category of construction products**. Berlim, 2012.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. Cincinnati, 2006.

EU-JRC (European Commission- Joint Research Center). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – **General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance**. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.

EVANGELISTA, P. P. A. et al. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 169, p. 748–761, 2018.

EVANGELISTA, P. P. A. **Desempenho ambiental na construção civil: parâmetros para aplicação da avaliação do ciclo de vida em edificações residenciais brasileiras**. 2017. 255 p. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2017

FABRÍCIO, T. N. R. **Avaliação preliminar do ciclo de vida do gesso utilizando o software simapro**. 2014. 85 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) – Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2014.

FARIA, P. M. **Revisão Sistemática da Literatura**: Contributo para Um Novo Paradigma Investigativo. [S.l.]: CG Publisher, 2019. 122 p.

FELICIANO, A. P. M. **Avaliação do ciclo de vida de perfis de alumínio**. 2019. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2019.

FLIZIKOWSKI, L. C. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso**. 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FRANÇA, M. L. **Estimativa das emissões de gases do efeito estufa e proposta de mitigação dos impactos ambientais gerados por um empreendimento da construção civil: um estudo de caso**. 2016. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.

FUJIHARA, M. A.; LOPES, F. G. **Sustentabilidade e mudanças climáticas: guia para o amanhã**. São Paulo: Senac São Paulo, 2009.

GABI. **GaBi Solutions**. Leinfelden-Echterdingen: Thinkstep, 2019. Disponível em: <http://www.gabi-software.com/international/index/>. Acesso em: mar. 2019.

GHG Protocol. **GHG Protocol Corporate Standard**, v. 2, 2003. Disponível em: http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/ghg_project_protocol.pdf. Acesso em: mar. 2019.

GLOBALABC; IEA; UNEP. **2019 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector GlobalABC**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP_188_GABC_en_\(web\).pdf](https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP_188_GABC_en_(web).pdf). Acesso em: jun. 2020.

GOLDENBERG, J.; BARBOSA, L.M. A legislação ambiental no Brasil e em São Paulo. **Revista Eco 21**, ano 14, ed. 96, nov. 2004.

GOMES, K. C. et al. Carbon emissions associated with two types of foundations: CP-II Portland cement-based composite vs. geopolymers concrete. **Revista Materia**, [s. l.], v. 24, n. 4, 2019.

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**, [s. l.], v. 173, p. 302–314, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.063>. Acesso em: jun. 2019.

GOOGLE, INC. **Google Maps**. Trajetos e distâncias. 2020.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2001.

GUERRA, C. M. F. **Indicador de emissões de gases de efeito estufa em projetos de infraestrutura**: estudo de projetos viários em Recife/PE. 2017. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, PE, 2017.

GUIMARÃES, G. D. **Incertezas de cenário no inventário de avaliação de ciclo de vida de edificações**. 2018. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2018.

HAMMOND, G.; JONES, C. **Inventory of Carbon & Energy (ICE)**: Version 1.6a. Bath, UK: University of Bath, 2008. Disponível em: www.bath.ac.uk/mech-eng/ser/embodied/%0APeer. Acesso em: jun. 2018.

HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R.; OLSEN, S. I. **Life Cycle Assessment: Theory and Practice**. Switzerland: Springer International Publishing, 2018.

HEIJUNGS, R. On the number of Monte Carlo runs in comparative probabilistic LCA. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 394 - 402, 2020.

HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M. J. A review of approaches to treat uncertainty in LCA. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE 2004, Osnabrück, Germany. **Anais[...]** Osnabrück, Germany: Brigham Young University, 2004. Disponível em: <http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/lca/heijarev.pdf>. Acesso em: set. 2019.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO2 decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil**: um modelo inter-regional de insumo-produto. 2005. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

HOGAN, D. J. População e Meio ambiente: a emergência de um novo campo de estudos. In: HOGAN, D. J. (Org). **Dinâmica populacional e mudança ambiental**: cenários para o desenvolvimento brasileiro. Campinas: Núcleo de Estudos de População – Nepo/Unicamp, 2007. p. 13 - 49.

HUNT, R. G. et al. Case Studies Examining LCA Streamlining Techniques. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 1998. v. 3, n. 1, p. 36 - 42.

IFU. **Humberto**: software for resource efficiency. Hamburgo: Hamburg, 2019a. Disponível em: <https://www.ifu.com/en/umberto/efficiency-software/>. Acesso em: mar. 2019.

IFU. **What is Material Flow Cost Accounting (MFCA)?** Hamburgo: Hamburg, 2019b. Disponível em: <https://www.ifu.com/en/umberto/mfca/>. Acesso em: mar. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). **Methodology Report – Pilot Study Diesel**: Contribution to the Brazilian National Life Cycle Inventory (LCI) Database, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT). **Manual do Sistema ILCD**. Sistema internacional de referência de dados do ciclo de produtos e processos: Guia geral para avaliações do ciclo de vida: orientações detalhadas (União Europeia - tradução de Luiz Marcos Vasconcelos). IBICT: Brasília, 2014.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE (IEMA). **Documento de análise**: evolução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil (1990-2013) setor de energia e processos industriais. São Paulo: Observatório do Clima, 2015. 64p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **2018 Key world energy statistics**. Paris: OECD/IEA, 2018.

INVIDIATA, A. **Método de avaliação multicritério de estratégias de projeto de edificações mais sustentáveis**. 2017. 333 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2017.

IPCC. Annex i: Glossary. In: **Global warming of 1.5°C: an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. [S. l]: IPCC, 2018.

IPCC. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: **Climate Change 2013: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Reino Unido e Nova Iorque, EUA: Cambridge University Press, 2013b. p. 659-740.

IPCC. **Climate change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Valência, Espanha: IPCC, 2007.

IPCC. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability - Part A: global and sectoral aspects**. Contribution of Working Groups II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nova Iorque, EUA: Cambridge University Press, 2014a. 1150 p.

IPCC. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability - Part B: regional aspects**. Contribution of Working Groups II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nova Iorque, EUA: Cambridge University Press, 2014b. 696 p.

IPCC. **Climate change 2014: mitigation and climate change.** Contribution of Working Groups III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nova Iorque, EUA: Cambridge University Press, 2014c. 1454 p.

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. Genebra, Suíça: IPCC, 2015.

IPCC. **Climate Change: the IPCC scientific assessment.** Melbourne, Austrália: Cambridge University Press, 1990.

IPCC. Framing and Context. In: **Global warming of 1.5°C: an IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** [S. I]: IPCC, 2019.

IPCC. **Introduction to the 2006 Guidelines.** In: IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Genebra, Suíça: IPCC, 2006. p. 1-12.

IPCC. **IPCC Factsheet: what is the IPCC.** Switzerland: IPCC, 2013a.

ISO – International Organization for Standardization. **All about ISO.** Genebra, 2018a. Disponível em: <https://www.iso.org/about-us.html>. Acesso em: dez. 2018.

ISO – International Organization for Standardization. **Environmental management: the ISO 14000 family of International Standards.** Genebra, 2009. Disponível em: https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/theiso14000family_2009.pdf. Acesso em: dez. 2018.

ISO International Organization for Standardization. **ISO 14021/1999: Environmental labels and declarations -- Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling).** Genebra, 1999b.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14024/1999: Environmental labels and declarations -- Type I environmental labelling - Principles and procedures.** Genebra, 1999a.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14025/2006: Environmental labels and declarations -- Type III environmental declarations - Principles and procedures.** Genebra, 2006d.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14040/2006: Environmental management -- Life cycle assessment - Principles and framework.** Genebra, 2006a.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14064/2006: Greenhouse gases -- Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.** Genebra, 2006b.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14064/2006: Greenhouse gases -- Part 2: Specification with guidance at the project level for quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions or removal enhancements.** Genebra, 2006c.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14064/2006: Greenhouse gases -- Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions.** Genebra, 2006e.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14065/2013: Greenhouse gases -- Requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation or other forms of recognition.** Genebra, 2013a.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14066/2011 Greenhouse gases -- Competence requirements for greenhouse gas validation teams and verification teams.** Genebra, 2011.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14067/2018: Greenhouse gases -- Carbon footprint of products -- Requirements and guidelines for quantification.** Genebra, 2018c.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 14080/2018: Greenhouse gas management and related activities -- Framework and principles for methodologies on climate actions.** Genebra, 2018d.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 16745/2015: Environmental performance of buildings -- Carbon metric of a building- Use stage.** Genebra, 2015.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 21930/2017: Sustainability in buildings and civil engineering works -- Core rules for environmental product declarations of construction products and services.** Genebra, 2017.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO and Climate change: great things happen when the world agrees.** Genebra, 2018b. Disponível em: <<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100067.pdf>>. Acesso em: dez. 2018.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO/TR 14069/2013: Greenhouse gases — Quantification and reporting of greenhouse gas emissions for organizations — Guidance for the application of ISO 14064-1.** Genebra, 2013b.

KAROLIDES, A. Green Building Approaches. In: RSMMeans. **Green Building: Project Planning and Cost Estimating.** Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2011. p. 3 - 24.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Technical Report TR/SE-0401, Department of Computer Science, Keele University, UK, 2004. 27 p.

KRUSE, C. **International Investors Group on Climate Change (IIGCC) Briefing Note: Climate Change and the Construction Sector**. Londres: IIGCC, 2004.

LAMPREIA, J. et al. Analyses and perspectives for Brazilian low carbon technological development in the energy sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 3432–3444, 2011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032111001596>. Acesso em: fev. 2019.

LASSIO, J. G. G.; HADDAD, A. N. Life cycle assessment of building construction materials: Case study for a housing complex. **Revista de la Construcción**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 69 - 77, 2016.

LE QUÉRÉ, C.; et al. Global Carbon Budget 2017. **Earth System Science Data-ESSD**. v. 10, n. 1, p. 405-448, 2018. Disponível em: <https://www.earth-syst-sci-data.net/10/405/2018/>. Acesso em: 07 out. 2018.

LEITNER, D. S.; SOTSEK, N. C.; SANTOS, A. de P. L. Postoccupancy Evaluation in Buildings: Systematic Literature Review. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, [s. l.], v. 34, 2020.

LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro. **Depleção abiótica e potencial de aquecimento global no ciclo de vida de telhado verde comparativamente a um telhado convencional**. 2017. 120 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. **Systematic reviews and meta-analysis**. New York: Oxford University Press, 2008.

LOBO, F. H. R. **Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná**. 2010. 212 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

LÜTZKENDORF, T; BALOUKTSI, M. **Basics, IEA-EBC Annex 57 Subtask 1 report – Actors and Concepts**. Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Building Construction (Annex 57). International Energy Agency, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Japão, 2016

MACIEL, A. C. F. **Energia incorporada de fachadas ventiladas**. Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília- DF. 2013. 147 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

MACIEL, M. A. D. **Levantamento de inventário de emissões de gases de efeito estufa em obra da indústria da construção civil em Maringá/PR**. 2016. 116 p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologias Limpas) – Centro Universitário de Maringá, Maringá, PR, 2016.

MADEIRA, J. G. da S. **Avaliação do ciclo de vida energético e desempenho da envoltória mediante ações de retrofit em edificação pública escolar**. 2019. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2019.

MAHECHA, R. E. G. **Designing nearly zero energy buildings: energy efficiency and on-site generation**. 2018. 171 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MAIA DE SOUZA, D. et al. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 137, p. 70–82, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069>. Acesso em: nov. 2018.

MARCOS, M. H. C. **Análise da emissão de CO₂ na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. 2009. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MARCOS, M. H. C. **Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM**. 2015. 144 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.

MARQUES, V. M. **Avaliação de aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com e sem amianto**. 2014. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2014.

MARQUES, V. M.; GOMES, L. P.; KERN, A. P. Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 187–201, 2016.

MARSH, R.; RASMUSSEN, R. F.; BIRGISDOTTIR, H. Embodied Carbon Tools for Architects and Clients Early in the Design Process. In: POMPONI, F.; DE WOLF, C.; MONCASTER, A. (EDS.). **Embodied carbon in buildings: Measurement, management, and mitigation**. Switzerland: Springer International Publishing, 2018.

MASCARÓ, L. R.; MASCARÓ, J. L. **Incidência das variáveis projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios**. Porto Alegre: Sagra, 1992.

MDIC/CONMETRO. Resolução nº 03, de 22 de abril de 2010. Dispõe sobre a Aprovação do Termo de Referência do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 12 maio 2010. Seção 1, p. 86-87.

MEDEIROS, L. M. M. **Impactos ambientais de sistemas construtivos: um exercício de análise de ciclo de vida.** 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 365–385, 2018.

MENDES, N. C. **Métodos e modelos de caracterização para a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil.** 2013.149p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Produção, São Carlos: Universidade de São Paulo, 2013.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, [s. l.], v. 26, n. 1, p. 160 - 175, 2016.

MILLER, K. B. **Modelo parametrizado de ACV: aplicação em sistemas construtivos com estudo de caso em vedações verticais.** 2015. 273 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

MIRANDA, M. M. de. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida.** 2012. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **International Journal of Surgery**, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 336- 341, 2010.

MONCASTER, A. (EDS.). **Embodied carbon in buildings: Measurement, management, and mitigation.** Switzerland: Springer International Publishing, 2018. p. 167 -190.

MONICH, C. R. **Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no estado do Paraná.** 2012. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.

MONTES, M. A. T. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas.** 2016. 473 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

MORAGA, G. L. **Avaliação do ciclo de vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida.** 2017. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017.

MORALES, Michele et al. Regionalized inventory data in LCA of public housing: A comparison between two conventional typologies in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 238, p. 117869, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117869>. Acesso em: abr. 2020

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. O protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto Internacional**. v. 30, n. 1., p. 9-47, jan/abr. 2008.

MORETTO, C. F.; GIACCHINI, J. **Do surgimento da teoria do desenvolvimento à concepção de sustentabilidade: velhos e novos enfoques ao desenvolvimento sustentável**. Texto para discussão nº 06/2006. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2006. 18 p.

MOTTA, R. S. **A regulação das emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Texto para discussão, n. 1492. Brasília: IPEA, 2010.

MUNARIM, U. **Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado: Análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. nova construção**. 2014. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.

MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F.; BRAGANÇA, L. Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 260, p. 121134, 2020.

NABUT NETO, A. C. **Energia incorporada e emissões de CO2 de fachadas. Estudo de caso do Steel Frame para utilização em Brasília**. 2011. 157 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF, 2011.

NAJJAR, M. et al. Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 14, n. October, p. 115 -126, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.10.005>. Acesso em: nov. 2018.

NASCIMENTO, M. A. **Metodologia de levantamento energético com base na análise de ciclo de vida na construção civil**: Estudo de caso no centro interdisciplinar de energia e ambiente da Universidade Federal da Bahia. 2011. 211 p. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2011.

NEELY, J. Gail et al. A practical guide to understanding systematic reviews and meta-analyses. **Otolaryngology - Head and Neck Surgery**, [s. l.], v. 142, n. 1, p. 6 - 14, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.otohns.2009.09.005>. Acesso em: jan. 2019.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos Científicos das Mudanças Climáticas**. São José dos Campos: Rede Clima/INPE, 2012. 29 p.

OLIVEIRA, E. de. **Contribuição para análise do ciclo de vida no ambiente construído vidando a energia e o CO2 embutidos no sistema construtivo wood frame**. 2016. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2016.

OLIVEIRA, L. S. **Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação**. 2015. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015a.

OLIVEIRA, L. S.; PACCA, S. A.; JOHN, V. M. Variability in the life cycle of concrete block CO2 emissions and cumulative energy demand in the Brazilian Market. **Construction and Building Materials**, [s. l.], v. 114. January 2015, p. 588 - 594, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.134>. Acesso em: jan. 2020

OLIVEIRA, L. B. de. **Influência do sistema de fachada viva em manta no ciclo de vida energético de uma residência unifamiliar em clima tropical**. 2015. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2015b.

ONU. **Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment**. Stockholm, 1972. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/milestones/humanenvironment>. Acesso em: jan. 2019.

ONU. **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development**. A/RES/70/1. 2015 Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Acesso em: jan. 2019

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the Construction Industry: a review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 28-39, 2009.

