



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

EDUARDO RODRIGO BIER

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO
INTERNA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO
MEDIANTE ACV**

Londrina
2018

EDUARDO RODRIGO BIER

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO
INTERNA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO
MEDIANTE ACV**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Orientadora: Prof. Dra. Deize Dias Lopes

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Bier, Eduardo Rodrigo.

Avaliação ambiental de sistemas de vedação interna de blocos cerâmicos e de concreto mediante ACV / Eduardo Rodrigo Bier. - Londrina, 2018.
154 f. : il.

Orientador: Deize Dias Lopes.

Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Avaliação do ciclo de vida - Tese. 2. Vedações internas - Tese. 3. Alvenaria de blocos cerâmicos - Tese. 4. Alvenaria de blocos de concreto - Tese. I. Lopes, Deize Dias. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.

EDUARDO RODRIGO BIER

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO INTERNA DE
BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO MEDIANTE ACV**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dra. Deize Dias Lopes
Universidade Estadual de Londrina -UEL

Prof. Dr. Altibano Ortenzi Junior
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dra. Ana Carolina Badalotti Passuello
Universidade Federal do Rio Grande do Sul -
UFRGS

Londrina, 18 de maio de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela inspiração, persistência, coragem e esperança concedidas no decorrer da jornada de estudos realizados no curso de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, e em especial durante a realização e concretização desta dissertação.

À minha orientadora neste trabalho, a professora Dra. Deize Dias Lopes, agradeço pela dedicação, disposição, tempo e atenção prestados ao longo de todo o curso de Mestrado e especialmente durante a orientação deste trabalho.

Às professoras Dra. Berenice Martins Toralles e Dra. Ana Carolina Badalotti Passuello, sou grato pelas sugestões e contribuições concedidas na Banca de Qualificação deste trabalho, possibilitando a sua complementação e desenvolvimento final.

À minha amada esposa, Luciane, agradeço por sempre estar ao meu lado, por me apoiar e incentivar no alcance dos meus objetivos e por estarmos vivenciando juntos durante o período do Mestrado um dos momentos de maior alegria em nossas vidas: a vinda da nossa linda, preciosa e amada Milena.

Aos meus pais Norberto Harri Bier (*In Memoriam*) e Cristina Hildigard Theobald Bier, manifesto a minha gratidão eterna: pelo incentivo, sempre transmitido, à dedicação e valorização dos estudos.

Ao meu irmão Anderson, pelo apoio, companheirismo e amizade.

BIER, Eduardo Rodrigo. **Avaliação ambiental de sistemas de vedação interna de blocos cerâmicos e de concreto mediante ACV**. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2018.

RESUMO

No presente trabalho foi desenvolvida uma análise comparativa sob a perspectiva ambiental do ciclo de vida de dois tipos de solução para paredes internas: os sistemas de blocos cerâmicos e de blocos de concreto. A metodologia usada na análise é a avaliação do ciclo de vida (ACV). O ciclo de vida dos insumos componentes de ambas alternativas de vedação é considerado integralmente: desde a extração da matéria-prima até o gerenciamento dos resíduos provenientes da execução e da demolição das alvenarias. A unidade funcional adotada para compatibilizar os fluxos elementares de material e energia é 1,00 m² de alvenaria. Os dados relativos aos materiais e aos resíduos foram obtidos de inventários, originalmente secundários provenientes da base de dados *EcoInvent*, contudo ajustados à realidade brasileira conforme a cadeia nacional de produção. No que se refere à distribuição dos produtos e à destinação dos resíduos de construção e demolição, foram inventariadas distâncias e tonelagens para o transporte rodoviário e urbano por caminhão de carga, segundo o contexto espacial da cidade de Londrina, adotado como referência de localização geográfica neste estudo. O programa GaBi, versão do banco de dados *Education 2016*, foi o *software* utilizado na modelagem dos ciclos de vida de ambos sistemas de vedação estudados, e respectivos materiais constituintes, bem como na avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV). O método de avaliação CML 2001 foi utilizado na caracterização e quantificação dos impactos ambientais. Os resultados alcançados demonstraram não haver diferença considerável entre os sistemas de vedação interna avaliados em termos de potenciais de impacto totais registrados. Dentre os materiais estudados, o potencial de impacto mais acentuado está associado ao ciclo de vida da argamassa de cimento, empregada no assentamento dos blocos e no revestimento das paredes, sobretudo em virtude do elevado percentual de perdas de material durante a construção.

Palavras Chave: Avaliação do ciclo de vida. Sistemas de vedação interna. Bloco cerâmico. Bloco de concreto

BIER, Eduardo Rodrigo. **Environmental evaluation of ceramic and concrete block internal walls systems by LCA**. Master's Dissertation (Post-graduation *Stricto Sensu* in Buildings Engineering and Sanitation) – State University of Londrina. Londrina, 2018.

ABSTRACT

In this dissertation a comparative analysis from an environmental approach was undertaken of the life cycle of two alternative solutions that can be used for interior partition walls: the ceramic block and the concrete block systems. The Life Cycle Assessment (LCA) methodology was applied in the analysis. The life cycle of the component materials used to build the internal partition walls was entirely considered, since the raw materials acquisition until the walls construction and demolition wastes management. The functional unit defined to count the material and energy elementary flows was 1,00 m² of wall system. The materials and wastes data were obtained from the *EcoInvent* database, although adjusted to the Brazilian reality according to its supply chains. In relation to the products distribution and the construction and demolition waste transportation, the distances and lorry tonnages were taken into account to model the inventory, in accordance with the Londrina city spatial context, which was adopted as geographical location reference in this study. The *GaBi* program, database version *Education 2016*, was the software used to model the both investigated sealing systems, and their respective constituent materials, life cycles, as well as was the software used for the Life Cycle Impact Assessment (LCIA). The environmental impacts were characterized and measured with the *CML2001* evaluation method. The results achieved with the LCA showed that there isn't a substantial difference between the both inner wall systems evaluated in terms of total impact potentials. Among the construction materials considered in the study, the greater impact potential is related to the life cycle of the cement mortar, utilized for the blocks settlement and wall coverings, especially due to the high losses rate of this material during the construction stage.

Keywords: Life cycle assessment. internal sealing systems. Ceramic block. Concrete block

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Produção mineral global em 2014	25
Figura 2.2 – Consumo dos principais materiais para construção no Brasil, em 2014, em bilhões de toneladas	25
Figura 2.3 – Coleta total de RCD no Brasil em 2014 e em 2015	26
Figura 2.4 – Coleta total dos RCD por região brasileira em 2015	27
Figura 2.5 – Juntas de amarração	31
Figura 2.6 – Juntas a prumo	31
Figura 2.7 – Amarração das fiadas da parede de meia vez	32
Figura 2.8 – Amarração das fiadas da parede de uma vez	32
Figura 2.9 – Bloco de concreto simples	33
Figura 2.10 – Espessuras das juntas de assentamento da alvenaria de blocos de concreto simples	34
Figura 2.11 – Fases de uma ACV	37
Figura 2.12 – Esquema conceitual da AICV	40
Figuras 2.13 – Emissões de dióxido de carbono decorrentes da produção e transporte de pisos na Noruega	46
Figura 3.1 – Detalhe construtivo da alvenaria de blocos cerâmicos – corte vertical	52
Figura 3.2 – Detalhe construtivo da alvenaria estrutural de blocos de concreto - corte horizontal	53
Figura 3.3 – Sistema de produto e fronteiras do sistema para o ciclo de vida das tipologias de parede em avaliação	55
Figura 3.4 – Ciclo de vida do bloco cerâmico	59
Figura 3.5 – Mapeamento de 1,00 metro quadrado da alvenaria de blocos cerâmicos	71
Figura 3.6 – Mapeamento de 1,00 metro quadrado da alvenaria de blocos de concreto	71
Figura 3.7 – Corte transversal de 1,00 metro quadrado das alvenarias de blocos cerâmico e de concreto	72