Pasanen, P; Castro, R. **How to design buildings with Life Cycle Assessment by accounting for the material flows in refurbishment**. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, Brussels, 2019.

PASSER, A. et al. Environmental product declarations entering the building sector: critical reflections based on 5 to 10 years experience in different European countries. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, n. 20, p. 1199 - 1212, 2015.

PASSUELLO, A. C. B. et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7 - 20, 2014.

PAULSEN, J. S.; SPOSTO, R. M. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “MY HOUSE MY LIFE ”. **Energy & Buildings**, [s

I.], v. 57, n. 2013, p. 95–102, 2014. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.014>. Acesso em: 22 ago. 2018.

PAWELZIK, P. et al. Critical aspects in the life cycle assessment (LCA) of bio-based materials: Reviewing methodologies and deriving recommendations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 73, p. 211 - 228, 2013.

PBMC. **Mitigação das mudanças climáticas**. Contribuição do grupo de trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COOPPE, UFRJ, 2014. 463 p.

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades: relatório** especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: PBMC/COPPE-UFRJ, 2016. 116 p.

PEDROSO, G. M. **Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações**. 2015. 228 p. Tese (Doutorado em Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015).

PEREIRA, M. F. B. **Conteúdo energético e emissões de CO2 em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento: estudo de caso**. 2014. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

PESSOA, R. G. A. de Q. **Indicadores de emissões de CO2 na construção de edifícios: estudo de múltiplos casos na cidade do Recife-PE**. 2019. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Pernambuco, Recife, PE, 2019.

PINI. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 13. ed. São Paulo: PINI, 2008.

PINI. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 14. ed. São Paulo: PINI, 2012.

PIVA, Julianna Ody. **Sustentabilidade na construção civil: avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 em edificação histórica de origem portuguesa e contemporânea**. 2019. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2019.

POMPONI, F.; DE WOLF, C.; MONCASTER, A. (EDS.). **Embodied carbon in buildings: Measurement, management, and mitigation**. Switzerland: Springer International Publishing, 2018.

POSTAY, R. **Correlação entre compacidade, energia incorporada e emissões de CO2, em projetos de habitação de interesse social**. 2015. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2015.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017.

PRé et al. **SimaPro Database Manual: methods library**. São Francisco, CA: PRé, 2019.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life Cycle energy analysis of buildings: an overview. **Energy and Buildings**, n. 42, p. 1592-1600, 2010.

RAMOS, Valéria Mayumi Kushima. **Avaliação do ciclo de vida dos materiais de uma habitação de interesse social em alvenaria convencional, light steel framing e light wood framing**. 2019. 142 p. Dissertação (Mestrado em Gestão) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2019.

RISSATO, D.; SPRICIGO, B. A política ambiental no Brasil no período de 1970-1999. **Ciências Sociais em Perspectiva**. v. 9, n. 16, 2010.

RÖCK, M. et al. Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. **Applied Energy**, [s. l.], v. 258, p. 12, 2020.

ROMANO, F. V. **Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações**. 326 p. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

ROSSI, E. **Avaliação do ciclo de vida da brita para a construção civil: Estudo de caso**. 2013. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013.

RUPP, R. F; LAMBERTS, R. **Relatório: Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária e em emissões de dióxido de carbono a serem usados na etiquetagem de nível de eficiência energética de edificações [Versão 1]**. Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações, 2017.

RUPPENTHAL, J. E. **Gestão Ambiental**. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial. Santa Maria: Rede e-Tec Brasil, 2014. 128 p.

SAADE, M. R. M. et al. Material eco-efficiency indicators for brazilian buildings. **Smart and Sustainable Built Environment**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 54 - 71, 2014.

SALGADO, M. S. **Arquitetura, Materiais e Tecnologia**. Material Institucional – Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.

SARTORI, I.; HESTNES, A.G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 249 - 257, 2007.

SARTORI, T.; CALMON, J. L.. Analysis of the impacts of retrofit actions on the life cycle energy consumption of typical neighbourhood dwellings. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 21, n. October 2018, p. 158–172, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2018.10.009>. Acesso em: fev. 2020.

- SARTORI, T. G. **Medidas de retrofit em edifícios típicos existentes de um bairro: desempenho e avaliação do ciclo de vida energético**. 2018. 187 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2018.
- SEDREZ, M. M. **Caracterização do componente direto da energia incorporada inicial de edifícios: método de inventário através da avaliação do ciclo de vida energético de processo**. 2016. 204 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2016.
- SILVA, B. V. da. **Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações**. 2013. 146 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.
- SILVA, D. H. Protocolos de Montreal e Kyoto: pontos em comum e diferenças fundamentais. **Ver. Bras. Polit. Int.** v. 52, n. 2, p. 155-172, 2009.
- SILVA, D. A. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2012a.
- SILVA, E. S. **Inventário de gases de efeito estufa na etapa de construção de edificações residenciais multifamiliares na região da Grande Florianópolis (SC)**. 2014. 229 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- SILVA, J. P. da. **Avaliação do ciclo de vida de tijolo cerâmico produzido no norte paranaense: estudo de caso**. 2017. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2017.
- SILVA, L. P. da. **Análise do ciclo de vida energético de habitações de interesse social**. 2012. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012b.
- SILVA, R. W. C.; PAULA, B. L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terrae Didática**, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009. Disponível em: http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf. Acesso em: dez. 2018.
- SILVEIRA, J. G. Entre o desenvolvimento econômico e os debates sobre meio ambiente: a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA) e a política estratégica de proteção ambiental no Brasil (1973-1981). 28º Simpósio Nacional de História, 28., 2015, Florianópolis,. **Anais [...]** Florianópolis: SNH, 2015.
- SINDUSCONSP. **Guia metodológico para inventários de emissões de gases de efeito estufa na construção civil: setor edificações**. São Paulo: ABAL, 2013. 76 p.
- SOARES, P. B. et al. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. **Ambiente Construído**, [online], v. 16, n. 1, p. 175 - 185, 2016.

SOMBRIO, C. M. de O. **ACV de painéis de blocos cerâmicos e concreto armado: um exercício de aplicação do manual do ILCD**. 2015. 138 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

SOUSA, A. C. A. A evolução da política ambiental no Brasil do século XX. **Achegas.net**, v.1, p. 26 - 40 , 2005. Disponível em: http://www.achegas.net/numero/vinteeseis/ana_sousa_26.htm>. Acesso em: mar. 2019.

SOUZA, A. de. **Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto - SP**. 2012. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

STACHERA JR, T.; CASAGRANDE JR. Avaliação de emissões de CO₂ na construção civil: um estudo de caso da habitação de interesse social no Paraná. In: IX ENGEMA - Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Curitiba, 4., 2007. **Anais [...]** Curitiba: Engema, 2007.

STAFFORD, F. do N. **Desempenho ambiental da indústria de cimento portland por meio da avaliação de ciclo de vida: três estudos de caso**. 2016. 139 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

SURGELAS, F. M. A.; MARQUES, G. F.; RODRIGUES, C. d. S. Life Cycle Analysis of Ceramic versus Painting Materials Applied to External Walls. **Journal for Housing Science**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 37 - 46, 2010.

TABORIANSKI, V. M.; PRADO, R. T. A. Methodology of CO₂ emission evaluation in the life cycle of office building façades. **Environmental Impact Assessment Review**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 41–47, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2011.10.004>. Acesso em: jul. 2019.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2006.

TAVARES, S. F; LAMBERTS, R.. Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil. In: 8º Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 8., 2005, Maceió. **Anais[...]** Maceió, AL: ENCAC, 2005.

TEODORO, M. I. T. de M. **Energia embutida na construção de edificações no Brasil: contribuições para o desenvolvimento de políticas públicas a partir de um estudo de caso em Mato Grosso do Sul**. 2017. 234 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2017.

TODD, J. A.; CURRAN, M. A. (Org.). **Streamlined Life-Cycle Assessment: A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup**. Society of

Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and SETAC Foundation for Environmental Education, 1999.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. Introduction: the need for an evidence- informed approach. **British Journal of Management**, [s. l.], v. 14, p. 207 - 222, 2003.

UNEP. **Buildings and Climate Change: Status, Challenges and Opportunities**. [S. l]: UNEP, 2007. 87 p.

UNEP. **Buildings and Climate Change: summary for decision-makers**. [S. l]: UNEP, 2009.

UNEP. **The Emissions Gap Report 2018**. United Nations Environment Programme: Nairobi, 2018.

UNEP. **The Kyoto Protocol, the Clean Development Mechanism, and the Building and Construction Sector: a report for the UNEP Sustainable Buildings and Construction Initiative**. Paris, França: UNEP, 2008.

UNFCCC. **Conferência das Partes: Adoção do Acordo de Paris**. UNFCCC, Paris, 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/9064>. Acesso em: jan. 2020.

VICENTINO, C.; DORIGO, G. **História geral e do Brasil**. São Paulo: Scipione, 2. ed., v. 2., 2013.

VINHAL, L. D. **Estudo de indicadores ambientais de blocos cerâmicos com base em avaliação do ciclo de vida, considerando o contexto brasileiro**. 2016. 116 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2016.

WITTSTOCK, B. et al. **EeBGuide Guidance Document**. Part B: Buildings. Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative. [S.l.: s.n.], 2019.

WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE '14), 38, 2014, New York, NY, USA. **Proceedings [...]** New York, NY, USA Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>. Acesso em: out. 2020.

WOLF, C.; POMPONI, F.; MONCASTER. Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: a review and critique of current industry practice. **Energy and Buildings**, n. 140, p. 68-80, 2017.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL (WGBC). **Annual Report 2018/2019**. Londres: [s.n.], 2019.

WORLD RESOURCES INSTITUTE; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WRI; WBCSD). **Greenhouse Gas Protocol: product life cycle accounting and reporting standard.** Geneva e Washington: WRI; WBCSD, 2011.

YOKOO, N; YOKOYAMA. K. (Ed). **Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Buildings Construction (Annex 57). Overview of Annex 57 Results.** Japan: Institute for Building Environment and Energy Conservation, 2016.

Apêndice A

TRABALHOS SELECIONADOS EM 1ª ETAPA

A Tabela 7 apresenta os trabalhos acadêmicos (dissertações e teses) selecionados após a aplicação do critério de exclusão “a”, ou seja, os quais o título apresentava-se condizente com a busca.

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

CÓDIGO	REFERÊNCIA	CRITÉRIO DE INCLUSÃO	PALAVRAS CHAVE	INSTITUIÇÃO	INSTITUIÇÃO
1	Lobo (2010)	a, b, c, d, e	Sustainability. Energy analysis. Inventory of CO2 eq. Embodied energy.	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
2	Trajano (2010)	a, b, c, d, e	Life cycle assessment. Sustainable development. Social housing.	UPE	FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
3	Santos (2010)	a, b, c, d, e	Life Cycle Assessment (LCA). Construction. Particleboards.	UNESP-BAURÚ	UNIVERSIDADE EST. PAULISTA - BAURÚ
4	Nascimento (2010)	a, b, c	sustainability, life cycle cost and popular housing.	UFMG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
5	Bessa (2010)	a, b, c, d	Energy. Emissions. CO2. Façades. Life Cycle Analysis	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
6	Surgelas (2010)	a, b, c, d, e	Life Cycle Assessment (LCA), Construction and Demolition Waste (C&DW), recycling, software Umberto, sustainability.	CEFET-MG	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TÉCN. DE MINAS GERAIS
7	Nabut Neto (2011)	a, b, c, d	Embodied energy, CO2 emissions, Steel Frame, Facades.	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
8	Santos (2011)	a, b, c	Public Policies. Energy Efficiency. Buildings. Primary Energy. Fuel Gases.	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

9	Macedo (2011)	a, b, c	life cycle assessment, building systems, steel structural system	UFMG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
10	Resende (2011)	a, b, c, d	Eco-refurbishment. Environmental sustainability. Life Cycle of the buildings. Costs in construction	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
11	Leicht Neto (2011)	a, b, c	Architectural sustainability; construction.; ecological house; Sustainable construction	UNICAP	UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
12	Peluso Meier (2011)	a, b, d	embodied energy; operational energy; constructive alternatives	UFRGS	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
13	Sansão (2011)	a, b, c, d, e	Building Materials, Life Cycle Analysis, Thermal Comfort	UFMG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
14	Nascimento (2011)	a, b, c, d	construction industry, energy efficiency, life cycle	UFBA	UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
15	Sant'ana (2011)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
16	Godoy (2011)	a, b, c	CDM, Clean Development Mechanism, Institutional Economics, institutions, New Institutional Economics, NEI, carbon credit, Kyoto Protocol, carbon market	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
17	Souza (2012)	a, b, c, d	Life cycle. Mining. Sand.	UFSCar	UNIVERSIDADE DE SÃO CARLOS
18	Costa (2012) a	a, b, c, d, e	Emissões de Gases de Efeito Estufa. Materiais de Construção. Sustentabilidade.	UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
19	Helpa (2012)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
20	Monich (2012)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
21	Silva (2012)	a, b, c, d	Environmental management. Life Cycle Assessment (LCA). Environmental impact assessment. Wood-based panel. Medium density particleboard (MDP).	USP -São Carlos	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS)
22	Campos (2012)	a, b, c, d	sustainability in construction, LCA, prefabricated panels of concrete.	UFMG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
23	Gouveia (2012)	a, b, c, d	Embodied energy, CO ₂ emissions, Recycling, ACM.	UnB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
24	Neto (2012)	a, b, c	Life Cycle Management Life Cycle Assessment, Social and Environmental Impact, decision making process.	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
25	Costa (2012) b	a, b, c, d	não encontradas	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

26	Silva (2012)	a, b, c, d	housing; energy; cycle; life; social.	UFRGS	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
27	Santos (2012)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
28	Miranda (2012)	a, b, c	life cycle assessment, electricity, greenhouse gases, meta-analysis	USP -São Carlos	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS)
29	Medeiros (2012)	a, b, c, d	Analysis of life cycle inventory, ceramic industry, environmental aspects and impacts assessment, Itaqui.	UTFPR	UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
30	Carminatti Junior (2012)	a, b, c, d	Life Cycle Analysis, Embodied Energy, Light Steel Framing, Sustainability.	UFSCar	UNIVERSIDADE DE SÃO CARLOS
31	Maciel (2013)	a, b, c, d	Fachadas Ventiladas; Energia Incorporada; Avaliação de desempenho térmico; Análise Energético-Ambiental	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
32	Gama Junior (2013)	a, b, c, d	LCA, Life Cycle Assessment, CO2, render, mortar.	UFG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
33	Silva (2013)	a, b, c, d, e	Life Cycle Assessment, Construction, Energy, CO2.	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
34	Grottera (2013)	a, b, c	Redução de emissões de gases do efeito estufa. Desigualdade de renda. Matriz de Contabilidade Social	UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
35	Rossi (2013)	a, b, c, d	Life Cycle Assessment; Crushed stone; Civil Construction, Environmental impacts.	UFSCar	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
36	Reis (2013)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
37	Condeixa (2013)	a, b, c	Life Cycle Assessment. Environmental Impacts. Construction . Masonry. Drywall System.	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENS
38	Seabra (2013)	a, b	Low income housing. House sustainable. Housing policy. Popular housing in Guinea Bissau. Technological guidelines.	UFSCar	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
39	Savalli (2013)	O PPG RELATOU NÃO ENTREGA DO DOCUMENTO FINAL	O PPG RELATOU NÃO ENTREGA DO DOCUMENTO FINAL	O PPG RELATOU NÃO ENTREGA DO DOCUMENTO FINAL	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
40	Francisco (2013)	a, b, c	Green Building; Sustainable Constructions; Pollution Prevention; LEED.	UNIMEP	UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
41	Silva (2014)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