Figura 4.1 – Resultados da AICV em valores absolutos para ambos sistemas de vedação avaliados com a contribuição individual de cada insumo representada	81
Figura 4.2 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida do bloco cerâmico	85
Figura 4.3 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida do bloco de concreto	86
Figura 4.4 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da argamassa de assentamento do bloco cerâmico	88
Figura 4.5 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da argamassa de assentamento do bloco de concreto.	88
Figura 4.6 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da argamassa de revestimento	89
Figura 4.7 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da tinta látex PVA.....	90
Figura 4.8 – Participação relativa, em valores percentuais, dos principais componentes da fabricação do bloco de concreto	91
Figura 4.9 – Participação relativa, em valores percentuais, dos principais componentes da fabricação da argamassa	91
Figura 4.10 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida do sistema de vedação de bloco cerâmico	92
Figura 4.11 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo do sistema de vedação de bloco de concreto.....	93
Figura 4.12 – Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo do sistema de vedação de bloco de concreto.....	93
Figura 4.13 – Resultados da AICV em valores percentuais médios: distribuição dos impactos ao longo do ciclo de vida do sistema de vedação de bloco de concreto.....	94

Figura 4.14 – Resultados da AICV em valores absolutos para ambos sistemas de vedação avaliados com a contribuição individual de cada insumo representada, conforme o cenário proposto na análise de sensibilidade.	98
Figura A.1. Trajeto do caminhão entre a fábrica de blocos cerâmicos e o comércio distribuidor	118
Figura A.2. Trajeto do caminhão entre a fábrica de blocos concreto e o comércio distribuidor	118
Figura A.3. Trajeto do caminhão entre a fábrica de argamassas e o comércio distribuidor.	119
Figura A.4. Trajeto do caminhão entre a fábrica de tinta látex PVA e o comércio distribuidor	119
Figura B.1. Fachada principal.....	121
Figura B.2. Cozinha.....	121
Figura B.3. Dormitório	122
Figura B.4. Banheiro.....	122
Figura B.5. Área-de-serviço.....	122
Figura B.6. Fachada lateral	122
Figura B.7. Centro de referência do banco de dados de residências de Londrina	127
Figura B.8. Circunferência indicativa da localização da residência modelo	130
Figura C.1. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco norte.....	132
Figura C.2. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco leste..	132
Figura C.3. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco sul.....	133
Figura C.4. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco oeste..	133
Figura D.1. Esquema estático: carregamentos no Veículo Atego 1418/48.....	134
Figura D.2. Acondicionamento dos paletes de blocos cerâmicos na carroçaria do caminhão	135
Figuras D.3 e D.4. Detalhes dos paletes com 5 e 4 fiadas de blocos cerâmicos, respectivamente.....	135

Figura D.5.	Acondicionamento dos paletes de blocos de concreto na carroçaria do caminhão.....	136
Figuras D.6 e D.7.	Detalhes dos paletes com 2 e 3 fiadas de blocos de concreto, respectivamente.....	136
Figura D.8.	Acondicionamento dos paletes de argamassa na carroçaria do caminhão	137
Figuras D.9 e D.10.	Detalhes dos paletes com 4 e 3 fiadas de argamassa, respectivamente.....	137
Figura D.11.	Acondicionamento dos paletes de tinta látex PVA na carroçaria do caminhão	138
Figura D.12.	Detalhe isolado da carga de tinta látex PVA	138
Figura E.1.	Distância do percurso do caminhão do marco sul ao centro de tratamento de resíduos (CTR)	139
Figura E.2.	Distância do percurso do caminhão do marco leste ao centro de tratamento de resíduos (CTR)	140
Figura E.3.	Distância do percurso do caminhão do marco oeste ao centro de tratamento de resíduos (CTR)	141
Figura E.4.	Distância do percurso do caminhão do marco leste ao centro de tratamento de resíduos (CTR)	142
Figura E.5.	Acondicionamento das embalagens e respectivos resíduos de tinta látex PVA na caçamba estacionária de 7 m ³	143
Figura BB.1.	Modelo de caminhão de carga da linha Atego da Mercedes-Benz do Brasil LTDA.....	153
Figura BB.2.	Veículo Atego 1418/48 com carroçaria do tipo aberta	153
Figura BB.3.	Veículo Atego 1418/48 com carroçaria do tipo plataforma fechada e coberta	154

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Dimensões nominais dos blocos de concreto	33
Tabela 2.2 – Principais métodos de AICV disponíveis no mundo.....	39
Tabela 2.3 – Categorias de impacto do método de avaliação CML 2001	42
Tabela 2.4 – Ferramentas computacionais disponíveis para ACV	50
Tabela 3.1 – Adaptações no ICV de insumos.....	61
Tabela 3.2 – Distâncias de transporte estimadas entre a fábrica e comércio distribuidor	64
Tabela 3.3 – Distâncias do transporte dos insumos por caminhão de carga da fonte fornecedora aos locais das obras	65
Tabela 3.4 – Estimativa das cargas úteis transportadas.....	68
Tabela 3.5 – Estimativa do consumo de eletricidade para o preparo de 1 kg de argamassa pronta	69
Tabela 3.6 – Rendimento dos blocos.....	69
Tabela 3.7 – Rendimento da tinta látex PVA	70
Tabela 3.8 – Rendimento das argamassas de assentamento e revestimento.....	70
Tabela 3.9 – Vida útil de projeto (VUP) mínima e número de substituições consideradas.....	72
Tabela 3.10 – Estimativas dos percentuais de perdas de materiais na obra	75
Tabela 3.11 – Distâncias do transporte dos resíduos dos insumos por caminhão dos locais das obras ao centro de tratamento.....	76
Tabela 3.12 – Especificações para a estimativa das cargas úteis de resíduos transportadas	77
Tabela 3.13 – Categorias de impacto que compuseram a AICV	78
Tabela 4.1 – Índices perda de material durante o processo construtivo	97
Tabela 4.2 – Resultados da AICV em valores absolutos com a contribuição individual de cada insumo, conforme o cenário proposto na análise de sensibilidade	100
Tabela 4.3 – Reduções percentuais dos impactos promovidas pela implementação o cenário proposto na análise de sensibilidade	100
Tabela B.1. Atributos de cálculo para a estimativa da área total construída.....	124

Tabela B.2.	Resultados para a área total construída, com intervalo de confiança ao nível de 80%.....	126
Tabela B.3	Atributos de cálculo para a estimativa da distância ao centro de referência.....	128
Tabela B.4.	Resultados para a distância da residência modelo ao centro de referência de localização, com intervalo de confiança ao nível de 80%.....	129
Tabela D.1.	Carga útil máxima (Q) para o peso máximo admissível no eixo traseiro $V_t = 17.000,00$ kg.....	134
Tabela D.2.	Carga útil máxima (Q) para o peso máximo admissível no eixo dianteiro $V_d = 4.700,00$ kg.....	135
Tabela AA.1.	Inventário adaptado do bloco cerâmico – para 1 kg de bloco cerâmico.....	144
Tabela AA.2.	Inventário adaptado do concreto convencional – para 1 m ³ de concreto.....	145
Tabela AA.3.	Inventário adaptado do cimento – para 1 kg de cimento.....	146
Tabela AA.4.	Inventário adaptado do clínquer – para 1 kg de clínquer.....	147
Tabela AA.5.	Inventário adaptado da areia de dragagem – para 1 m ³ de areia.....	148
Tabela AA.6.	Inventário adaptado da argamassa industrializada – para 1 kg de argamassa.....	149
Tabela AA.7.	Inventário adaptado da cal hidratada – para 1 kg de cal.....	150
Tabela AA.8.	Inventário adaptado da tinta látex PVA branca – para 1 kg de tinta.....	151
Tabela AA.8.	Inventário adaptado do bloco de concreto – para 1 kg de bloco de concreto.....	152
Tabela BB.1.	Parâmetros admissíveis na montagem da carroçaria e no carregamento para transporte do veículo Atego 1418/48.....	154

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ABRAS – Associação Brasileira de Supermercados
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
- ACV – Avaliação do ciclo de vida
- AIA – *American Institute of Architects* (Instituto Americano de Arquitetos)
- AICV – Avaliação de impacto do ciclo de vida
- ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção
- ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
- ARE_TER – Área do terreno
- ARE_TOT – Área total construída
- CAD – *Computer aided design* (concepção assistida por computador)
- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
- CEF – Caixa Econômica Federal
- CML – Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, nos Países Baixos
- CONSERV – Estado de conservação
- CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito
- CPP – Comitê Permanente de Paletização
- CTR – Centro de tratamento de resíduos
- EC-JRC – *European Commission* (Comissão Europeia) – *Joint Research Centre* (Centro de Pesquisa Conjunta)
- GEE – Gases do efeito estufa
- IBAPE – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICV – Análise de inventário do ciclo de vida

ILCD –	<i>International Reference Life Cycle Data System</i> (Sistema de Dados do Ciclo de Vida de Referência Internacional)
IPCC –	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
ISO –	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional para Padronização)
NBR –	Norma Brasileira Registrada
PBR - I –	Paquete padrão para distribuição nacional
PBT –	Peso Bruto Total
PIB –	Produto interno bruto
PMCMV –	Programa Minha Casa Minha Vida
RCD –	Resíduos de construção e demolição
SEBRAE –	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SINAPI –	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TCPO –	Tabela de Composição de Preços para Orçamentos
VAB –	Valor adicionado bruto
VAL_TOT –	Valor total do imóvel
VAL_UNI –	Valor unitário
VUP –	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Contextualização do problema	19
1.2	Justificativa para o desenvolvimento do trabalho	20
1.3	Objetivo geral	22
1.3.1	Objetivos específicos	22
1.4	Delimitações	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1	Sustentabilidade e o setor da construção civil voltado a edificações	24
2.2	Sistema de vedações internas	30
2.2.1	Alvenaria de blocos cerâmicos	30
2.2.2	Alvenaria de blocos de concreto	32
2.3	O método da ACV (avaliação do ciclo de vida)	34
2.3.1	Fases da ACV	36
2.3.1.1	Definição de objetivo e escopo.....	36
2.3.1.2	Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)	37
2.3.1.3	Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)	38
2.3.1.4	Interpretação do ciclo de vida.....	43
2.3.2	A ACV aplicada na construção civil	44
2.3.3	Softwares para ACV	49
2.3.3.1	O programa GaBi	49
3	METODOLOGIA	51
3.1	Definição de objetivo e escopo	51
3.1.1	Objetivo	51
3.1.2	Escopo	54
3.1.3	Função e unidade funcional	56
3.1.4	Fronteiras	56

3.2	Inventário do ciclo de vida	57
3.2.1	Produção dos insumos	60
3.2.2	Transportes dos produtos	63
3.2.2.1	Distâncias de transporte das fábricas ao centro de comercialização	64
3.2.2.2	Distâncias de transporte do centro de comercialização aos locais das obras ..	65
3.2.2.3	Tonelagens das cargas dos produtos.....	66
3.2.3	Processo executivo no canteiro de obras	68
3.2.4	Fase de uso	72
3.2.5	Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RDC)	73
3.2.4.1	Distâncias do transporte dos resíduos dos locais das obras ao CTR.....	75
3.2.4.2	Tonelagens das cargas dos resíduos.....	76
3.3	Avaliação do impacto do ciclo de vida	77
3.4	Interpretação do ciclo de vida	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1	Análise de sensibilidade	97
5	CONCLUSÕES	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
	APÊNDICES	119
	APÊNDICE A – Trajetos percorridos por caminhões de carga, com as respectivas distâncias estimadas, entre a unidade fabricante e o centro comercial fornecedor dos produtos	119
	APÊNDICE B –Estimativa da localização das obras das residências com interesse social no contexto urbano da cidade de Londrina com base na Estatística Inferencial.....	121
B.1	Estimativa da área total construída da residência modelo.....	121
B.2	Estimativa da localização das obras.....	127

B.3 Estimativa das distâncias de transporte entre o comércio fornecedor de insumos e os locais das obras.....	130
APÊNDICE C –Trajetos percorridos por caminhões de carga pelas vias urbanas, com as respectivas distâncias estimadas, entre o comércio fornecedor e os marcos, representativos da localização das obras, situados em cada uma das quatro zonas da cidade de Londrina	133
APÊNDICE D –Estimativas das tonelagens das cargas dos produtos para transporte por caminhão	135
APÊNDICE E – Trajetos percorridos por caminhões de carga pelas vias urbanas, com as respectivas distâncias estimadas, para o transporte dos resíduos gerados nas obras até a sede da gestora do tratamento dos resíduos de construção e demolição (RCD)	140
ANEXOS	145
ANEXO A – Inventários do ciclo de vida, adaptados à realidade brasileira, dos insumos que constituem ambas soluções de vedação interna estudadas	145
ANEXO B – Estimativas das tonelagens das cargas dos produtos para transporte por caminhão	154

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é reconhecida globalmente, por um lado, pela ampla contribuição ao desenvolvimento socioeconômico de um país e, por outro, por consistir numa das atividades mais impactantes e degradantes do planeta (BESSA, 2010). Segundo Ochoa *et al.* (2002), na economia norte-americana as edificações residenciais representam 5,3% do PIB, 38% do consumo de eletricidade, 22% do consumo energético, 24% da emissão de gases do efeito estufa, 36% da geração de resíduos perigosos e 11% da emissão de gases tóxicos.

De acordo com Passuello *et al.* (2014), embora os dados denotem a relevância expressiva do setor em um país desenvolvido, indicadores semelhantes também são esperados em países em franco desenvolvimento como o Brasil. Pode-se afirmar que a indústria da construção civil, ao menos nas últimas décadas, ocupa posição de destaque no ranking de setores da economia brasileira. Apesar da relativa estagnação verificada no setor desde o começo de 2015, em decorrência do panorama geral de incertezas na economia, o ramo habitacional, sobretudo, vinha até então registrando uma ascensão considerável no país.