42	Bueno (2014)	a, b, c	Avaliação do Ciclo de Vida; Análise de Sensibilidade; Avaliação Quantitativa de Sustentabilidade; Desempenho Ambiental de Edificações; Sistemas Construtivos; Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida.	USP -São Carlos	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS)
43	Silva (2014)	a, b, c, d	CO2 emissions; Superstructure; Masonry and Mortar Coating.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
44	Barreto (2014)	a, b, c	Construction and Demolition Waste. Life Cycle Assessment. Life cycle Costing. Eco-efficiency.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
45	Pereira (2014)	a, b, c, d	Green roofing. CO2 emission. Embodied energy.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
46	Botelho (2014)	a, b, c	Climate change. Greenhouse gases emissions. Electricity sector. Ten-year energy planning.	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
48	Fabricio (2014)	a, b, c, d	Life Cycle Assessment. Plaster. Recycling.	IF-CE	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
49	Munarim (2014)	a, b, c, d	built heritage; architectural rehabilitation; environmental impacts; life cycle analysis.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
50	Marques (2014)	a, b, c, d	Waste Management, Construction and Demolition Waste, Asbestos, Aspects and Environmental Impacts, Life Cycle Assessment, Fiber Cement Roofing Sheets	UNISINOS	UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
51	Kawashima (2015)	a, b, c, d	Atmospheric emissions inventory, Air Pollution, Stationary sources	UTFPR	UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
52	Silva (2015) a	a, b, c	Ceramic Industry; Clean technologies; Restrictive Factors; Reducing energy consumption; Reducing Carbon Emissions.	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
53	Sombrio (2015)	a, b, c, d	Avaliação de Ciclo de Vida (ACV); Construção Racionalizada; Impactos Ambientais.; Indústria da Construção; Materiais de Construção; Tecnologia na Construção	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
54	Antonio (2015)	a, b, c	Global warming. Architecture. Electrical energy co	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
55	Berezuk (2015)	a, b, c, d	Life Cycle Assessment, Sugarcane bagasse ashes, environmental impacts, Concrete.	UEM	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
56	Pedroso (2015)	a, b, c, d	Embodied Energy, Internal and External Walls, ELCA, Sustainability.	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
57	Pereira (2015)	a, b, c, d	Environmental impacts. Concrete. Portland Cement. CO2 emissions.	UFPE	UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

58	Miller (2015)	a, b, c, d	Life Cycle Assessment, Parameterised Technological Model, Wall, Performance Requirements.	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
59	Rosado (2015)	a, b, c	construction and demolition waste; integrated solid waste management; life cycle assessment.	UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (LIMEIRA)
60	Oliveira (2015) a	a, b, c, d	Life Cycle Assessment. Sustainability. Concrete blocks. CO2 emission. Embodied energy	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
61	Silva (2015) b	a, b, c, d	ACV; Ciclo de vida; Cinza do bagaço de cana-de-açúcar; Cinza da casca de arroz.	UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
62	Oliveira (2015) b	a, b, c	Living wall systems; life cycle assessment; energy analysis, energy efficiency.	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
63	Monteiro (2015)	a, b, c, d	Technology. Energy life cycle. Sustainability. Energy efficiency. Embodied energy.	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
64	Marcos (2015)	a, b, c, d	Environmental, BIM, steel frame	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
65	Henriquez (2015)	a, b, c	Manufacturing. CO2 reduction. Multicriteria decision analysis.		UNIVERSIDADE POSITIVO - PR
66	Cardoso (2015)	a, b, c	Life Cycle Assessment, Environmental Certification of Building, Impact Assessment.		UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS)
67	Schmidt (2015)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
68	Postay (2015)	a, b, c, d	Economic index of compactness; Construction system; Social housing design, Embodied energy, CO2 emissions.	UNISINOS	UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
69	Oliveira (2015) c	a, b, c, d	Life Cycle Assessment. Sustainability. Concrete blocks. CO2 emission. Embodied energy.	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
70	Camara (2015)	a, b, c	Atmospheric pollution, emission standard, modeling, AERMOD, ceramic industries	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
71	Schelb (2016)	a, b, c	Environmental, Seals, Sustainability, Roofing Tiles and certifications.	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
72	Caldeira (2016)	a, b, c, d	thermoacoustic tile, Expanded Polystyrene, LCA, Energy	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
73	Oliveira (2016)	a, b, c, d	Life Cycle Analysis, Energy Analysis, Embodied Energy, CO2 Emissions, Wood Frame	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
74	Coelho (2016)	a, b, c, d	Self-compacting concrete (SCC). Life Cycle Assessment (LCA). Wastes. Industrial byproducts. SimaPro. Environmental impact.	UFES	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
75	Stafford (2016)	a, b, c, d	cement, LCA, Brazil, Europe.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

76	Cunha (2016)	a, b, c, d	Construction; CO2 emissions; Construction Materials; Sustainability	PUCRS	PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
77	Condeixa (2016)	a, b, c	nao encontradas	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
78	Vinhal (2016)	a, b, c, d	assessment of the life cycle (LCA); Environmental Product Declaration (EPD); Product Category Rules (PCR); ceramic bricks; environmental impacts	UFSCar	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
79	Taques (2016)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
80	Caldas (2016)	a, b, c, d, e	LCEA, LCCO2A, residential buildings, light steel framing	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
81	Bilar (2016)	a, b, c, d, e	Life cycle analysis. bottom ash. masonry wall system.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
82	Maciel (2016)	a, b, c, d, e	Global Warming; Civil Construction; Emissions CO2; Climate Changes.	Unicesumar	CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
83	Sedrez (2016)	a, b, c, d, e	Energy in buildings, Life Cycle Assessment, LCA, Life Cycle Energy Assessment, LCEA, Direct Component of the Initial Embodied Energy, Energy use in construction site.	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
84	Barros (2016)	a, b, c	LCA, BIM, embodied energy, emission GHG. Building design process and construction.	UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
85	Perfeito (2017)	a, b, c, d	Life Cycle Assessment, container, social housing, sustainability, environmental performance.	PUCRS	PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
86	Gallegos (2016)	a, b, c, d	Glass; CO2; Dynamics of Systems; Life cycle.	IETEC - MG	INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
87	Paula (2016)	a, b, c, d	Avaliação do ciclo de vida; Resíduos de construção e demolição; Materiais cimentícios suplementares; Agregados reciclados	UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
88	Bento (2016)	a, b, c, d	Environmental Performance of Buildings . Life Cycle Assessment . Impact Assessment of Life Cycle . Sustainability. Reinforced Concrete . Structural Design	USP -São Carlos	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS)
89	Oliveira (2016)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
90	Hikichi (2016)	a, b, c	Eco-label. Americas. Industries. Forecast with Box-Jenkins methodology. Statistical forecast.	UNIFAL-MG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
91	Honda (2016)	a, b, c	Construção Civil. Edifícios de Escritórios. Sustentabilidade	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

92	Sousa (2017)	a, b, c, d	Precast. DATecs. Social Habitation. Life Cycle Assessment. SimaPro.	IF-CE	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
93	Invidiata (2017)	a, b, c, d	sustainable development buildings, Life Cycle Assessment, Life Cycle Cost, energy efficiency, comfort conditions, climate change, multicriteria decision-making method.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
94	Guerra (2017)	a, b, c, d	Construction; Climate Change; Greenhouse Gases; Greenhouse Gases Budget.	UPE	UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
95	Moraga (2017)	a, b, c, d	Life cycle assessment; social housing; thermal dynamic simulation; environmental impact; civil construction; dwelling house; ISO 14040	UFRGS	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
96	Lira (2017)	a, b, c, d, e	LCA, green roof, abiotic depletion, global warming.	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
97	Silva (2017) a	a, b, c, d	Life cycle assessment; Environmental impacts; Red ceramic.	UEM	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
98	Silva (2017)	a, b, c	Global warming. Climate changes. Neutralization of CO2. Mitigation of GHG emissions. Atmospheric pollution	UFAL	UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
99	Cosentino (2017)	a, b, c	Sustainability. Sustainable construction. Environmental Certification. Project guidelines.	UFJF	UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
100	Saade (2017)	a, b, c	life cycle assessment; multifunctional processes; allocation; avoided burden; cement; concrete.	UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
101	Teodoro (2017)	a, b, c, d, e	Embodied Energy; Life Cycle Energy Assessment; Energy Efficiency; Buildings; Public Policies.	USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
102	Evangelista (2017)	a, b, c, d, e	Life Cycle Assessment; Civil Construction; Environmental Performance	UFBA	UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
103	Rodrigues (2017)	a, b, c	Life Cycle. Post-occupation Evaluation. Social Interest Housing. Factors Method	UFPE	UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
104	Fischer (2017)	a, b, c	technical durability, functional durability, social housing, adaptability, life cycle energy assessment.	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
105	Santos (2018)	a, b, c	Eco-efficiency, Life cycle, Product building, Brazilian Nuclear Program, Public works	UFF	UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
106	Bier (2018)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA
107	Acuna (2018)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

108	Pilger (2018)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
109	Tudeschini (2018)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
110	Hamann (2018)	a, b, c	Comparison of Results between EIA and LCA. Environmental Impact Assessment. Shortcomings in Environmental Studies. Transmission Lines. Life Cycle Assessment.	UDESC	UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
111	Braga (2018)	a, b, c, d	LCA; Global warming potential; Concrete walls; Social housing; Sustainability.	UNB	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
112	Mahecha (2018)	a, b, c, d	Nearly Zero Energy Buildings; Developing countries; Energy efficiency; On-site renewable technologies	UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
113	Brugnera (2018)	REVISAR	Energy Efficiency, Environmental Impacts, Life Cycle Assessment, MARS-SC, Cost Optimum Analysis.	USP -São Carlos	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS)
114	Vacelkoski (2018)	a, b, c	Energy consumption. Post-operational. Buildings. Linear economy. Circular economy.	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
115	Sartori (2018)	a, b, c, d	Retrofit. Envelope performance. Life Cycle Energy Assessment. Target Brazilian Program Edifica. Simulation.	UFES	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
116	Guimarães (2018)	a, b, c, d	life cycle assessment; whole buildings; uncertainty; sensitivity analysis, scenario analysis.	UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
117	Serraglio (2019)	a, b, c, d	Life cycle analysis. Economic feasibility analysis. Container house. Houses of social interest.	UPF	FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
118	Feliciano (2019)	a, b, c, d	Life cycle assessment; aluminum profiles; material flow.	UNESC	UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
119	dos Santos (2019)	Documento Embargado até 2021	Documento Embargado até 2021	Documento Embargado até 2021	UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
120	Baiochi (2019)	a, b, c	life cycle assessment, buildings, uncertainty analysis, parameter uncertainty	UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
121	Hargreaves (2019)	a, b, c	Emissões fugitivas. Gases de Efeito Estufa. Indústria de petróleo e gás natural. Cenários de mitigação	UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
122	Mathias (2019)	a, b, c	Energy-intensive industries; Energy analysis, Energy efficiency; Energy and water consumption; GHG emission.	UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
123	Leite (2019)	a, b, c, d	Ornamental Rocks. Cutting Waste. Polishing Waste. Mortars. Life Cycle Assessment (LCA)	UNESP	UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (BAURU)

Tabela 7 – Trabalhos acadêmicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

					(conclusão)
124	Piva (2019)	a, b, c, d	Sustainability. LCEA. LCCO2AQ. Residential single-family housing.	UNISINOS	UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
125	Madeira (2019)	a, b, c, d	Avaliação do ciclo de vida (ACV); Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE); Retrofit; Desempenho ambiental; Desempenho térmico envoltória; Sustentabilidade de edificações	UFES	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
126	Rosado (2019)	a, b, c	construction and demolition waste; life cycle assessment; mineral fraction; recycling; management	UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (LIMEIRA)
127	Morales (2019)	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	NÃO ENCONTRADA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
128	Azevedo (2019)	a, b, c, d	Building Information Modelling. Life Cycle Assessment. Wood frame. Revit. OpenStudio.	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
129	Pupin (2019)	a, b, c	Photovoltaic Energy, LCA, Environmental Impacts, Photovoltaic Panels.	UNIFEI-MG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
130	Pessoa (2019)	a, b, c, d	Greenhouse gases. Life cycle assessment. Constructive methods. CO2 emissions.	UPE	UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
131	Miranda (2019)	a, b, c	Photovoltaic module, Recycling, Life Cycle Analysis, Electro-electronic waste, Environmental impact.	UNIFEI-MG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
132	Ramos (2019)	a, b, c, d	Life cycle assessment. Conventional masonry. Light wood framing. Light steel framing. Environmental impacts.	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SW	Monich (2012)	a, b, c, d	Embodied energy, embodied carbon, social housing, prefabricated wood houses, environmental assessment and Wood Frame system.	UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SW	França (2016)	a, b, c, d	Climate Change. Emissions Inventory. Greenhouse Gases. Measure Compensatory.	UFRJ	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
SW	Montes (2016)	a, b, c, d	social housing, integrated approach in the energy life cycle, thermal and energy performance, climate change.	UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
SW	Silva (2017) c	a, b, c, d	Sustainability, energy efficiency, civil construction	UNIOESTE	UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ

Fonte: A autora.

A Tabela 8 apresenta os artigos científicos selecionados após a aplicação do critério de exclusão “a”, ou seja, os quais o título apresentava-se condizente com a busca.

Tabela 8 – Artigos científicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

CÓDIGO	REFERÊNCIA	CRITÉRIO DE INCLUSÃO	PALAVRAS CHAVE	INSTITUIÇÃO
2	Arioli et al. (2020)	a, b, c	CO2 emissions; Cities; Climate change; GHG inventory methods; Transport sector; Transport-related data	UFRGS
3	Huarachi et al. (2020)	a, b, c	Brick; Building materials; Life cycle assessment; Sustainability; Sustainable building; Sustainable construction	UTFPR
4	Leão et al. (2020)	a, b, c	Carbon accounting; City; Climate action plans; Climate change; Consumption-based carbon accounting; GHG emissions inventories gaps; Production-based carbon accounting	UFRGS, UFBA, FGV
5	Lima et al. (2020)	a, b, c	Agreement; COP21; Emissions; Energy; Greenhouse gases; Renewable	IFF
6	Morales et al. (2020)	a, b, c	Building life cycle assessment; Life cycle inventory; Monte Carlo simulation; Replacement stage; Service life; Uncertainty analysis	UFRGS
7	Virgens, Andrade e Hidalgo (2020)	a, b, c	Brazil; Carbon footprint; Compound method based on financial accounts (MC3); Prosecution service; Public agency	UFBA
8	Almeida et al. (2019)	a, b, c	Brazilian companies; Environmental management; Life cycle assessment; Life cycle thinking	UFSC
9	Rugani et al. (2019)	a, b	benefit; cascade model; cause-effect chain; ecosystem services; life cycle assessment (LCA); valuation	USP-São Carlos
10	Gomes et al. (2019)	a, b, c, d, e	Portland Cement, Geopolymer Cement, Life Cycle Assessment, Carbon Emissions, Construction Sustainability	UFPB
11	González-Mahecha et al. (2019)	a, b, c	NÃO ENCONTRADO	UFRJ
12	Hammad et al. (2019)	a, b	Construction method selection; Embodied energy; Modular construction; Off-site prefabrication; Sustainable construction	UFRJ
13	Hdom (2019)	a, b, c	ARDL; CO2 emissions; Economic growth; Fossil & RE electricity; South America	CAPES
14	Morales et al. (2019)	a, b, c, d	Life cycle assessment (LCA) Life cycle inventory Data regionalization Public housing Social housing	UFRGS
15	Morini, Ribeiro e Hotza (2019)	a, b	CO2 emission; Carbon footprint; Embodied energy; Life Cycle Assessment; Materials selection; Product development	UFSC, IFSC
16	Muller et al. (2019)	a, b, c	Building Information Modeling; Interoperability; Multicriteria decision method; Sustainability; Systematic literature review	PUC-PR
17	Najjar et al. (2019)	a, b, c	Building information modeling; Energy consumption; Environmental impacts; Life cycle assessment; Sustainable construction	UFRJ

Tabela 8 – Artigos científicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

18	Obata et al. (2019)	a, b, c	Brazil; Green building rating systems; LEED; Sustainable buildings	UNIP, FAAP, MACKENZIE
19	Ramos, De Paula Lacerda Santos e Maceno (2019)	a, b, c	Comparative. Conventional construction. Prefabricated. Life Cycle Assessment. Environmental impact.	UFPR
20	Rocha e Caldeira-Pires (2019)	a, b, c	Brazil; Emerging economy countries; Environmental product declaration; Product environmental footprint; SWOT analysis	UFRJ, UNB
21	Rosado et al. (2019)	a, b, c	Construction and demolition waste; Life cycle assessment; Management; Mineral fraction; Recycling	UNICAMP
22	Sartori e Calmon (2019)	a, b, c, d, e	Retrofit; LCEA; Embodied energy; Operational energy; Simulation	UFES
23	Sauer e Calmon (2019)	a, b	Life cycle assessment; buildings; literature review; gaps	UFES
24	Silva et al. (2019)	a, b, c	GaBi; LCA comparative assessment; OpenLCA; SimaPro; Software tool; Umberto®	UFSCar, UFRN, UTFPR, IBICT
25	Albuquerque, Lira e Sposto (2018)	a, b, c, d, e	Mortar.Coating system. CO2 emissions. ACVCO2	UNB
26	Azevedo, Sartori e Campos (2018)	a, b, c	BRICS countries; CO2 emissions; Economic growth; Environmental indicators; GDP; Gross domestic product	UFSC e UNIFEFE
27	Bueno e Fabrício (2018)	a, b, c, d, e	BIM-LCA integration tools; Building information modelling; Environmental assessment of buildings; Life cycle assessment	USP/São Carlos e USP
28	Bueno, Pereira e Fabrício (2018)	a, b, c	Building information modelling; decision-making; environmental simulation; life cycle assessment; visual programming	USP/São Carlos e USP
29	Crippa et al. (2018)	a, b, c, d, e	Assessment; BIM; Building life cycle; Carbon footprint; Sustainability; Sustainable buildings; Sustainable design	UFPR
30	Evangelista et al. (2018)	a, b, c, d, e	Environmental performance; Life cycle assessment; Residential buildings	UFBA
31	Giannetti et al. (2018)	a, b, c	Brazilian construction industry; Energy; Social housing; Sustainable construction	UNIP e UEMA
32	Gomes et al. (2018)	a, b, c, d, e	CED; GWP; Embodied impacts; Lifecycle assessment; Net zero buildings	UFES e UNICAMP
33	Imoniana, Soares e Domingos (2018)	a, b, c	Compliance; Discourse analysis; Emission reduction credit; Regulating bodies; Standards; Sustainability accounting	USP, UMESP, FATECs
34	Medeiros, Durante e Callejas (2018)	a, b, c, d, e	Environmental impacts. Constructive systems. Sensitivity analysis.	UFMT, IFMT

Tabela 8 – Artigos científicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

35	Miller et al. (2018)	a, b, c	Alkali-activated materials; Alternative cementitious materials; Bagged cement; Bulk cement; Calcined clays; Carbon dioxide emissions; Fillers; Global mitigation strategies	USP
36	Seles et. al. (2018)	a, b, c	Big data; Climate change; Environmental management; Global warming; Sustainable operations	UNESP, PUC-RJ
37	Silva, Gomes e Saade (2018)	a, b, c, d	life cycle assessment, breakwaters, alkali activated binders, blast furnace slag. Resumo	UFES, UNICAMP
38	Vieira, Nogueira e Haddad (2018)	a, b, c	Avoided emissions; Brazil; Energy efficiency; Energy savings; Load curve; Methodology	UNIFEI (MG)
39	Zanghelini, Cherubini e Soares (2018)	a, b, c	Decision-making; Interpretation; LCA; Life Cycle Assessment; MCDA; Multi-Criteria Decision Analysis	UFSC
40	Alencar, Priori Jr. e Alencar (2017)	a, b, c	Built environment; Sustainability; Sustainable construction; Value-Focused Thinking (VFT)	UFPE
41	Bicalho et al. (2017)	a, b, c	Data quality; Environmental accounting; LCA; Management tools	USP
42	Caldas et al. (2017)	a, b, c, d, e	ACVCO2. Habitações de interesse social. Desempenho térmico. Diretrizes de projeto	UNB
43	Caldas e Sposto (2017)	a, b, c, d, e	CO2 emissions. Transportation. Structural masonry. Brazil.	UNB
44	de Simone Souza et al. (2017)	a, b, c	Factorial method; Life cycle assessment; Life span; Maintenance; Wooden pole	UFBA, IFBA
45	Fastofski, González e Kern (2017)	a, b, c	Building certifications; Environmental rating system; Housing; Selo Casa Azul; Sustainable construction	UNISINOS, FSG
46	Häfliger et al. (2017)	a, b	Environmental product declaration; LCA; Module D; System boundary; Uncertainty	UNICAMP
47	Najjar et al. (2017)	a, b, c, d, e	Building energy; Building information modeling; Environmental impacts; Life cycle assessment; Sustainable building	PUC-RJ, UFF
48	Neves, Salgado e Beijo (2017)	a, b, c	American continent; Economic; Environmental and cultural factors; ISO 14001; Issuance of certificates; Multiple regression model	UNIFAL-MG
49	Oliveira e Bourscheidt (2017)	a, b, c	Cross-country panel data; Greenhouse gas emissions; Multi-sectorial convergence	UFSC, UFFS
50	Piekarski et al. (2017)	a, b, c, d, e	Comparative LCA; Environmental management; Hotspots analysis; Wood sector; Wood-based panels	UTFPR, UFSCar
51	Rosado et al. (2017)	a, b, c, d, e	Construction and demolition waste; Life cycle assessment; Natural aggregate; Recycled aggregate	UNICAMP

Tabela 8 – Artigos científicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

52	(De) Souza, Barbastefano e Teixeira (2017)	a, b, c	Interdisciplinarity; Life cycle assessment; Research groups; Scientific collaboration	CEFET-RJ, CENPES/PETRO BRÁS
53	Zeule et al. (2017)	a, b, c	Carbon dioxide equivalent emission; Decision making method; Life Cycle Assessment; Sustainability; Tiles	UFSCar
54	Bissoli-Dalvi et al. (2016)	a, b, c	Assessment instruments; Construction materials; Materials selection; Sustainability; Window	UFES
55	Bueno et al. (2016)	a, b, c, d, e	LCIA methods; Life Cycle Assessment; Life Cycle Impact Assessment; Sensitivity analysis	USP
56	Cherubini et al. (2016)	a, b, c	Climate change; Emission metrics; Global warming potential (GWP); Life cycle assessment (LCA)	CTBE/CNPEM
57	Colling et al. (2016)	a, b, c, d	Energy saving; Green House Gas; Recycling; Reduction emissions	UFRJ, IME
58	Lassio e Haddad (2016)	a, b, c	life cycle assessment; building materials; civil construction; environmental impacts, sustainability.	UFRJ
59	Lassio et al. (2016)	a, b, c	Resumen	UFES, PUC-RJ
60	Levasseur et al. (2016)	a, b, c	Climate change; Climate metric; Life cycle assessment (LCA); Near-term climate forcer; Well-mixed greenhouse gas	CTBE/CNPEM
61	Maia de Souza et al. (2016)	a, b, c, d, e	Brazil; Ceramic bricks; Concrete blocks; IMPACT 2002+; Life cycle assessment; SimaPro	ANICER
62	Marques, Gomes e Kern (2016)	a, b, c, d, e	Construction and demolition waste. Asbestos. Roofing sheets. Aspects and environmental impacts. Life cycle assessment.	UNISINOS
63	Oliveira, Pacca e John (2016)	a, b, c	CO2 emissions; Concrete blocks; Cumulative energy demand; Simplified Life Cycle Assessment; Variability	USP
64	Penteado e Rosado (2016)	a, b, c	CDW recycling; Construction and demolition waste; construction waste management; life cycle assessment; life cycle inventory	UNICAMP
65	Sanches-Pereira, Tudeschini e Coelho (2016)	a, b, c, d, e	Brazil; Carbon footprint; Direct energy consumption; Household energy requirement; Residential energy consumption	USP
66	Santoro e Kripka (2016)	a, b, c	Concrete. CO2. Emissions. Raw materials. Extraction. Production. Transportation.	UPF, IFSul-PF
68	Vieira, Calmon, Coelho (2016)	a, b	Concrete; Environmental impact; Life cycle assessment; Sustainable construction	UFES
69	Ajmi et al. (2015)	a, b	CO2 emissions; Causality; Energy consumption; GDP; Inverted N-shaped EKC	UFABC
70	Brás e Gomes (2015)	a, b	Cork mortars; Embodied Energy; Green solutions; LCA; Mortar service life; Sustainability; Thermal rehabilitation building envelope	UNICAMP

Tabela 8 – Artigos científicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(continua)

71	de Melo e de Martino (2015)	a, b, c	Energy efficiency CO2 emissions Buildings Policy mechanisms Brazil	UNICAMP
72	Mendes, Bueno e Ometto (2015)	a, b	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida. Métodos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida	USP-São Carlos
73	Oliveira, Melhado, Vittorino (2015)	a, b, c	technological selection, performance, environmental requirements, façade, sustainability and building project	IPT, USP
74	Borges et al. (2014)	a, b, c, d, e	Geopolymer. Concrete. Portland Cement. Sustainability. Life Cycle Assessment.	CEFET-MG
75	Borsato (2014)	a, b, c	Data semantics; Information sharing; Ontology; Product lifecycle management; Sustainability in manufacturing; Sustainable manufacturing	UTFPR
76	Calili et al. (2014)	a, b, c	Geometric Brownian motion; Hydrothermal power system; Stochastic dual dynamic programming	PUC-RJ, UFJF
77	De Castro et al. (2014)	a, b, c	Building lifespan; Greenhouse gas; Life cycle assessment; Materials lifespans	UFJF
78	Condeixa, Haddad e Boer (2014)	a, b, c	Building materials; CML2001; Life Cycle Impact Assessment; Masonry	UFF, UFRJ
80	Filleti et al. (2014)	a, b, c	Environmental performance assessment; Life cycle impact assessment; Manufacturing process; Sustainable manufacturing	USP-São Carlos
81	Harvey et al. (2014)	a, b	Building energy intensity; Building energy use	USP
83	Passuelo et al. (2014)	a, b, c, d	alternative clinker; carbon footprint; life-cycle assessment; portland clinker	UFRGS
84	Quattrone, Ângulo e John (2014)	a, b, c	CDW recycling; Energy consumption; Environmental impact; High quality RCA; Recycled concrete aggregates (RCA)	USP
85	Rossi e Sales (2014)	a, b, c, d, e	Carbon dioxide equivalent; Coarse aggregate; Construction materials; Global warming; Power consumption	UFSCar
86	Saade et al. (2014)	a, b, c, d, e	Water, Indicators, Carbon, Ecoefficiency, Embodied energy, Material Paper	UNICAMP, UFES
87	Braga, Braga e Braga (2013)	a, b, c	Buildings; Energy monitoring and tracking; Multichannel; Statistical process control; Structure	UFMG
88	(De) Melo, Jannuzzi, Tripodi (2013)	a, b, c	Energy efficiency; Policy mechanisms; Renewable energy sources	UNICAMP
89	Nagalli (2013)	a, b, c	construction and demolition waste; waste management; sustainability	UTFPR

Tabela 8 – Artigos científicos que não atenderam ao critério de exclusão “a”.

(conclusão)

90	Neto e De Farias (2013)	a, b	Civil construction; Environmental impact; LCA; LCCA; Life cycle analysis; Life cycle cost analysis; Social analysis of the life cycle; Sustainable construction	UFF
91	Oliveira, Silva e Gomes (2013)	a, b, c	concrete; flooring system; life cycle indicator; structural frame; sustainability assessment	UFES, UNICAMP
92	Paulen e Sposto (2013)	a, b, c	Brazil; Case study; Embodied energy; Life cycle assessment; Life cycle energy; Operating energy; Residential building; Social housing	UNB
93	Piekarski et al. (2013)	a, b, c	Business management; Corporate entrepreneurship; Green innovation; Internal entrepreneurship; Life cycle assessment (LCA); Sustainability	UTFPR
94	Santos, Fagá e Santos (2013)	a, b, c	Buildings; Energy efficiency policy; Primary energy	USP
95	Willers, Rodrigues e da Silva (2013)	a, b, c	Avaliação do ciclo de vida. Avaliação de impacto. ISO 14040. Pesquisa bibliográfica.	UESB
96	Rola et al. (2012)	a, b, c	Naturation; Non-energy-intensive materials; Reduction of greenhouse gas emissions ('GGEs'); Sustainability of constructions	IVIG
97	Taborianski e Prado (2012)	a, b, c, d	Building façade; CO2 emissions; Life cycle assessment	USP
98	Lampreia et al. (2011)	a, b, c	Low carbon technologies; Perspectives for Brazilian energy matrix; Technology perspectives	UFRJ
99	(Ossés de) Eicker et al. (2010)	a, b, c	Brazil; Database; Ecoinvent; Fertilizer; Industry; LCI; LCIA; Latin America	SENAC-SP
100	Henriques, Dantas e Schaeffer (2010)	a, b, c	CO2 emissions; Industrial sector; Low-carbon scenario	INT, UFRJ
101	Surgelas, Marques e Rodrigues (2010)	a, b, c	Environmental performance of buildings; Life cycle analysis	CEFET-MG

Fonte: A autora.

Apêndice B

FORMULÁRIO DE EXTRAÇÃO DE DADOS A PARTIR DE EXEMPLO

O Quadro 7 apresenta o formulário de extração de dados dos estudos selecionados, a partir de exemplo com quatro publicações, sendo elas três dissertações de diferentes classificações de qualidade e um artigo científico.

Quadro 7 – Formulário de extração de dados das publicações finais.