No ano de 2015, o setor da construção civil foi responsável por 6,43 % do valor adicionado bruto (VAB) nacional, isto é, o valor do produto interno bruto (PIB) com o desconto dos impostos incidentes (IBGE, 2016). Considerando-se apenas o setor secundário, no caso a indústria, a construção civil respondeu por 28,28 % do VAB em 2015, conforme a mesma fonte. Em 2013, o setor empregou 8.808.155 trabalhadores, o equivalente a 8,59% do total de pessoas com ocupação laboral no Brasil.

Um dos aspectos que ainda diferencia os países ricos daqueles em desenvolvimento, no que tange à sustentabilidade no setor da construção, é a necessidade dos últimos em conciliar sustentabilidade e o atendimento do déficit habitacional que enfrentam. De acordo com Sachs (1993¹, *apud* EGAS, 2008), nos países em que o problema social encontra-se melhor resolvido a questão ambiental tende a ser abordada de forma mais isolada.

¹ SACHS, I. (1993). **Estratégia de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente.** Tradução de Magda Lopes. São Paulo. Studio Nobel, Fundação do Desenvolvimento Administrativo.

Apesar de consolidada, a indústria da construção requer inovações e adequações (COSTA e NASCIMENTO, 2011), capazes de promover o ajuste do setor aos atuais conceitos de sustentabilidade. No setor da construção civil, a aplicação da avaliação do ciclo de vida (ACV) está engajada neste contexto.

A ACV consiste numa metodologia consagrada (IRIBARREN *et al.*, 2015). Trata-se de uma análise eficaz e sistêmica que permite estimar o impacto ambiental associado a um produto, processo ou atividade (ASIF *et al.*, 2007). Os potenciais de impacto são medidos através da quantificação dos fluxos de: energia consumida, materiais utilizados e resíduos lançados no meio ambiente ao longo das fases do ciclo de vida do objeto em estudo (PASSER *et al.*, 2012). No caso da construção civil, o objeto da análise pode variar desde um insumo ou sistema construtivo específico até a edificação como um todo ao longo da sua vida útil (CAMPOS, 2012).

Em linhas gerais, durante o desenvolvimento de um estudo de ACV, inicialmente os fluxos relacionados à extração de matérias-primas, produção, transportes, uso, término da vida útil e gerenciamento dos resíduos são inventariados. Em seguida, os impactos ambientais, associados às etapas do ciclo de vida, são calculados sob a forma de categorias de impacto, como por exemplo, aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, depleção de recursos fósseis, ecotoxicidade aquática, entre outras. Os resultados de um estudo de ACV normalmente possibilitam identificar como os impactos ambientais estão distribuídos nos processos e nas respectivas fases do ciclo de vida do produto ou do sistema avaliado (SCHEUER *et al.*, 2003). A ACV é um recurso apropriado para a comparação de duas ou mais soluções tecnológicas que desempenham satisfatoriamente a mesma função, mas que diferem entre si em termos de consequências ambientais (MATEUS *et al.*, 2013).

No presente estudo, a ACV é empregada na realização da análise comparativa entre duas soluções de paredes internas: os sistemas de blocos cerâmicos e de blocos de concreto. O ciclo de vida dos insumos que compõem os sistemas é abordado sob uma perspectiva de integralidade, isto é, do berço ao túmulo. São contemplados, portanto, os estágios da extração de matérias-primas, produção dos insumos, transportes aos locais de comercialização e das obras, execução da alvenaria, demolição e gerenciamento dos resíduos da construção e da demolição.

1.1 Contextualização do problema

Segundo Torgal e Jalali (2010), entre os principais problemas ambientais relacionados aos materiais utilizados na construção civil estão os impactos ambientais provocados pela extração das matérias-primas necessárias à sua produção. Soares *et al.* (2006) destacam, como alguns dos impactos mais frequentes durante a etapa de extração de matérias-primas, a destruição da biodiversidade dos locais de extração, o elevado volume de resíduos gerados no decorrer das atividades de mineração, bem como os acidentes ambientais provocados por este tipo de atividade.

Contudo, a sustentabilidade dos materiais de construção consiste num assunto cujas implicações ultrapassam a necessidade da minimização da extração de matérias-primas não renováveis e da prevenção de acidentes com prejuízos ambientais e sociais irreparáveis. Embora a consideração destas questões não seja menos importante, outros critérios também devem nortear a escolha dos materiais de construção, como: a baixa energia incorporada (SARTORI e HESTNES, 2007), níveis reduzidos de emissão de gases do efeito estufa (DADHICH *et al.* 2015), possibilidade de reciclagem ao final da vida útil (GAYARRE *et al.*, 2016; SANTOS *et al.* 2010) e reaproveitamento de resíduos de outras indústrias durante a produção (SEBRAE, 2015).

Deste modo, os múltiplos impactos ambientais verificados ao longo do ciclo de vida dos produtos devem ser considerados durante as decisões que envolvem a concepção das edificações. Esta tarefa, dada a complexidade das interações presentes nos processos envolvidos no decorrer do ciclo de vida dos produtos, requer o aporte de metodologias próprias, entre as quais se destaca a de ACV.

Conforme o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2015), além de existir uma carência de estudos de ACV de materiais de construção no Brasil, as informações sobre os impactos correlatos são limitadas, de difícil acesso e por vezes onerosas. Além disso, os impactos relativos ao ciclo de vida dos produtos possuem estreita relação com as circunstâncias locais do contexto de realização do estudo. Deste modo, existe no nosso país uma demanda por estudos que relacionem a prática da ACV

ao cenário local, de modo a torná-la um instrumento de gestão aplicável à realidade brasileira (PASSUELLO *et al.*, 2014).

1.2 Justificativa para o desenvolvimento do trabalho

Estudos recentes que aplicam a metodologia de ACV para analisar o impacto ambiental no setor da construção têm sido dirigidos à avaliação do desempenho energético das soluções para as envoltórias da edificação, isto é, vedações externas (IRIBARREN *et al.*, 2015; MONTEIRO e FREIRE, 2012; SOUZA *et al.*, 2016) e cobertura (CHENANI *et al.*, 2015; NAPOLANO *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2015). Esta constatação provavelmente está em consonância com a tendência das avaliações ambientais terem sido dirigidas durante algum tempo à busca de melhorias da eficiência energética das edificações durante a fase de uso, uma vez que as envoltórias integram a região mais periférica da construção e portanto têm a maior influência no consumo de energia entre os sistemas que integram a edificação (MONTEIRO e FREIRE, 2012).

Entretanto, segundo Mateus *et al.* (2013), os impactos ambientais ocorridos durante o estágio em que a edificação está em uso podem mascarar a influência dos materiais utilizados na construção. Deste modo, existe uma demanda por estudos que considerem integralmente o ciclo de vida dos sistemas que compõem a edificação. No caso do presente estudo, o foco definido para a avaliação foram as vedações internas, dada a diferença funcional que existe entre vedações internas e externas em termos de influência no desempenho termoenergético da edificação.

Como neste trabalho não se pretende realizar a quantificação do consumo de energia elétrica operacional associada ao nível de eficiência térmico da edificação, com o qual as vedações externas possuem uma relação estreita conforme comprovado nos estudos supracitados, a avaliação ambiental procedida na presente pesquisa tem completude suficiente apenas sobre os impactos potenciais associados ao ciclo de vida das vedações internas.

Os sistemas de alvenaria em blocos cerâmicos e de concreto foram escolhidos como objetos da análise ambiental comparativa realizada no estudo, pois a parede de blocos cerâmicos é tradicionalmente utilizada na região de Londrina como solução para

a divisão dos ambientes no interior de residências. Contudo, nos últimos anos tem sido verificada a tendência de substituição do sistema de blocos cerâmicos pelo de blocos de concreto. Esta tendência, impulsionada por algumas características vantajosas da alvenaria de blocos de concreto frente a de blocos cerâmicos, tem potencial para ser expandida nos próximos anos.

Algumas das vantagens apresentadas pela alvenaria de blocos de concreto que podem contribuir para constituí-la como alternativa mais atraente em face da alvenaria de blocos cerâmicos são: a maior regularidade geométrica e superficial da parede pronta que pode caracterizar a necessidade de aplicação de menor espessura de revestimento; o menor índice de perda de material em função da melhor aderência da argamassa aos blocos e também da maior resistência mecânica dos blocos que propicia menor ocorrência de quebras e defeitos nos mesmos por ocasião do transporte e das demais operações logísticas; e o menor consumo de mão-de-obra associado à maior rapidez do processo executivo (NOGUEIRA *et al.*, 2014; MARTINS, 2018).

Outro aspecto que pode estimular a substituição do emprego da alvenaria de blocos cerâmicos pelo uso da alvenaria de blocos de concreto é o custo da execução. Não foram encontradas publicações específicas para a cidade de Londrina que permitissem a comparação dos custos entre ambos os sistemas, todavia se considerarmos isoladamente a construção das paredes numa perspectiva de abrangência do estado do Paraná, existe a tendência da execução da alvenaria de blocos de concreto ser mais barata que a execução da alvenaria de blocos cerâmicos.

De acordo com a planilha de custos de composições de serviços da construção civil, com a inclusão dos encargos sociais sobre preços da mão-de-obra, publicada no mês de abril de 2018 pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2018), o custo médio paranaense de execução do metro quadrado de alvenaria de vedação de blocos cerâmicos com espessura de 9 centímetros assentados com argamassa preparada em betoneira é de R\$ 70,38. Enquanto segundo a mesma fonte, o custo médio paranaense de execução do metro quadrado de alvenaria de vedação de blocos de concreto com espessura de 9 centímetros assentados com argamassa preparada em betoneira é de R\$ 49,52.

Deste modo, as circunstâncias descritas nos parágrafos anteriores justificam o interesse pela realização do estudo de avaliação ambiental voltado à comparação entre os sistemas de vedação interna em blocos cerâmicos e de concreto. Almeja-se, com isso, o fornecimento de subsídios à tomada de decisão por profissionais responsáveis tecnicamente pela gestão de projetos de engenharia e arquitetura. Pretende-se proporcionar embasamento científico sob a perspectiva ambiental aos profissionais na escolha dos sistemas construtivos de vedação interna, e respectivos componentes, no momento da concepção projetual da edificação

1.3 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo a realização de uma análise comparativa dos potenciais impactos ambientais ao longo dos ciclos de vida de dois sistemas de vedação interna: o sistema de blocos cerâmicos e o de blocos de concreto, segundo os processos tecnológicos da cadeia produtiva brasileira e com a consideração da cidade de Londrina, como referência de localização geográfica e contexto urbano, para as estimativas das distâncias de transporte que ocorrem ao longo dos ciclos de vida dos insumos, considerando o período de vida útil de vinte anos da alvenaria.

1.3.1 Objetivos específicos

a) Utilizar a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) para quantificar os potenciais impactos ambientais ocorridos ao longo do ciclo de vida das soluções de alvenaria estudadas.

b) Modelar, com o aporte dos recursos do *software* GaBi, os ciclos de vida dos produtos empregados na construção das soluções de vedação investigadas.

c) Empregar dados adaptados aos contextos produtivo nacional e geográfico local de modo que, nos resultados alcançados pelo estudo, sejam refletidas coerentemente as realidades brasileira e regional.

d) Identificar e analisar, para ambos os sistemas construtivos comparados, a contribuição relativa aos impactos ambientais exercida pelos insumos considerados e pelas respectivas etapas do ciclo de vida.

1.4 Delimitações

As seguintes delimitações foram definidas com o intuito de nortear o desenvolvimento deste trabalho, segundo o escopo esperado de uma dissertação de mestrado:

a) foi desenvolvida a ACV apenas do sistema de vedações internas (paredes internas);

b) não são contemplados sistemas de instalações hidrossanitárias e elétricas eventualmente embutidos nas alvenarias;

c) a cidade de Londrina é considerada como referência de localização geográfica e contexto urbano para as estimativas das distâncias de transporte que ocorrem ao longo dos ciclos de vida dos insumos considerados no estudo.

d) Neste estudo, residências com padrão construtivo de interesse social foram definidas como referência ao levantamento das distâncias percorridas para a distribuição dos insumos e à localização das obras.

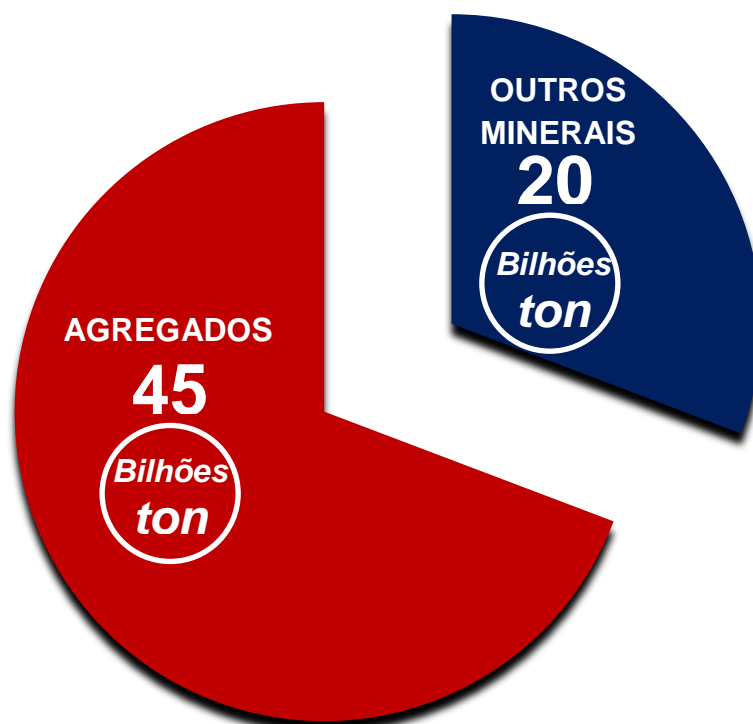
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sustentabilidade e o setor da construção civil voltado a edificações

Embora a indústria da construção civil seja imprescindível ao desenvolvimento social e econômico, os impactos ambientais dos processos construtivos, principalmente daqueles relacionados à extração de matérias-primas e à produção de materiais de construção, são vultuosos (RASHID e YUSOFF, 2015). O setor é mundialmente reconhecido como consumidor de recursos naturais em larga escala, e também é responsável por emissões de gases do efeito estufa causadoras de impactos relevantes ao ambiente (PASSUELLO *et al.*, 2014), além disso, as edificações consomem 40% do uso primário de energia, isto é, energia operacional e energia incorporada (HUANG *et al.*, 2018). De acordo com Isaia (2010), isoladamente a produção dos materiais de construção gera efeitos aparentemente menos nocivos do que a produção de insumos por outros tipos de indústria, no entanto o grande volume de produção torna a indústria da construção promotora de transformações consideráveis no planeta. Além disso, podem ser associadas ao setor outras transformações evidentes, como as modificações no meio ambiente por ocasião da implantação das obras, a elevada demanda energética, a geração de montantes expressivos de resíduos sólidos e prejuízos à drenagem urbana decorrentes da impermeabilização de superfícies extensas (SOARES *et al.*, 2006).