CDG	REFERÊNCIA	QLDD (trab.)	CRITÉRIOS INCLUSÃO	ELABORAÇÃO	COMPREENSÃO	BREVE RESUMO - referente ao escopo desse estudo	METODOLOGIA	JUSTIFICATIVA DE ESCOLHA DE METODOLOGIA	ETAPAS CONSIDERADAS	UTILIZA SOFTWARE	MÉTODO DESCRITIVO	BANCO DE DADOS de EE ou GEE	OBSERVAÇÃO DO BANCO DE DADOS	CONSIDERA PERDAS DE MATERIAL	UNIDADE ENERGIA (EM BUTIVA)	UNIDADE FUNCIONAL	LOCAL DE APLICAÇÃO	OBJETO DE PESQUISA	OBJETO DE PESQUISA	ENERGIA EMBUTIDA	OBTENÇÃO DA ENERGIA EMBUTIDA	UNIDADE DE MATERIAL	CICLO DE VIDA CONSIDERADO	GEE	OBTENÇÃO GEE	ANÁLISE DE INCERTEZA	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	OBSERVAÇÕES FINAIS
2	Trajano (2010)	Aplicação da ACV deixa a desejar	a, b, c, d, e	n/a	Avalia impactos causados ao ambiente na produção de blocos de concreto em indústria de pré-moldados local.	Comparação de ACV - com avaliação de impactos ambientais- resultante da utilização de dados locais e da ferramenta SimaPro para definição do perfil ambiental de blocos de concreto (9x19x39 cm) (fabricação)	ACV	Não apresenta a justificativa pelo método. Cita a possibilidade de analisar os impactos ambientais.	Transporte das matérias primas até a indústria e indústria. Extração e fabricação de matéria prima não consideradas. Sem mão de obra.	SimaPro	Sim	Indústria e literatura	Entradas: Subsistema 1- transporte das matérias-primas até a indústria; Subsistema 2 - produção de blocos na indústria; Subsistema 3 - Embalagem e estocagem de material;	Não	n/a	m²	Camaragibe, Recife	Bloco de Concreto	Bloco de concreto _ 100 unidades habitacionais (unidade funcional)	Não há referência para EE.	Não há referência para EE.	Unidade para cada "entrada" em 1.	n/a	CO2, NOx, SO2 e particulados (calculados para a fase de transporte por meio da literatura)	Prescritivo: Subsistema 1: consumo de combustível; Subsistema 2: energia elétrica necessária para equipamentos, iluminação no pátio (origem hidroelétrica). Subsistema 3: não há menção. SimaPro: mesmas quantidades, adaptando material ou processo aos dados pré-existentes do programa.	Não	Não	NOx, SO2 e particulados: foram estimados para a fase de transporte com dados da literatura --> (CETESB,1999).
18	Costa (2012) a		a, b, c, d, e	Método	Estima CO2 de uma residência através de metodologia elaborada pelo próprio autor: QE-CO2	Elaboração de método prescritivo de estimativa de CO2 de materiais da construção civil e aplicação em estudo de caso.	QE-CO2	Formula nova metodologia para o contexto brasileiro, através de fórmula geral, em 3 níveis de complexidade, com base no IPCC, UNFCCC, governo brasileiro, literatura, associações e fabricantes.	Extração, transporte, processamento e transporte até a obra.	Não	Sim	Nacionais e internacionais.	Dados relativos a energia utilizada: Brasil - governo.	Sim	n/a	n/a	Rio de Janeiro, RJ	Materiais da construção	Materiais - Estudo de caso em Edificação residencial HIS	Não há referência para EE.	Não há referência para EE.	várias	n/a	t CO2	Equações elaboradas pelo autor.	Não	Não	Os materiais que tiveram suas emissões calculadas foram aço, agregados, argamassa, cerâmica, cimento, concreto, madeira, plástico (PVC) e vidro.
45	Pereira (2014)		a, b, c, d, e	n/a	Estima o CO2 da fabricação dos materiais por meio de discriminação dos insumos energéticos primários, de acordo com Tavares.	Contabilização do conteúdo energético e emissões de CO2 de coberturas verdes, fibrocimento e telhas cerâmicas em edificação em POA e SM.	ACVE para ACVCO2	Sperb (2000), Tavares (2006), Oliveira (2009) e Baldessar (2012).	Extração da m-p, produção, transporte, e transporte de trabalhadores durante execução.	Não	Sim	Levantamento, governo e literatura (Tavares, 2006).	Dados para o transporte de Bartholomeu, 2006) com base em GHG Protocol Mobile Guide (2005). Considera o transporte da mão de obra nas estimativas de emissões.	Não	MJ/kg	Área das coberturas	Santa Maria e Porto Alegre	Cobertura verde, telhas cerâmicas e fibrocimento	Cobertura de edificações multifamiliares	MJ/kg	Tavares (2006)	kg	n/a	kgCO2	Pela emissão de kg CO2 por cada MJ de fontes de energia primária utilizadas para a produção de cada material. Tavares, Lamberts (2008)	Não	Não	x
10	Gomes et al. (2019)	Artigo Científico	a, b, c, d, e	n/a	Emissões pelo GWP-100Y	Comparação de 2 composições de fundação para residência, com traço tradicional e com geopolímero.	ACV	to quantify and analyze the environmental impacts associated with a life cycle, or specific stage of a product, process, or activity.	cradle-to-gate (da extração da matéria prima até a construção)	SimaPro	Não	Ecoinvent	método de impacto- IPCC GWP-100Y	n/a	n/a	1m³	João Pessoa	concreto convencional e geopolímero	Edificação unifamiliar médio padrão	n/a	Não há referência para EE.	m³	n/a	kg CO2 eq/ m³	Ecoinvent	Não	Não	convencional: 40MPa aos 28 dias. CPII-E Portland cement-based concrete - cimento, brita calcária, areia, água.

Fonte: A autora.

Apêndice C

TRABALHOS FINAIS

A Tabela 9 apresenta a referência bibliográfica e numeração dos trabalhos selecionados pela RSL após a aplicação dos critérios de elegibilidade.

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

CDG	REF.	Q L	CRIT.	S E X O	REFERÊNCIA	D/T
1	Lobo (2010)		a, b, c, d, e	O	LOBO, F. H. R. Inventário de emissão equivalente de dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviços em obras públicas: estudo de caso no estado do Paraná. 2010. 212 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.	D
2	Trajano (2010)		a, b, c, d, e	A	TRAJANO, Lícia. Avaliação do ciclo de vida dos produtos derivados do cimento para habitações de interesse social. 2010. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Pernambuco, Recife, PE, 2010.	D
3	Santos (2010)		a, b, c, d, e	A	SANTOS, Maria Fernanda Nóbrega dos. Análise dos impactos na construção civil: Avaliação do ciclo de vida em chapas de partículas para forros. 2010. 151 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2010.	D
5	Bessa (2010)		a, b, c, d, e	A	BESSA, Vanessa Montoro Taborianski. Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios. 2010. 286 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.	T
6	Surgelas (2010)	D O C. P A R C I A L	a, b, c, d, e	O	SURGELAS, Vladimir. Inventário do ciclo de vida dos processos de produção do bloco cerâmico e bloco de resíduos de construção e demolição (RCD): Estudo de caso em Belo Horizonte. 2010. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010.	D

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

7	Nabut Neto (2011)		a, b, c, d, e	O	NABUT NETO, Abdala Carim. Energia incorporada e emissões de CO2 de fachadas. Estudo de caso do <i>Steel Frame</i> para utilização em Brasília. 2011. 157 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, DF, 2011.	D
13	Sansão (2011)		a, b, c, d, e	A	SANSÃO, Júlia Hallack. Análise ambiental de alvenarias em blocos: uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias. 2011. 116 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011.	D
14	Nascimento (2011)		a, b, c, d, e	O	NASCIMENTO, Maurício Andrade. Metodologia de levantamento energético com base na análise de ciclo de vida na construção civil: Estudo de caso no centro interdisciplinar de energia e ambiente da Universidade Federal da Bahia. 2011. 211 p. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2011.	T
17	Souza (2012)		a, b, c, d, e	A	SOUZA, Ariane de. Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto - SP. 2012. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.	D
18	Costa (2012) a		a, b, c, d, e	O	COSTA, B. L. de C. da. Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil. 2012. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, COPPE- Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2012.	D
21	Silva (2012) a		a, b, c, d, e	O	SILVA, Diogo Aparecido. Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil. 2012. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), [s. l.], 2012.	D
22	Campos (2012)		a, b, c, d, e	O	CAMPOS, Felipe Henrique Azevedo. Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. 2012. 123 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2012.	D
23	Gouveia (2012)		a, b, c, d, e	A	GOUVEIA, Graziela Moreno Monteiro Martins. Análise Energético-Ambiental de fachadas com foco na reciclagem. Estudo de caso com painéis de alumínio composto "ACM" em Brasília. 2012. 169 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.	D
26	Silva (2012) b		a, b, c, d, e	O	SILVA, Luciano Pires da. Análise do ciclo de vida energético de habitações de interesse social. 2012. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.	D
30	Carminatti Junior (2012)		a, b, c, d, e	O	CARMINATTI JUNIOR, Riberto. Análise do ciclo de vida energético de projeto de habitação de interesse social concebido em <i>light steel framing</i>. 2012. 164 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.	D
31	Maciel (2013)		a, b, c, d, e	A	MACIEL, Ana Carolina Fernandes. Energia incorporada de fachadas ventiladas. Estudo de caso para edificação habitacional em Brasília-DF. 2013. 147 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.	D

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

32	Gama Junior (2013)		a, b, c, d, e	O	GAMA JUNIOR, Antônio Claret de Almeida. Diretrizes com base em avaliação do ciclo de vida para redução de emissão de dióxido de carbono em revestimentos de argamassa. 2013. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2013.	D
33	Silva (2013)		a, b, c, d, e	A	SILVA, Bruna Vicente da. Construção de ferramenta para avaliação do ciclo de vida de edificações. 2013. 146 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.	D
35	Rossi (2013)		a, b, c, d, e	A	ROSSI, Efigênci. Avaliação do ciclo de vida da brita para a construção civil: Estudo de caso. 2013. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2013.	D
43	Silva (2014)		a, b, c, d, e	A	SILVA, Eduardo Silva e. Inventário de gases de efeito estufa na etapa de construção de edificações residenciais multifamiliares da região da Grande Florianópolis (SC). 2014. 230 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.	D
45	Pereira (2014)		a, b, c, d, e	O	PEREIRA, Marcos Fabricio Benedetti. Conteúdo energético e emissões de CO2 em coberturas verdes, de telha cerâmica e de fibrocimento: estudo de caso. 2014. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.	D
48	Fabricio (2014)		a, b, c, d, e	A	FABRÍCIO, Tailena Naiara Rodrigues. Avaliação preliminar do ciclo de vida do gesso utilizando o software simapro. 2014. 85 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) - Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2014.	D
49	Munarim (2014)		a, b, c, d, e	O	MUNARIM, Ulisses. Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado: Análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. nova construção. 2014. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2014.	T
50	Marques (2014)		a, b, c, d, e	O	MARQUES, Vinícius Martins. Avaliação de aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com e sem amianto. 2014. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2014.	D
53	Sombrio (2015)		a, b, c, d, e	A	SOMBRIO, Catarina Moraes de Oliveira. ACV de painéis de blocos cerâmicos e concreto armado: um exercício de aplicação do manual do ILCD. 2015. 138 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.	D
55	Berezuk (2015)		a, b, c, d, e	A	BEREZUK, Francielle Delabio. Avaliação do ciclo de vida do concreto convencional com cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial da areia. 2015. 133 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2015.	D
56	Pedroso (2015)		a, b, c, d, e	O	PEDROSO, Gilson Marafiga. Avaliação de ciclo de vida energético (ACVE) de sistemas de vedação de habitações. 2015. 228 p. Tese (Doutorado em Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015).	T
58	Miller (2015)		a, b, c, d, e	A	MILLER, Katia Broeto. Modelo parametrizado de ACV: aplicação em sistemas construtivos com estudo de caso em vedações verticais. 2015. 273 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.	T

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

60	Oliveira (2015) a		a, b, c, d, e	A	OLIVEIRA, Lidiane Santana. Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação. 2015. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.	D
61	Silva (2015) b		a, b, c, d, e	A	SILVA, Livia Corrêa. Avaliação de ciclo de vida de concretos com substituição parcial de cimento por cinzas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz. 2015. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015.	D
63	Monteiro (2015)		a, b, c, d, e	O	MONTEIRO, Marcelo Barbosa. Avaliação do ciclo de vida energético do sistema de painéis de aço isotérmico aplicados em edifícios no contexto bioclimático. 2015. 160 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.	D
64	Marcos (2015)		a, b, c, d, e	A	MARCOS, Micheline Helen Cot. Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM. 2015. 144 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2015.	T
68	Postay (2015)		a, b, c, d, e	A	POSTAY, Renata. Correlação entre compactidade, energia incorporada e emissões de CO₂, em projetos de habitação de interesse social. 2015. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2015.	D
72	Caldeira (2016)		a, b, c, d, e	A	CALDEIRA, Débora Mara. Avaliação do ciclo de vida energético na fase de pré-uso de telhas termoacústicas com poliestireno expandido para edificação habitacional no DF. 2016. 187 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.	D
73	Oliveira (2016)		a, b, c, d, e	A	OLIVEIRA, Eloise De. Contribuição para análise do ciclo de vida no ambiente construído visando a energia e o CO₂ embutidos no sistema construtivo wood frame. 2016. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2016.	D
74	Coelho (2016)		a, b, c, d, e	O	COELHO, Felipe Zanellato. Avaliação do ciclo de vida cradle-to-gate de traços de concretos autoadensáveis com incorporação de resíduos e subprodutos industriais. 2016. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2016.	D
75	Stafford (2016)		a, b, c, d, e	A	STAFFORD, Fernanda do Nascimento. Desempenho ambiental da indústria de cimento portland por meio da avaliação de ciclo de vida: três estudos de caso. 2016. 139 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.	T
76	Cunha (2016)		a, b, c, d, e	A	CUNHA, I. B. da C. Quantificação das emissões de CO₂ na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais. 2016. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2016.	D
78	Vinhal (2016)		a, b, c, d, e	A	VINHAL, Laís David. Estudo de indicadores ambientais de blocos cerâmicos com base em avaliação do ciclo de vida, considerando o contexto brasileiro. 2016. 116 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2016.	D
80	Caldas (2016)		a, b, c, d, e	O	CALDAS, Lucas Rosse. Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO₂ de uma edificação habitacional unifamiliar de light steel framing. 2016. 174 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.	D

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

81	Bilar (2016)		a, b, c, d, e	A	BILAR, Maíra Miguel. Análise do ciclo de vida de um sistema vertical de vedação com adição de cinza pesada . 2016. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.	D
82	Maciel (2016)		a, b, c, d, e	O	MACIEL, Marco Aurélio Diniz. Levantamento de inventário de emissões de gases de efeito estufa em obra da indústria da construção civil em Maringá/PR . 2016. 116 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Limpas) - Centro Universitário de Maringá, Maringá, PR, 2016.	D
87	Paula (2016)		a, b, c, d, e	O	PAULA, Raphael Rodrigues de. Avaliação do ciclo de vida (ACV) de argamassas e concretos produzidos com resíduos de construção e demolição (RCD) . 2016. 155 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.	D
88	Bento (2016)		a, b, c, d, e	O	BENTO, Ricardo Couceiro. Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da avaliação do ciclo de vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento . 2016. 217 p. Tese (Doutorado em Ciências da Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2016.	T
92	Sousa (2017)		a, b, c, d, e	A	SOUSA, Aline Islia Almeida de. Avaliação dos impactos do ciclo de vida dos materiais de dois painéis pré-moldados por meio do software simapro . 2017. 100 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental) - Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2017.	D
93	Invidiata (2017)		a, b, c, d, e	A	INVIDIATA, Andrea. Método de avaliação multicritério de estratégias de projeto de edificações mais sustentáveis . 2017. 333 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2017.	T
94	Guerra (2017)		a, b, c, d, e	O	GUERRA, Carlos Maurício da Fonseca. Indicador de emissões de gases de efeito estufa em projetos de infraestrutura: estudo de projetos viários em Recife/PE . 2017. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Pernambuco, Recife, PE, 2017.	D
95	Moraga (2017)		a, b, c, d, e	O	MORAGA, Gustavo Longaray. Avaliação do ciclo de vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida . 2017. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017.	D
96	Lira (2017)		a, b, c, d, e	A	LIRA, Júlia Santiago de Matos Monteiro. Depleção abiótica e potencial de aquecimento global no ciclo de vida de telhado verde comparativamente a um telhado convencional . 2017. 120 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.	D
97	Silva (2017) a		a, b, c, d, e	A	SILVA, Juliana Paiola da. Avaliação do ciclo de vida de tijolo cerâmico produzido no norte paranaense: estudo de caso . 2017. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2017.	D
101	Teodoro (2017)		a, b, c, d, e	A	TEODORO, Maria Inês Tavares de Matos. Energia embutida na construção de edificações no Brasil: contribuições para o desenvolvimento de políticas públicas a partir de um estudo de caso em Mato Grosso do Sul . 2017. 234 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2017.	T
102	Evangelista (2017)		a, b, c, d, e	A	EVANGELISTA, Patrícia Pereira de Abreu. Desempenho ambiental na construção civil: parâmetros para aplicação da avaliação do ciclo de vida em edificações residenciais brasileiras . 2017. 255 p. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2017.	T

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

111	Braga (2018)		a, b, c, d, e	A	BRAGA, Núbia Karla Mendes. Potencial de aquecimento global de paredes de concreto a partir da avaliação do ciclo de vida. 2018. 137 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.	D
112	Mahecha (2018)		a, b, c, d, e	A	MAHECHA, Rosa Esperanza Gonzáles. Designing nearly zero energy buildings: energy efficiency and on-site generation. 2018. 171 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.	T
115	Sartori (2018)		a, b, c, d, e	A	SARTORI, Thais Gonçalves. Medidas de retrofit em edifícios típicos existentes de um bairro: desempenho e avaliação do ciclo de vida energético. 2018. 187 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2018.	D
116	Guimarães (2018)		a, b, c, d, e	A	GUIMARÃES, Gabriela Dias. Incertezas de cenário no inventário de avaliação de ciclo de vida de edificações. 2018. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2018.	D
118	Feliciano (2019)		a, b, c, d, e	A	FELICIANO, Ana Paula Meneghel. Avaliação do ciclo de vida de perfis de alumínio. 2019. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2019.	D
123	Leite (2019)		a, b, c, d, e	O	LEITE, Florence Rezende. O potencial uso de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais como matéria-prima em argamassas e sua avaliação do ciclo de vida (ACV). 2019. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, SP, 2019.	D
124	Piva (2019)		a, b, c, d, e	A	PIVA, Julianna Ody. Sustentabilidade na construção civil: avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 em edificação histórica de origem portuguesa e contemporânea. 2019. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2019.	D
125	Madeira (2019)		a, b, c, d, e	A	MADEIRA, Juliana Grillo da Silva. Avaliação do ciclo de vida energético e desempenho da envoltória mediante ações de retrofit em edificação pública escolar. 2019. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2019.	D
128	Azevedo (2019)		a, b, c, d, e	A	AZEVEDO, Nathalia Cardoso de. Avaliação do ciclo de vida energético e de CO2 através da modelagem da informação da construção (BIM) e simulação termo energética de uma habitação unifamiliar em wood frame. 2019. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2019.	D
130	Pessoa (2019)		a, b, c, d, e	O	PESSOA, Rodrigo Gabriel Avelino de Queiroz. Indicadores de emissões de CO2 na construção de edifícios: estudo de múltiplos casos na cidade do Recife-PE. 2019. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Pernambuco, Recife, PE, 2019.	D
132	Ramos (2019)		a, b, c, d, e	A	RAMOS, Valéria Mayumi Kushima. Avaliação do ciclo de vida dos materiais de uma habitação de interesse social em alvenaria convencional, light steel framing e light wood framing. 2019. 142 p. Dissertação (Mestrado em Gestão) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2019.	D
SNWB	Monich (2012)		a, b, c, d, e	A	MONICH, Carla Rabelo. Avaliação ambiental de uma habitação de interesse social pré-fabricada em madeira no sistema wood frame no Estado do Paraná. 2012. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2012.	D

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

SNWB	França (2016)		a, b, c, d, e	O	FRANÇA, Marlon Lacerda. Estimativa das emissões de gases do efeito estufa e proposta de mitigação dos impactos ambientais gerados por um empreendimento da construção civil: estudo de caso. 2016. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2016.	D
SNWB	Montes (2016)		a, b, c, d, e	A	MONTES, María Andrea Triana. Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas. 2016. 473 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.	T
SNWB	Silva (2017) c		a, b, c, d, e	A	SILVA, Renathielly Fernanda da. Avaliação do ciclo de vida energético e de emissões de CO2 de sistemas de vedações para uma habitação rural de interesse social. 2017. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Paraná, Cascavel, PR, 2017.	D
CDG	REF.	Q L	CRIT.		REFERÊNCIA	
10	Gomes et al. (2019)	x	a, b, c, d, e	O S	GOMES, Kelly Cristiane et al. Carbon emissions associated with two types of foundations: CP-II Portland cement-based composite vs. geopolymers concrete. Revista Materia , [s. l.], v. 24, n. 4, 2019.	
14	Morales et al. (2019)	x	a, b, c, d, e	O S	MORALES, Michele et al. Regionalized inventory data in LCA of public housing: A comparison between two conventional typologies in southern Brazil. Journal of Cleaner Production , [s. l.], v. 238, p. 117869, 2019. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117869 >	
22	Sartori e Calmon (2019)	x	a, b, c, d, e	O S	SARTORI, Thais; CALMON, João Luiz. Analysis of the impacts of retrofit actions on the life cycle energy consumption of typical neighbourhood dwellings. Journal of Building Engineering , [s. l.], v. 21, n. October 2018, p. 158–172, 2019. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.job.2018.10.009 >	
25	Albuquerque, Lira e Sposto (2018)	x	a, b, c, d, e	O S	ALBUQUERQUE, Hiago Ribeiro; LIRA, Júlia; SPOSTO, Rosa Maria. Emissões de CO2 de sistemas de revestimento de argamassa: estudo de caso de aplicação de argamassa projetada comparativamente à aplicação convencional. Ambiente Construído , [s. l.], v. 18, n. 4, p. 377–393, 2018.	
27	Bueno e Fabrício (2018)	x	a, b, c, d, e	O S	BUENO, Cristiane; FABRÍCIO, Márcio Minto. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plugin. Automation in Construction , [s. l.], v. 90, n. March, p. 188–200, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.028 >	
29	Crippa et al. (2018)	x	a, b, c, d, e	O S	CRIPPA, Julianna et al. A BIM–LCA integration technique to embodied carbon estimation applied on wall systems in Brazil. Built Environment Project and Asset Management , [s. l.], v. 8, n. 5, p. 491–503, 2018.	
30	Evangelista et al. (2018)	x	a, b, c, d, e	O S	EVANGELISTA, Patricia P. A. et al. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). Construction and Building Materials , [s. l.], v. 169, p. 748–761, 2018.	
32	Gomes et al. (2018)	x	a, b, c, d, e	O S	GOMES, Vanessa 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 , [s. l.], v. 173, p. 302–314, 2018. Disponível em: < https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.063 >	

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

34	Medeiros, Durante e Callejas (2018)	x	a, b, c, d, e	A S	MEDEIROS, Larissa Mendes; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolonio. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. Ambiente Construído , Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 365–385, 2018.
37	Silva, Gomes e Saade (2018)	x	a, b, c, d, e	A S	SILVA, M. G.; GOMES, V.; SAADE, M. R. M. Selection of low impact concrete mixtures based on life-cycle assessment mixtures. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais , [s. l.], v. 11, n. 6, p. 1354–1380, 2018.
42	Caldas et al. (2017)	x	a, b, c, d, e	O S	CALDAS, Lucas Rosse et al. Life cycle carbon emissions inventory of brick masonry and light steel framing houses in Brasília: proposal of design guidelines for low-carbon social housing. Ambiente Construído , Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 71–85, 2017.
43	Caldas e Sposto (2017)	x	a, b, c, d, e	O S	CALDAS, Lucas Rosse; SPOSTO, Rosa Maria. Emissões de CO2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. Ambiente Construído , Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 91–108, 2017.
47	Najjar et al. (2017)	x	a, b, c, d, e	O S	NAJJAR, Mohammad et al. Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building. Journal of Building Engineering , [s. l.], v. 14, n. October, p. 115–126, 2017. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.005 >
50	Piekarski et al. (2017)	x	a, b, c, d, e	O S	PIEKARSKI, Cassiano Moro et al. Life cycle assessment of medium-density fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil. Science of the Total Environment , [s. l.], v. 575, p. 103–111, 2017. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.007 >
51	Rosado et al. (2017)	x	a, b, c, d, e	O S	ROSADO, Laís Peixoto et al. Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil. Journal of Cleaner Production , [s. l.], v. 151, p. 634–642, 2017. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.068 >
55	Bueno et al. (2016)	x	Excluída pelo critério b após leitura sistemático trabalho	O S	BUENO, Cristiane et al. Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: A case study on building materials. Journal of Cleaner Production , [s. l.], v. 112, p. 2208–2220, 2016.
57	Colling et al. (2016)	x	Excluída pelo critério b após leitura sistemático trabalho	O S	COLLING, A. V. et al. Brazilian recycling potential: Energy consumption and Green House Gases reduction. Renewable and Sustainable Energy Reviews , [s. l.], v. 59, p. 544–549, 2016. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.233 >
58	Lassio e Haddad (2016)	x	os estudos 58 e 59 são os mesmos, em publicação	O S	LASSIO, João Gabriel Gonçalves De; HADDAD, Assed Naked. Life cycle assessment of building construction materials: Case study for a housing complex. Revista de la Construcción , [s. l.], v. 15, n. 2, p. 69–77, 2016.
59	Lassio et al. (2016)	x	es e com redação diferentes	O S	DE LASSIO, João et al. Case study: LCA methodology applied to materials management in a Brazilian residential construction site. Journal of Engineering (United Kingdom) , [s. l.], v. 2016, 2016.

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(continua)

61	Maia de Souza et al. (2016)	x	a, b, c, d, e	O S	MAIA DE SOUZA, Danielle et al. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. Journal of Cleaner Production , [s. l.], v. 137, p. 70–82, 2016. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069 >
62	Marques, Gomes e Kern (2016)	x	a, b, c, d, e	O S	MARQUES, Vinicius Martins; GOMES, Luciana Paulo; KERN, Andrea Parisi. Avaliação ambiental do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. Ambiente Construído , Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 187–201, 2016.
63	Oliveira, Pacca e John (2016)	x	a, b, c, d, e	O S	OLIVEIRA, Lidiane Santana; PACCA, Sérgio Almeida; JOHN, Vanderley Moacyr. Variability in the life cycle of concrete block CO2 emissions and cumulative energy demand in the Brazilian Market. Construction and Building Materials , [s. l.], v. 114, n. January 2015, p. 588–594, 2016. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.134 >
65	Sanches-Pereira, Tudeschini e Coelho (2016)	x	Excluída pelo critério b após leitura sistemático do trabalho	O S	SANCHES-PEREIRA, Alessandro; TUDESCHINI, Luís Gustavo; COELHO, Suani Teixeira. Evolution of the Brazilian residential carbon footprint based on direct energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews , [s. l.], v. 54, p. 184–201, 2016. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.024 >
66	Santoro e Kripka (2016)	x	a, b, c, d, e	O S	SANTORO, J. F.; KRIPKA, M. Determinação das emissões de dióxido de carbono das matérias primas do concreto produzido na região norte do Rio Grande do Sul. Ambiente Construído , Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 35-49, abr./jun. 2016.
74	Borges et al. (2014)	x	a, b, c, d, e	O S	BORGES, Paulo Henrique Ribeiro et al. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). Ambiente Construído , Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 153–168, abr./jun. 2014.
77	De Castro et al. (2014)	x	a, b, c, d, e	O S	DE CASTRO, Eduardo Breviglieri Pereira et al. Impact of the lifespan of different external walls of buildings on greenhouse gas emissions under tropical climate conditions. Energy and Buildings , [s. l.], v. 76, p. 228–237, 2014. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.071 >
83	Passuello et al. (2014)	x	Excluída pelo critério b após leitura sistemática do trabalho	O S	PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. Ambiente Construído , Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7–20, 2014.
85	Rossi e Sales (2014)	x	a, b, c, d, e	O S	ROSSI, Efigênia; SALES, Almir. Carbon footprint of coarse aggregate in Brazilian construction. Construction and Building Materials , [s. l.], v. 72, p. 333–339, 2014.
86	Saade et al. (2014)	x	a, b, c, d, e	O S	SAADE, Marcella Ruschi Mendes et al. Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. Smart and Sustainable Built Environment , [s. l.], v. 3, n. 1, p. 54–71, 2014.
91	Oliveira, Silva e Gomes (2013)	x	a, b, c, d, e	A S	OLIVEIRA, F. R. M.; SILVA, M. G.; GOMES, V. Exploring life cycle-based sustainability indicators for building structural frames in concrete. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais , [s. l.], v. 6, n. 5, p. 832–843, 2013.
92	Paulsen e Sposto (2013)	x	a, b, c, d, e	O S	PAULSEN, Jacob Silva; SPOSTO, Rosa Maria. A life cycle energy analysis of social housing in Brazil: Case study for the program “mY HOUSE MY LIFE”. Energy and Buildings , [s. l.], v. 57, n. 2013, p. 95–102, 2013. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.014 >

Tabela 9 – Trabalhos selecionados após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade e com classificação qualitativa de trabalhos acadêmicos.

(conclusão)

97	Taborianski e Prado (2012)	x	a, b, c, d, e	AS	TABORIANSKI, Vanessa Montoro; PRADO, Racine T. A. Methodology of CO 2 emission evaluation in the life cycle of office building façades. Environmental Impact Assessment Review , [s. l.], v. 33, n. 1, p. 41–47, 2012. Disponível em: < http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2011.10.004 >
98	Lampreia et al. (2011)	x	Excluída pelo critério b após leitura sistemática do trabalho	OS	LAMPREIA, João et al. Analyses and perspectives for Brazilian low carbon technological development in the energy sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews , [s. l.], v. 15, n. 7, p. 3432–3444, 2011. Disponível em: < https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032111001596 >
101	Surgelas, Marques e Rodrigues (2010)	x	a, b, c, d, e	OS	SURGELAS, F. M. A.; MARQUES, G. F.; RODRIGUES, C. D. S. Life cycle analysis of ceramic versus painting materials applied to external walls. International Journal for Housing Science and its Applications , [s. l.], v. 34, n. 1, p. 37–46, 2010.

Fonte: A autora.

Apêndice D

COMPILAÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS

A Tabela 10 apresenta os valores de fatores de emissão de diferentes materiais de acordo com diferentes autores, além dos calculados pela autora de acordo com as informações apresentadas no capítulo de metodologia.

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.

(continua)

Materiais			
AÇO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Aço	1,61	base na média de autores	Caldas, 2016
Aço	1,85	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Aço	1,85	Costa, 2012	Piva, 2019
Aço	1,83	Costa, 2012	Caldas, 2016
Aço	1,55	Silva e Silva, 2015	Caldas, 2016
Aço	1,45	Stachera e Casagrande, 2007	Caldas, 2016
Aço	2,31	Tavares, 2006	Madeira, 2019
Aço e Ferro	3,222		Calculado pela autora

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.

(continua)

AGREGADO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Agregado graúdo	0,086	Costa, 2012	Piva, 2019
Agregado miúdo	0,086	Costa, 2012	Piva, 2019
Agregado/pedra	0,096		Calculado pela autora
AREIA			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Areia	0,01	base na média de autores	Caldas, 2016
Areia	0,03	Calculado pelos autores	Tavares; Bragança, 2016
Areia	0,0722	Costa 20124 - NIVEL BASICO SEM TRANSPORTE	Montes, 2016
Areia	0,09	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Areia	0,007	Costa, 2012	Caldas, 2016
Areia	0,0070	Levantamento primário	Souza (2012)_CK
Areia	0,0058	Lima (2010)	Montes, 2016
Areia	0,007	Souza, 2013	Caldas, 2016
Areia	0,01482	Souza_(2012)	Montes, 2016
Areia	0,0151	Stachera e Casagrande (2007) - Base na referência considerando densidade da areia de 1500 kg/m3 conforme a NBR 15220	Montes, 2016
Areia	0,014	Stachera e Casagrande, 2007	Caldas, 2016
Areia	0,03	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019
Areia	0,031		Calculado pela autora
ARGAMASSA			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Argamassa	0,16	base na média de autores	Caldas, 2016
Argamassa	0,16	Caldas et al. (2015) com base em Costa (2012)	Montes, 2016

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.

(continua)

Argamassa	0,19	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Argamassa	0,163	Costa, 2012	Caldas, 2016
Argamassa	0,16	Nabut Neto, 2011	Caldas, 2016
Argamassa	0,116	Silva (2013)	Montes, 2016
Argamassa (1:2:8 cimento, cal hidratada, areia)	0,34	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019
Argamassa (1:2:8) cimento, cal hidratado, areia	0,34	Calculado pelos autores	Tavares; Bragança, 2016
Argamassa (9 tipos)	0,197	Costa, 2012	Piva, 2019
Argamassa assentamento	0,16	Tavares, 2006	Madeira, 2019
Argamassa (1:2:8) cimento, cal hidratado, areia	0,346		Calculado pela autora
BLOCO DE CONCRETO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Bloco de concreto	0,0188	Levantamento primário	Oliveira, Pacca e John (2016)_CK
Bloco de concreto	0,18	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Bloco de concreto	0,18	Costa, 2012	Piva, 2019
Bloco de concreto intertravado	0,27	Costa, 2012	Piva, 2019
BRITA			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Brita	0,09	Costa, 2012	Piva, 2019
Brita	0,09	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Brita	0,0154	Lima (2010)	Montes, 2016
Brita	0,00275	Souza (2012) CO2	Montes, 2016
Brita 1	0,0017	Levantamento primário	Rossi (2013)_CK

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.