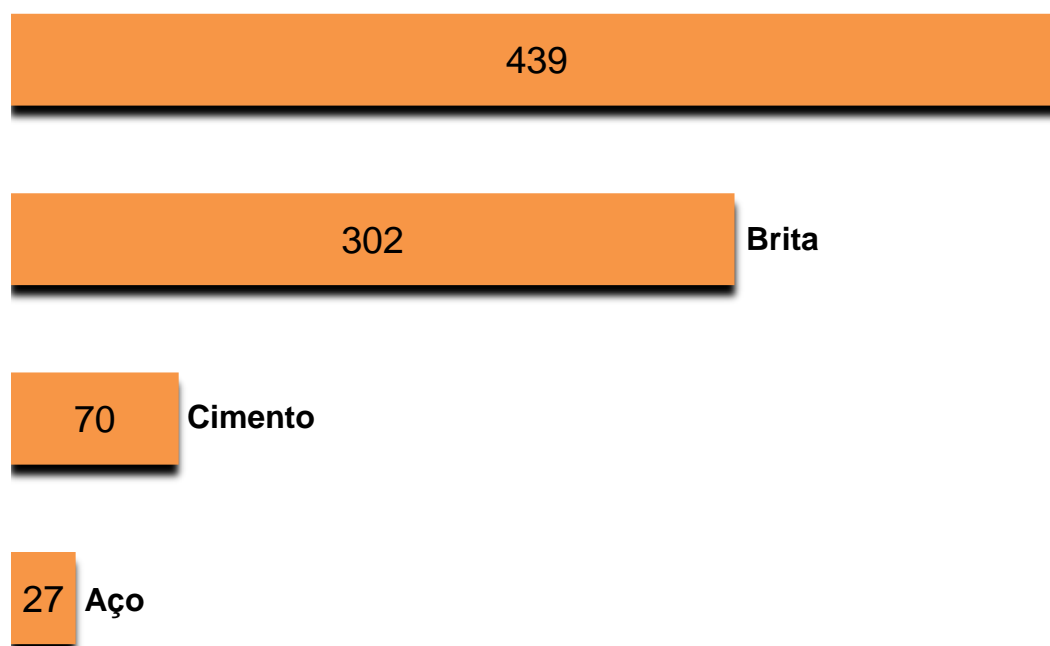
Com o intuito de exemplificar a importância, em termos econômicos, do setor da construção, pode ser citada a produção global de agregados (Figura 2.1). Conforme a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (ANEPAC, 2017), no ano de 2014, a produção mundial de agregados utilizados na construção civil representou cerca de dois terços (45 bilhões de toneladas) do total da produção mineral no mundo (65 bilhões de toneladas). Segundo a mesma fonte, foram consumidos no Brasil, também em 2014, 439 milhões de toneladas de areia, 302 milhões de toneladas de brita, outros 70 milhões de toneladas de cimento e outros 27 milhões de aço (Figura 2.2). Asif *et al.* (2007) afirmam que a indústria da construção totaliza um consumo de 40% dos materiais que circulam na economia global.

Figura 2.1. Produção mineral global em 2014.



Fonte: adaptado de ANEPAC (2017).

Figura 2.2. Consumo dos principais materiais para construção no Brasil, em 2014, em bilhões de toneladas.

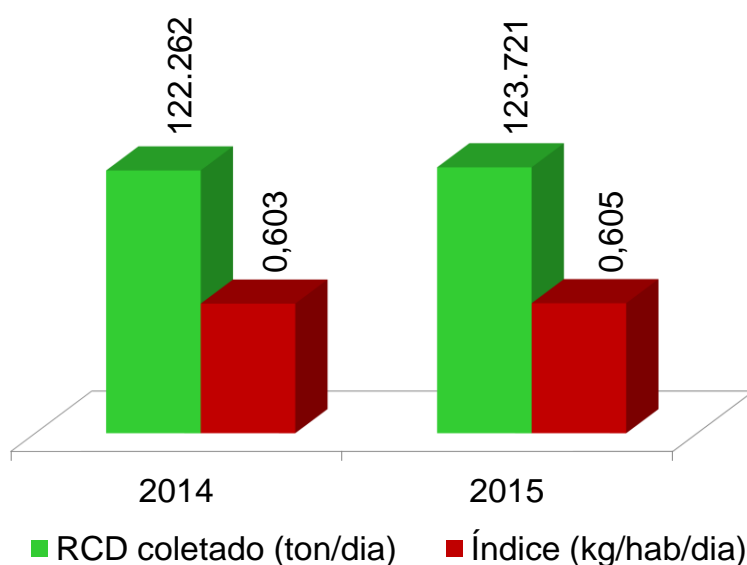


Fonte: adaptado de ANEPAC (2017).

Além do consumo expressivo de materiais, valores elevados são registrados no que tange à geração de resíduos de construção e demolição (RCD). Segundo o relatório “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015”, somente no ano de 2015 foram coletadas no país em média 123.721 toneladas diárias de RCD. Este valor equivale a um montante de 45 milhões de toneladas ao ano e representa um aumento de 1,2 % em relação ao ano anterior (Figura 2.3). A região Sudeste respondeu por mais da metade dos resíduos coletados (64.097 toneladas por dia), embora a região Centro-Oeste tenha apresentado o maior índice de coleta por habitante (0,901) deste tipo de resíduo sólido urbano (Figura 2.4) (ABRELPE, 2017).