(continua)

CAL			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Cal	0,87	Calculado pelos autores	Tavares; Bragança, 2016
Cal	0,87	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019
Cal hidratada	0,81	Costa, 2012	Caldas, 2016
Cal hidratada	0,74	Silva e Silva, 2015	Caldas, 2016
Cal hidratada	1,1	Silva, 2013	Caldas, 2016
Cal hidratada	0,786	Stachera e Casagrande, 2007	Caldas, 2016
Cal hidratada	1,27	Taborianski e Prado, 2012	Caldas, 2016
Cal	0,996		Calculado pela autora
CERÂMICOS			
Geral			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Cerâmica	0,091	Cerâmica telhas e tijolos_Costa (2012) -NIVEL BASICO SEM TRANSPORTE	Montes, 2016
Cerâmica	0,29	Cerâmica vermelha_Taborianski e Prado (2012)	Montes, 2016
Cerâmica	0,51	Cerâmica vermelha-Bloco 9x14x19_Stachera (2008)	Montes, 2016
Cerâmica vermelha	0,17	Calculado pelos autores	Tavares; Bragança, 2016
Cerâmica vermelha	0,17	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019
Cerâmica vermelha (tijolo 8 furos)	0,111	Costa, 2012	Piva, 2019
Tijolo Cerâmico	0,23	Tavares, 2006	Madeira, 2019
Cerâmica vermelha	0,463		Calculado pela autora
Blocos			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Cerâmica (blocos)	0,4	base na média de autores	Caldas, 2016
Cerâmica (blocos)	0,909	Costa, 2012	Caldas, 2016
Cerâmica (blocos)	0,23	Silva e Silva, 2015	Caldas, 2016

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.

(continua)

Cerâmica (blocos)	0,33	Soares e Pereira, 2002	Caldas, 2016
Cerâmica (blocos)	0,38	Stachera e Casagrande, 2007	Caldas, 2016
Cerâmica (blocos)	0,169	Taborianski e Prado, 2012	Caldas, 2016
Bloco cerâmico furado	0,91	Costa, 2012	Piva, 2019
Bloco de Cerâmica	0,11	Costa, 2011	Invidiata, 2017

Piso

Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Cerâmica (piso)	0,45	base na média de autores	Caldas, 2016
Cerâmica (piso)	0,908	Costa, 2012	Caldas, 2016
Cerâmica (piso)	0,857	Stachera e Casagrande, 2007	Caldas, 2016
Piso cerâmico	0,86	Stachera e Casagrande, 2007	Piva, 2019
Piso porcelanato	0,29	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019

Revestimento

Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Cerâmica de revestimento	0,29	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019
Cerâmica revestimento	0,29	Calculado pelos autores	Tavares; Bragança, 2016
Cerâmica revestimento	0,26	Tavares, 2006	Madeira, 2019
Cerâmica_Piso e Revestimento	0,2689	Cerâmica de revestimento_Coelho_J Mendo cons. (2009) - máx	Montes, 2016
Cerâmica_Piso e Revestimento	0,172	Cerâmica de revestimento_Coelho_J Mendo cons. (2009) - méd	Montes, 2016
Cerâmica_Piso e Revestimento	0,123	Cerâmica de revestimento_Coelho_J Mendo cons. (2009) - mín	Montes, 2016
Cerâmica_Piso e Revestimento	0,267	Cerâmica de revestimento_Monfort et al. (2011)	Montes, 2016
Cerâmica revestimento	0,168		Calculado pela autora

Telha

Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Cerâmica (telhas)	0,77	base na média de autores	Caldas, 2016

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.

(continua)

Cerâmica (telhas)	0,908	Costa, 2012	Caldas, 2016
Cerâmica (telhas)	0,63	Silva e Silva, 2015	Caldas, 2016
Cerâmica vermelha (telhas)	0,111	Costa, 2012	Piva, 2019
Cerâmica_telha	0,091	Costa (2012)	Montes, 2016
Cerâmica_telha	0,42	Pereira (2014)	Montes, 2016
Telha Cerâmica	0,11	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Telha Cerâmica	0,42	Tavares, 2006	Madeira, 2019
CHAPISCO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Chapisco	0,11	Tavares, 2006	Madeira, 2019
CIMENTO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Cimento	0,63	base na média de autores	Caldas, 2016
Cimento	0,79	Calculado pelos autores	Tavares; Bragança, 2016
Cimento	0,565	Carvalho, 2002	Caldas, 2016
Cimento	0,631	Costa, 2012	Caldas, 2016
Cimento	0,473	Holcim (2013)	Montes, 2016
Cimento	0,656	Oliveira et al. (2014)	Montes, 2016
Cimento	0,597	Oliveira et al. (2014)	Montes, 2016
Cimento	0,517	Oliveira et al. (2014)	Montes, 2016
Cimento	0,256	Portland CP III_Carvalho (2002)	Montes, 2016
Cimento	0,428	Portland CP IV _Carvalho (2002)	Montes, 2016
Cimento	0,565	Portland CPIIE_Carvalho (2002)	Montes, 2016
Cimento	0,855	Portland sem adições_Carvalho (2002)	Montes, 2016
Cimento	0,968	Portland_Stachera (2008)	Montes, 2016
Cimento	0,37	Silva e Silva, 2015	Caldas, 2016

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.

(continua)

Cimento	0,58	Silva, 2013	Caldas, 2016
Cimento	0,727	Souza (2012)	Montes, 2016
Cimento	0,969	Stachera e Casagrande, 2007	Caldas, 2016
Cimento	0,67	Taborianski e Prado, 2012	Caldas, 2016
Cimento	0,79	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019
Cimento comum	0,65	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Cimento CP II E 32	0,63	CBCS, 2014	Caldas, 2016
Cimento	0,764		Calculado pela autora
CONCRETO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Concreto	0,14	base na média de autores	Caldas, 2016
Concreto	0,14	Concreto 25 Mpa-cimento CP II F_Caldas et al. (2015) com base em Costa (2012) - NIVEL BASICO SEM TRANSPORTE	Montes, 2016
Concreto	0,4	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Concreto	0,156	Costa, 2012	Caldas, 2016
Concreto	0,1	Silva e Silva, 2015	Caldas, 2016
Concreto	0,16	Silva, 2013	Caldas, 2016
Concreto	0,09	Tavares, 2006	Madeira, 2019
Concreto (12% de cimento)	0,12	Tavares e Bragança, 2016	Piva, 2019
Concreto (9 tipos)	0,351	Costa, 2012	Piva, 2019
Concreto 12% cimento	0,12	Calculado pelos autores	Tavares; Bragança, 2016
Concreto 25Mpa	0,14	Costa, 2012	Piva, 2019
Concreto (12% de cimento)	0,126		Calculado pela autora
EMBOÇO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Emboço	0,11	Tavares, 2006	Madeira, 2019

Tabela 10 – Dados de Fatores de Emissão (Carbono Incorporado – CI) de diferentes autores.
(conclusão)

GESSO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Gesso	0,639	Costa, 2012	Piva, 2019
Gesso	0,47	Gesso placas _Costa (2012)	Montes, 2016
Gesso (forro)	0,9	Tavares, 2006	Madeira, 2019
Gesso placa	0,45	base na média de autores	Caldas, 2016
Gesso Placa	0,77	Costa, 2011	Invidiata, 2017
Gesso placa	0,47	Costa, 2012	Caldas, 2016
Gesso placa	0,43	Taborianski e Prado, 2012	Caldas, 2016
Gesso placas	0,766	Costa, 2012	Piva, 2019
REBOCO			
Material	CI (kgCO2/kg)	Fonte	Referência
Reboco	0,11	Tavares, 2006	Madeira, 2019

Fonte: A autora.

Apêndice E

MODELO DAS FICHAS UTILIZADAS PARA O LEVANTAMENTO EM ESTABELECIMENTOS

Aos estabelecimentos comerciais da cidade de Santa Maria, um documento contendo as informações abaixo foi entregue fisicamente ou por endereço eletrônico. Para todos os materiais, foram deixados três espaços de preenchimento. O texto de apresentação abaixo também foi encaminhado.

Esse formulário é **etapa primordial** para o desenvolvimento de uma pesquisa de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, que tem como um dos objetivos inventariar em termos de energia embutida e carbono embutido parte dos materiais utilizados na construção civil de Santa Maria.

Ficariamos muito gratos caso você ou sua empresa possa fornecer tais dados. **Garantimos o anonimato do estabelecimento, se solicitado, e relação entre os dados.**

Atenciosamente,

Mestranda: Cássia Laire Kozloski

Matrícula: 201860169

Orientador: Marcos Alberto Oss Vaghetti

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Instruções:

- 1- Caso o material não seja comercializado, preencher com “Não comercializado”.
- 2- Caso as informações se repitam, preencher com o número de identificação do item do material a ter as informações repetidas.
- 3- Caso haja menos de três fornecedores principais, deixar o local de preenchimento para o(s) outro(s) em branco.
- 4- Caso não saiba o endereço aproximado do fornecedor, indicar pelo menos a cidade.
- 5- Se a sua empresa não possui depósito, deixar coluna em branco.

AREIA FINA

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

AREIA MÉDIA

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

AREIA GROSSA

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

BRITA 0 – PEDRISCO

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

BRITA 1

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

BRITA 2

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

CAL HIDRATADA COMUM OU ESPECIAL

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

CIMENTO – Indique o tipo: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

TIJOLO CERÂMICO FURADO –Indique o tamanho: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

TIJOLO CERÂMICO MACIÇO –Indique o tamanho: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

BLOCO DE CONCRETO ESTRUTURAL –Indique o tamanho: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

BLOCO DE CONCRETO CELULAR – Indique o tamanho: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

TELHA CERÂMICA – Indique o tipo: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

TELHA DE CONCRETO– Indique o tipo: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

TELHA DE FIBROCIMENTO– Indique o tipo: _____

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

REVESTIMENTO CERÂMICO - PORCELANATO

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

REVESTIMENTO CERÂMICO - COMUM

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

ESTRUTURA METÁLICA

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

Informações Suplementares

MADEIRA PARA FORMAS DE ESTRUTURA

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

PVC PARA TUBULAÇÃO HIDRÁULICA

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

IMPERMEABILIZANTE

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

TINTAS

FORNECEDOR	ENDEREÇO DO FORNECEDOR	ENDEREÇO DE DEPÓSITO DA SUA EMPRESA
1		

Tipo de transporte utilizado ou empresa responsável pela logística:

Apêndice F

DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PELOS MATERIAIS LEVANTADOS

A Tabela 11 apresenta os materiais comercializados por cada estabelecimento participante do levantamento, suas características, quando disponibilizadas, a origem de fornecimento, rotas e distâncias percorridas até o depósito de cada estabelecimento.

Tabela 11 – Origem dos materiais comercializados pelos estabelecimentos, rotas e distâncias

(continua)

Redemac Potrich								
MATERIAL	CARACTERS.	FORNECEDOR	FORNECEDOR ENDEREÇO	TRAJETO FORNECEDOR A DEPÓSITO DO ESTABELECIMENTO	DISTÂNCIA KM FORNECEDOR ATÉ DEPÓSITO	OBS	DISTÂNCIA A A SOMAR (km)	DISTÂNCIA TOTAL "PORTÃO" - DEPÓSITO (km)
AREIA FINA		Pedras Muller	R. Frederico Varaschini, 549 - Camobi, Santa Maria - RS, 97105-160 (-29.707416, -53.734604)	via BR-287	1,2	Vem de Minas Gerais - Curitiba - via BR-153 e BR-476	814	815,2
AREIA MÉDIA		Areeira Ribas (Armando Albertani Ribas & Cia Ltda)	br 392, Km 272 Arenal, Passo do Verde, 97070-150, Santa Maria (-29.937812, -53.713535)	via BR 392	36,3			36,3
AREIA GROSSA		Areeira Ribas	br 392, Km 272 Arenal, Passo do Verde, 97070-150, Santa Maria (-29.937812, -53.713535)	via BR 392	36,3			36,3
ARGAMASSA IND		Dagoberto Barcellos	Rodovia br 392, km 250, Caçapava do Sul - RS (-30.542448, -53.423905)	via BR 392	113			113
CONCRETO BLOCO	14x19x29	Prontomix	BR-287, 1100 - Diácono João Luiz Pozzobon, Santa Maria - RS, 97060-500 (-29.708459, -53.762672)	via BR-287	3,8			3,8
CONCRETO TELHA		Telha Nobre	R. Ircyde Santa Lúcia, 140 - Camobi, Santa Maria - RS, 97110-813 (-29.705202, -53.737757)	via BR-287	1,3	Produzidas no Local		1,3
BRITA 0 - Pedrisco		Brita Pinhal	Estr. Minello - Baú, Itaara - RS, 97185-000 (-29.645726, -53.751687)	via Av. Pref. Evandro Bekr e BR-158/BR-392	14,7			14,7
BRITA 1		Brita Pinhal	Estr. Minello - Baú, Itaara - RS, 97185-000 (-29.645726, -53.751687)	via Av. Pref. Evandro Bekr e BR-158/BR-392	14,7			14,7
BRITA 2		Brita Pinhal	Estr. Minello - Baú, Itaara - RS, 97185-000 (-29.645726, -53.751687)	via Av. Pref. Evandro Bekr e BR-158/BR-392	14,7			14,7

Tabela 11 – Origem dos materiais comercializados pelos estabelecimentos, rotas e distâncias

(continua)

CAL		Dagoberto Barcellos	Rodovia br 392, km 250, Caçapava do Sul - RS (-30.542448, -53.423905)	via BR 392	113			113
Geral	tijolo 6 furos 9x14x19	Cerâmica Veber	Faxinal do Soturno - RS, 97220-000 (-29.580474, -53.437160)	via BR-287 e RS-149	42,8			42,8
Geral	tijolo maciço 5x23x10	Olaria Manfio	Localização aproximada: -29.475221, -53.475672	via BR-287 e RS-149	56,6			56,6
Revestimento	Porcelanato Portinari	Portinari	2585, km, BR-101 - Vila Sao Domingos, Criciúma - SC, 88812-600 (-28.806838, -49.373010)	via BR-287 e BR-101	529			529
Revestimento	Porcelanato Ceusa	Ceusa	Rod Genézio Mazon, 1 - Centro, Urussanga - SC, 88840-000 (-28.533955, -49.319127)	via BR-287 e BR-101	567			567
Revestimento	Porcelanato Incepa	Incepa	Rodovia Br 476, Km 147, s/n - Colonia Cachoeira, São Mateus do Sul - PR, 83900-000 (-25.870838, -50.433888)	via BR-153	672			672
Revestimento	Comum	Cejatel	348, BR-101 - Costa da Lagoa, Jaguaruna - SC, 88715-000 (-28.584965, -49.048932)	via BR-287 e BR-101	573			573
Revestimento	Comum	Angelgres	BR-101, Criciúma - SC, 88803-470 (-28.824015, -49.401713)	via BR-287 e BR-101	526			526
Revestimento	Comum	Pisoforte	Rua Rogério, Av. Gílio Búrgio, 855 - Verdinho, Criciúma - SC, 88814-575 (-28.785809, -49.413811)	via BR-287 e BR-101	531			531
Telha		Cia das Telhas	Estr. Mun. Norberto José Kipper, 51 - Camobi, Santa Maria - RS, 97110-530 (-29.698772, -53.709913)	via BR -287	2,3	Bom Princípio -RS	262	264,3
CIMENTO CP IV		Votoran	Rod. Pista Lateral Br-116, KM 256 - Novo Esteio, Esteio - RS, 93270-000 (-29.844681, -51.177275)	via BR -287	272			272
CIMENTO ARI		Votoran	Rod. Pista Lateral Br-116, KM 256 - Novo Esteio, Esteio - RS, 93270-000 (-29.844681, -51.177275)	via BR -287	272			272

Tabela 11 – Origem dos materiais comercializados pelos estabelecimentos, rotas e distâncias

(continua)