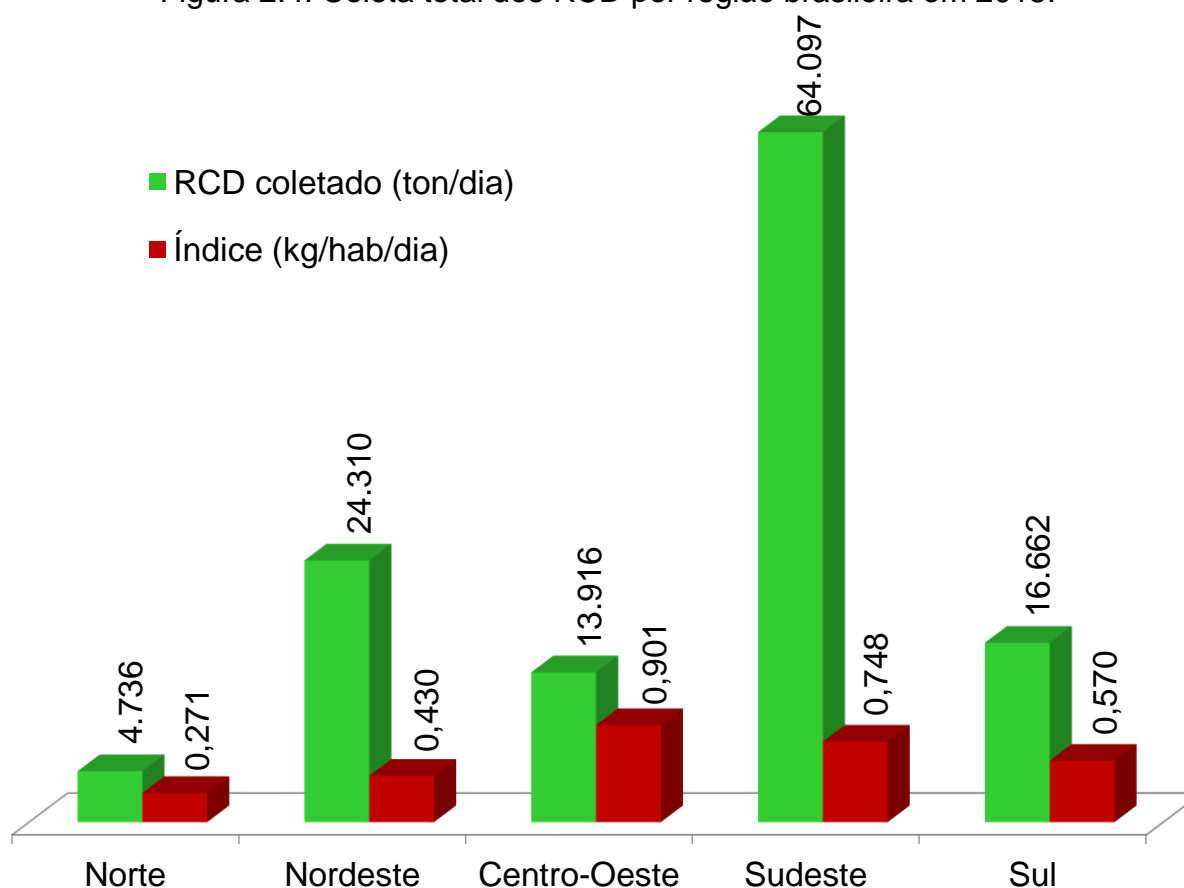
Contudo, cabe ressaltar que as quantidades desse tipo de resíduo tendem a ser ainda mais expressivas. Isto se deve ao fato dos números levantados estimarem apenas a porção de resíduos coletados pelo serviço público, uma vez que, a maioria dos municípios envolvidos não realiza a divulgação de dados de coleta provenientes de gestões privadas (ABRELPE, 2017). No Brasil, praticamente todo montante dos RCD coletados são destinados de maneira inadequada. Deste modo, volumes gigantescos de resíduos tornam-se material inútil e obsoleto, enquanto os recursos naturais são novamente extraídos do meio ambiente a fim de satisfazer a demanda por matérias-primas (CONDEIXA *et al.*, 2014).

Figura 2.3. Coleta total de RCD no Brasil em 2014 e em 2015.



Fonte: adaptado de ABRELPE (2017).

Figura 2.4. Coleta total dos RCD por região brasileira em 2015.



Fonte: adaptado de ABRELPE (2017).

Neste contexto, o setor de edificações participa de maneira significativa no consumo de energia, na emissão de gases do efeito estufa e de agentes formadores da chuva ácida (ASIF *et al.*, 2007). A demanda de energia nas construções durante o seu período de vida ocorre tanto direta como indiretamente (CABEZA *et al.*, 2014). A energia consumida diretamente contempla aquela usada na construção, operação, manutenção, reforma, restauração e eventual demolição do prédio; ao passo que a demanda indireta está associada ao consumo durante a produção dos materiais de construção e componentes das instalações (SARTORI e HESTNES, 2007). Segundo estes autores, a energia consumida indiretamente está relacionada ao conceito de energia incorporada (*embodied energy*) nos materiais e abrange inclusive as atividades pertinentes às fases de extração e transporte da matéria-prima. Segundo Wu *et al.* (2015), a operação de uma edificação consiste, entre outros, nos processos de aquecimento, refrigeração, ventilação, condicionamento de ar e iluminação.

Bribián *et al.* (2009) mencionam que a construção civil, inclusas todas as fases da vida útil das construções, conforme a descrição do parágrafo anterior, responde por 40% da energia consumida na Europa. Estes autores também concluíram que a energia incorporada nos materiais de construção representa mais de 30% da energia primária requerida durante a vida útil de uma residência.

No que se refere às emissões atmosféricas, estudos recentes sugerem que as edificações são responsáveis por cerca da metade do lançamento mundial de gases do efeito estufa. Segundo Dadhich *et al.* (2015), um relatório de 2008 do *UK Green Building Council* (Conselho para Construção Sustentável do Reino Unido) apontou que a indústria da construção civil responde por 50% das emissões de gases do efeito estufa (GEE) em todo o Reino Unido. Wu *et al.* (2015) relatam que um levantamento feito em 2007 pelo Instituto Americano de Arquitetos (AIA) estimava que aproximadamente 50% do total de emissões de GEE são gerados por processos correlatos à execução e à operação das edificações. Huang *et al.* (2018) estimaram que o setor da construção (infraestrutura e habitação) emitiu 5,7 bilhões de toneladas de CO₂ em 2009. Esse valor equivale a 23% das emissões associadas às atividades econômicas no mundo.

Dentre os materiais de construção mais utilizados, o cimento Portland destaca-se como grande emissor de GEE, uma vez que essa indústria é responsável por aproximadamente 7% das emissões de todas as atividades humanas (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Essas emissões são oriundas da combustão (40%), calcinação (50%), moagem e transporte (10%), processos relacionados à produção do clínquer, matéria-prima básica do cimento que resulta da calcinação do calcário misturado à argila e outros componentes químicos como o silício, o alumínio e o ferro (BOSOAGA *et al.*, 2009).

Os agregados para construção também contribuem com uma parcela significativa dos impactos promovidos ao meio ambiente. Como sugerem os dados mostrados na Figura 2.1, trata-se de uma das classes de materiais mais empregadas no mundo. Segundo Gan *et al.* (2016), a mineração, o processamento e o transporte de agregados consomem grande quantidade de energia e emitem expressivas quantidades de dióxido de carbono. Dessa forma, a mineração, necessária à obtenção de agregados, configura-se como uma das atividades mais impactantes ao meio ambiente.

Conforme Farias (2002), os principais impactos socioambientais decorrentes de mineração produtora de matéria-prima para a indústria da construção no Brasil são: a contaminação do lençol freático, a inutilização de solos cultiváveis, a destruição da mata ciliar, o aumento da turbidez em cursos d'água, vibração, ruído, emissão de particulado, conflitos devido ao uso e ocupação do solo e impactos ao patrimônio espeleológico.

De acordo com Wu *et al.* (2015), o setor da construção tem enfrentado uma crescente pressão para reduzir suas emissões de GEE, haja vista a contribuição do segmento para as emissões mundiais. No Reino Unido, o governo aprovou no Parlamento, em 2011, o chamado "orçamento do carbono", cujo objetivo principal é a redução pela metade das emissões de GEE até 2025, em comparação aos níveis de emissão registrados em 1990 (DADHICH *et al.* 2015).