FIBROCIMENTO TELHA		Brasilit	Rod. Pista Lateral Br-116, 1429 - Santo Inácio, Esteio - RS, 93270-000 (-29.840039, -51.176604)	via BR -287	272			272
FIBROCIMENTO TELHA		Imbralit	R. Antônio Daré, 325 - Brasília, Criciúma - SC, 88813-610 (-28.673447, -49.332839)	via BR-287 e BR-101	550			550
Walter Beltrame								
AREIA MÉDIA		Conesul ind e com brita ltda epp	RST 287 KM 03-NR 200-CAMOBİ.SANTA MARIA.RS	via Av. Pref. Evandro Behr	3,3	Vem do Arenal (br 392, Km 272 Arenal, Passo do Verde, 97070-150, Santa Maria (-29.937812, -53.713535))	35,3	38,6
ARGAMASSA IND		Irmaos cioccarı &cia ltda	Caçapava do Sul - RS, 96570-000 (-30.535704, -53.411845)	via BR-392	112			112
BRITA 1		Conesul ind e com brita ltda epp	RST 287 KM 03-NR 200-CAMOBİ.SANTA MARIA.RS	via Av. Pref. Evandro Behr	3,3	Vem da Brita pinhal (Estr. Minello - Baú, Itaara - RS, 97185-000 (-29.645726, -53.751687))	13,5	16,8
CAL		Irmaos cioccarı &cia ltda	Caçapava do Sul - RS, 96570-000 (-30.535704, -53.411845)	via BR-392	112			112
CERÁMICOS	Geral	Tijolo furado	Ceramica veber ltda epp	Av. Vicente Pigatto, Faxinal do Soturno - RS, 97220-000 (-29.580395, -53.437337)	via BR-287 e RS-149	45,9		45,9
	Geral	Tijolo maciço	Valdir manfio & filho ltda	Localização aproximada: -29.475221, -53.475672	via BR-287 e RS-149	59,7		59,7
	Revestimento	Porcelanato	Pbg s/a (portobello)	BR 101 KM 163, S/N, 1º Andar Centro, Tijucas - SC, 88200-000 (-27.222211, -48.628090)	via BR-287 e BR-101	761		761

Tabela 11 – Origem dos materiais comercializados pelos estabelecimentos, rotas e distâncias

(continua)

CERÁMICOS	Revestimento	Porcelanato	Incepa rev ceramicos ltda	Av. Padre Natal Pigato, 974 - Vila Delurdes, Campo Largo - PR, 83607-240 (-25.454725, -49.515864)	via BR-153	800			800
	Revestimento	Porcelanato	Incopisos ind e com pisos ltda	Estr. José Horácio Pascon, S/N - Distrito Industrial II, Santa Gertrudes - SP, 13510-000 (-22.470577, -47.537372)	via BR-116	1411			1411
	Revestimento	Comum	Pisoforte revestimentos ceramicos ltda	Rua Rogério, Av. Gílio Búrigo, 855 - Verdinho, Criciúma - SC, 88814-575 (-28.785931, -49.413983)	via BR-287 e BR-101	534			534
CIMENTO CP IV	32	Supremo cimentos s/a	Rua dos Atiradores, 10809 - Testo Central, Pomerode - SC, 89107-000 (-26.818965, -49.155678)	via BR-287	737			737	
CIMENTO CP IV	32	Intercement brasil s/a	Candiota - RS, 96495-000 (-31.584462, -53.673097)	via BR-392 e BR-153	281			281	
FIBROCIMENTO TELHA	Diversos	Saint gobain do brasil prod inds e para construção (brasilit)	Rod. Pista Lateral Br-116, 1429 - Santo Inácio, Esteio - RS, 93270-000 (-29.840056, -51.176637)	via BR-287	275			275	
AZO Comércio e Distribuição de Materiais para Construção Civil									
ARGAMASSA IND	Quartzolit	Weber Saint-Gobain - Produtos quartzolit	Rod. RS 118, 9390 - Km 29, RS, 94400-970, Viamão, RS (-30.009254, -50.993696)	via BR-287	308				
Fabricon Componentes para Construção Civil									
AÇO	Armadura diâmetros	ArcelorMittal	BR 280, Km 11 - Morro Grande, São Francisco do Sul - SC, 89240-000 (26°17'39.2"S 48°38'05.0"W)	Via BR-101	899				

Tabela 11 – Origem dos materiais comercializados pelos estabelecimentos, rotas e distâncias

(conclusão)

AÇO	Armadura diâmetros	Gerdau	Av. Borges de Medeiros, 650 - São Jorge, Sapucaia do Sul - RS, 93212-110 (29°48'52.3"S 51°10'21.8"W)	via BR-287	286			
------------	-------------------------------	--------	---	------------	-----	--	--	--

Fonte: A autora

Apêndice G

EMISSÕES DE CO₂ PARA A EDIFICAÇÃO-EXEMPLO ESTIMADAS PELA PROPOSTA DE FERRAMENTA

As figuras apresentadas nesse apêndice apresentam as imagens capturadas a partir da inserção dos quantitativos na proposta de ferramenta desenvolvida.

Figura 51 – Página inicial da proposta de ferramenta

The image shows a web interface for estimating CO2 emissions. At the top left is the logo of the Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). At the top center is the title: "QUANTIFICAÇÃO ESTIMADA DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL NA ETAPA PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES - SANTA MARIA -RS". At the top right is the logo of PPGAUP UF5M. The main content area is titled "MATERIAIS" and contains a grid of 13 buttons for material selection: AREIA, BRITA, CIMENTO, TELHA CERÂMICA, AÇO, BLOCO DE CONCRETO, TIJOLO CERÂMICO, TELHA EM CONCRETO, ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA, CONCRETO EM OBRA, CAL, REVESTIMENTO CERÂMICO, and TELHA FIBROCIMENTO. Below the grid is a field for "LOCAL DE REALIZAÇÃO DA ESTIMATIVA" with "Santa Maria" entered. Instructions at the bottom state: "Instruções: Selecione no cabeçalho acima o material ou sistema que deseja realizar a estimativa de emissões de dióxido de carbono." A red note at the bottom says: "* Os locais a serem preenchidos pelo usuário estão identificados com a cor BRANCA".

Universidade Federal de Santa Maria

QUANTIFICAÇÃO ESTIMADA DE EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO
DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL NA ETAPA
PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES - SANTA MARIA -RS

PPGAUP
UF5M

MATERIAIS

AREIA	BRITA	CIMENTO	TELHA CERÂMICA
AÇO	BLOCO DE CONCRETO	TIJOLO CERÂMICO	TELHA EM CONCRETO
ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA	CONCRETO EM OBRA	CAL	REVESTIMENTO CERÂMICO
			TELHA FIBROCIMENTO

LOCAL DE REALIZAÇÃO DA ESTIMATIVA

Instruções: Selecione no cabeçalho acima o material ou sistema que deseja realizar a estimativa de emissões de dióxido de carbono.

* Os locais a serem preenchidos pelo usuário estão identificados com a cor BRANCA

Fonte: A autora.

A Figura 52 apresenta as emissões do material areia para o quantitativo de Piva (2019) de 105.199,071 kg, transformados em 72,5511 m³ a partir da massa específica de 1450kg/m³ para a areia média.

Figura 52 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a areia

Selecione a loja de compra


Selecione o tipo de areia

Insira a quantidade a ser utilizada m³

Opcional
 Insira a distância do fornecedor à obra km



Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.

29°42'21.1"S 53°43'31.4"W



Fator de Emissão do material	0,025686154 kgCO ₂ /kg
Massa específica média do material	1450 kg/m ³
Quantidade de material em kg	105199,095 kg
Perda atribuída	39 %
Variação	99,09 %
Emissões por transporte	187,9143521 kgCO ₂
Acréscimo emissões por transporte	27,43653075 kgCO ₂
Emissões estimadas de material	3756,002593 kgCO ₂
Emissões iniciais estimadas de CO₂	3971,353476 kgCO₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas	0 kgCO ₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0 kgCO ₂

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de
3971,35 kgCO₂

Fonte: A autora.

A Figura 53 apresenta as emissões do material aço para o quantitativo de Piva (2019) de 11.228,234 kg, transformados em 23975,8 metros, a partir do peso em quilogramas por metro de um tipo qualquer de vergalhão.

Figura 53 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o aço

Selecione a loja de compra

Selecione a opção disponível

Caracterize o aço

Insira o comprimento necessário m Para mais informações, clique

Opcional
 Insira a distância do fornecedor à obra km Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.

Fator de Emissão do material	1,959 kgCO ₂ /kg
Massa específica média do material	não se aplica
Quantidade de material em kg	11228,2339 kg
Perda atribuída	9 %
Variação	27,40 %
Emissões por transporte	123,9168897 kgCO ₂
Acréscimo emissões por transporte	3,98613771 kgCO ₂
Emissões estimadas de material	23975,76013 kgCO ₂
Emissões iniciais estimadas de CO₂	24103,66316 kgCO₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas	0 kgCO ₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0 kgCO ₂

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de
24103,66 kgCO₂

Fonte: A autora.

A Figura 54 apresenta as emissões do material brita para o quantitativo de Piva (2019) de 88.339,639 kg, transformados em 51,9645 m³, a partir da massa específica de 1700 kg/m³ para a brita tipo 1.

Figura 54 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a brita

Selecione a loja de compra


Selecione o tipo de brita

Insira a quantidade a ser utilizada m³

Opcional
 Insira a distância do fornecedor à obra km



29°42'21.1"S 53°43'31.4"W

Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.



Fator de Emissão do material	0,039966 kgCO ₂ /kg
Massa específica média do material	1700 kg/m ³
Quantidade de material em kg	88339,6381 kg
Perda atribuída	31 %
Variação	102,93 %
Emissões por transporte	68,8276141 kgCO ₂
Acréscimo emissões por transporte	21,7134735 kgCO₂
Emissões estimadas de material	4625,062389 kgCO ₂
Emissões iniciais estimadas de CO₂	4715,603477 kgCO₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas	0 kgCO ₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0 kgCO ₂

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de
4715,60 kgCO₂

Fonte: A autora.

A Figura 55 apresenta as emissões do material cerâmica como revestimento para o quantitativo de Piva (2019) de 7.154,717 kg. Como existe uma variedade de materiais cerâmicos para revestimento disponíveis nas diversas lojas, se considerou para inserção na ferramenta a cerâmica comum e o quantitativo original.


Figura 55– Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o revestimento cerâmico

REVESTIMENTO CERÂMICO

Selecione a loja de compra

Selecione o tipo de areia


Insira a quantidade a ser utilizada m³

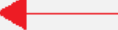
Para inserir a metragem com precisão, 

Opcional
 Insira a distância do fornecedor à obra km



29°42'21.1"S 53°43'31.4"W

Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.



Fator de Emissão do material	0,2298625 kgCO2/kg
Massa específica média do material	#N/D kg/m ³
Quantidade de material em kg	7154,7172 kg 
Perda atribuída	12,5 %
Variação	26,48 %
Emissões por transporte	149,8846855 kgCO2
Acréscimo emissões por transporte	1,51024493 kgCO2
Emissões estimadas de material	1850,17633 kgCO2
Emissões iniciais estimadas de CO2	2001,571261 kgCO2
Emissões de CO2 recorrentes previstas	0,736996641 kgCO2
Emissões de CO2 recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0,000601589 kgCO2

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de **2002,31 kgCO2**


MENU INICIAL

Fonte: A autora.

A Figura 56 apresenta as emissões do material cerâmico como telha para o quantitativo de Piva (2019) de 7.148,101 kg, transformados em uma área a ser coberta de 124,1, a partir da transformação do peso para determinada telha em 1m².



Figura 56 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a telha cerâmica

Selecione a loja de compra	<input type="text" value="Redemac_Potrich_t_cer"/>	
Selecione a opção disponível	<input type="text" value="Telha_Cerâmica"/>	
Selecione o tipo de telha cerâmica	<input type="text" value="Colonial"/>	
Insira a área a ser coberta (em verdadeira grandeza)	<input type="text" value="124,1"/> m ²	
Opcional	<input 53°43'31.4\"w"="" s="" type="text" value="29°42'21.1\"/>	Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.
Insira a distância do fornecedor à obra	<input type="text" value="5,3"/> km	



Fator de Emissão do material	0,4325 kgCO ₂ /kg
Massa específica média do material	não se aplica
Quantidade de material em kg	7148,16 kg
Perda atribuída	10 %
Variação	68,56 %
Emissões por transporte	73,57167355 kgCO ₂
Acréscimo emissões por transporte	1,475330571 kgCO ₂
Emissões estimadas de material	3400,73712 kgCO ₂
Emissões iniciais estimadas de CO₂	3475,784124 kgCO₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas	14,76014375 kgCO ₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0,006403344 kgCO ₂

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de
3490,55 kgCO₂

Fonte: A autora.

A Figura 57 apresenta as emissões do material cerâmico como vedação para o quantitativo de Piva (2019) de 80.357,308 kg, transformados em área de vedação de 727,21m² com os tijolos assentados nos 14cm, considerando o peso para 1m² de vedação de 14cm de espessura.

Figura 57 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o tijolo cerâmico

TIJOLO CERÂMICO

Selecione a loja de compra

Selecione a opção disponível

Selecione a posição de assentamento cm

Insira a área necessária de vedação vertical m²

Opcional
 Insira a distância do fornecedor à obra km

Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.

Fator de Emissão do material	0,254375 kgCO ₂ /kg
Massa específica média do material	não se aplica
Quantidade de material em kg	80356,705 kg
Perda atribuída	17 %
Variação	57,68 %
Emissões por transporte	142,4551889 kgCO ₂
Acréscimo emissões por transporte	17,640479 kgCO ₂
Emissões estimadas de material	23915,6621 kgCO ₂
Emissões iniciais estimadas de CO₂	24075,75776 kgCO₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas	54,1078328 kgCO ₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0,039910586 kgCO ₂

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de
kgCO₂

Universidade Federal de Santa Maria
1960

PPGAUP
UFSM

MENU INICIAL

Fonte: A autora.

A Figura 58 apresenta as emissões do material cimento para o quantitativo de Piva (2019) de 38.570,11 kg, inseridos dessa forma na ferramenta.

Figura 58– Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para o cimento

Selecione a loja de compra

Selecione o tipo de areia

Insira a quantidade a ser utilizada kg

Opcional
 Insira a distância do fornecedor à obra km

29°42'21.1"S 53°43'31.4"W

Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.



Fator de Emissão do material	0,640045455 kgCO ₂ /kg
Massa específica média do material	não se aplica
Quantidade de material em kg	38570,1097 kg
Perda atribuída	53 %
Variação	26,99 %
Emissões por transporte	568,2477579 kgCO ₂
Acréscimo emissões por transporte	11,07247469 kgCO ₂
Emissões estimadas de material	37770,53379 kgCO ₂
Emissões iniciais estimadas de CO₂	38349,85403 kgCO₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas	0 kgCO ₂
Emissões de CO ₂ recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0 kgCO ₂

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de
kgCO₂




Fonte: A autora.

Por fim, a Figura 59 apresenta as emissões do material telha de fibrocimento para o quantitativo de Piva (2019) de 1.870,100 kg, transformados em número de unidades de telha a partir da transformação do peso para determinada dimensão de telha.

Figura 59 – Estimativas de emissões iniciais e recorrentes para a telha de fibrocimento

TELHA FIBROCIMENTO

Selecione a loja de compra


Selecione a opção disponível

Especifique a telha

Insira a quantidade necessária em unidades unidades de telhas de fibrocimento


Opcional
 Insira a distância do fornecedor à obra km


Opcional: clique com o botão direito do mouse sobre a coordenada geográfica destacada ao lado esquerdo e copie. Após, clique no ícone laranja à direita para abrir o endereço eletrônico Google Maps, e cole a coordenada no local de busca.



Fator de Emissão do material	0,899 kgCO2/kg
Massa específica média do material	não se aplica
Quantidade de material em kg	2278 kg
Perda atribuída	10 %
Varição	0,00 %
Emissões por transporte	24,39526952 kgCO2
Acréscimo emissões por transporte	0,470163376 kgCO2
Emissões estimadas de material	2252,7142 kgCO2
Emissões iniciais estimadas de CO2	2277,579633 kgCO2
Emissões de CO2 recorrentes previstas	198,7689 kgCO2
Emissões de CO2 recorrentes previstas de transporte do estabelecimento à obra	0,041485004 kgCO2

As emissões estimadas iniciais e recorrentes para o seu material são de
2476,39 kgCO2





MENU INICIAL

Fonte: A autora.