A ideia de sustentabilidade ambiental na construção civil tem sido abordada nas últimas décadas, tanto por meio de pesquisas quanto pela implementação de práticas efetivas, com alguma ênfase na busca de soluções para o aprimoramento da eficiência energética das edificações durante a fase de utilização. Este enfoque aparentemente tem sido recorrente em várias partes do mundo, como no Canadá (COLE e KERNAN, 1996), na Suécia (ADALBERTH, 2000), nos Estados Unidos (SCHEUER *et al.*, 2003), na Noruega (SARTORI e HESTNES, 2007), na Espanha (BRIBIÁN *et al.*, 2009) e na China (CHANG *et al.*, 2011).

Dentre as razões que justificam esta abordagem certamente está o elevado consumo energético operacional das construções, que representa de 90 a 95% da energia consumida ao longo de todo o ciclo de vida da edificação (SARTORI e HESTNES, 2007). Contudo, conforme os autores supracitados, a crescente conscientização ambiental e a evolução de métodos para realizar estimativas energéticas e de outros aspectos ambientais, entre eles a avaliação do ciclo de vida (ACV), têm tornado as edificações cada vez mais eficientes do ponto de vista energético. Neste contexto, os materiais de construção empregados na etapa executiva tendem a adquirir maior importância. Isto é especialmente válido no caso do setor residencial, cujo consumo energético operacional é relativamente baixo (MONTEIRO e FREIRE, 2012).

Portanto, a escolha de materiais de construção adequados pode contribuir de forma decisiva na redução dos impactos ambientais gerados, diminuindo em até 17% a

energia gasta na construção de um edifício (THORMARK, 2006), bem como, em reduções de cerca de 30% nas emissões de dióxido de carbono (GONZALEZ e NAVARRO, 2006).

2.2 Sistema de vedações internas

O sistema de vedações internas é constituído por paredes destinadas à compartimentação dos diferentes ambientes no interior de uma edificação. Apesar deste sistema não desempenhar funções de carácter portante, ele deve satisfazer requisitos associados à durabilidade, isolamento acústico e segurança em caso de incêndio (FERRÁNDEZ-GARCÍA *et al.*, 2016). De acordo com Thomaz *et al.* (2009), a segurança estrutural que as alvenarias de vedação devem cumprir é restrita ao suporte do próprio peso, de cargas de utilização, como armários e rede de dormir, e cargas laterais estáticas e dinâmicas provenientes de impactos acidentais.

Deste modo, é evidente a relevância, em termos funcionais e de demanda de materiais que o sistema de vedações cumpre quando considerado o contexto executivo e operacional de uma residência. Mateus *et al.* (2013) afirmam que as paredes internas exercem a maior contribuição de entradas (*inputs*) de material, quando comparadas aos demais elementos construtivos não estruturais numa edificação. Neste sentido, a análise criteriosa dos componentes das alvenarias durante a concepção dos projetos executivos pode implicar na diminuição da pegada ecológica do setor da construção civil, haja vista a relevância, em termos de volume de materiais demandados, que as vedações representam no conjunto de sistemas de uma edificação (CONDEIXA *et al.* 2014).

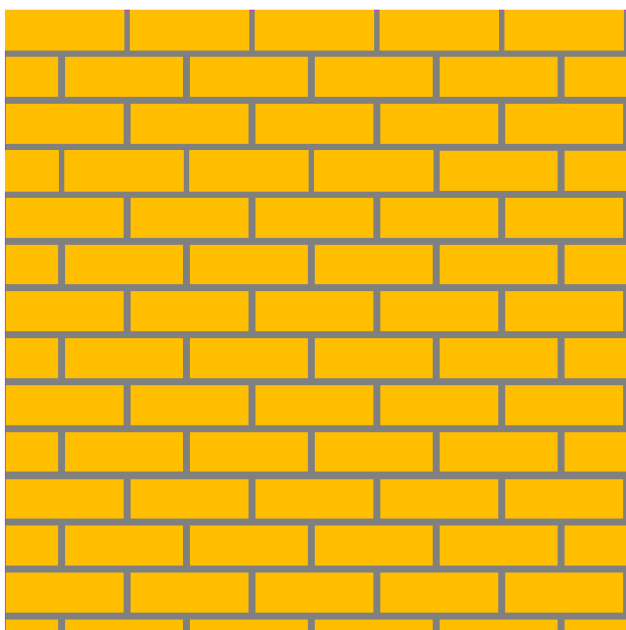
2.2.1 Alvenaria de blocos cerâmicos

No Brasil, a norma NBR 8545 (Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos – Procedimento) estabelece as condições exigíveis para a execução e fiscalização de alvenarias de componentes cerâmicos sem função estrutural (ABNT, 1984). De acordo com este instrumento normativo, o assentamento dos blocos cerâmicos deve ser procedido preferencialmente de modo que a disposição dos mesmos

configure o sistema de juntas de amarração, situação em que as juntas verticais são descontínuas (Figura 2.5). Neste caso, o emprego de armação é dispensado, diferentemente do que ocorre quando do uso do sistema de assentamento com juntas a prumo (Figura 2.6), no qual, são utilizadas juntas verticais contínuas, circunstância em que a utilização de armaduras longitudinais situadas na argamassa de assentamento é obrigatória (ABNT, 1984). Outras recomendações executivas contidas na norma NBR 8545 (ABNT, 1984) com relevância ao presente estudo são:

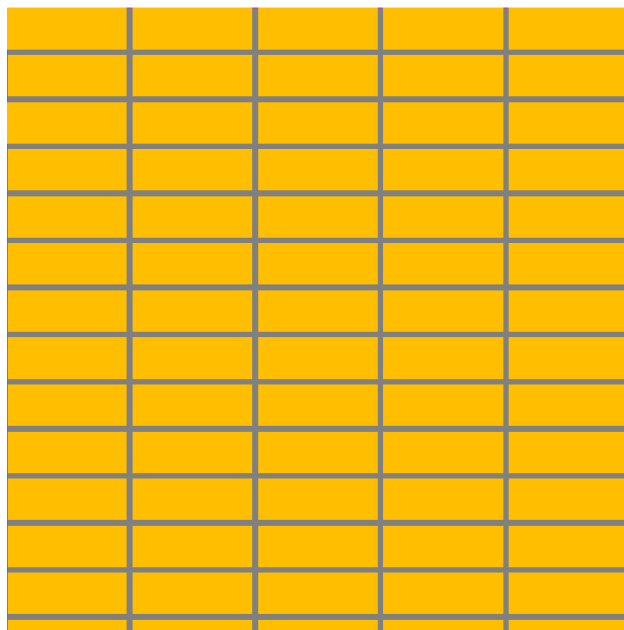
- os blocos de vedação não devem ser assentados com os furos na posição vertical e nem no sentido transversal ao plano da parede;
- as juntas de assentamento devem ter espessura de até dez (10) milímetros, valor máximo estipulado pela norma. As juntas também não devem conter vazios;
- as paredes devem ser moduladas preferencialmente de maneira a permitir o uso do maior número possível de blocos inteiros;
- as juntas de amarração mais comuns previstas são as de meia vez e uma vez (Figuras 2.7 e 2.8, respectivamente).

Figura 2.5. Juntas de amarração.



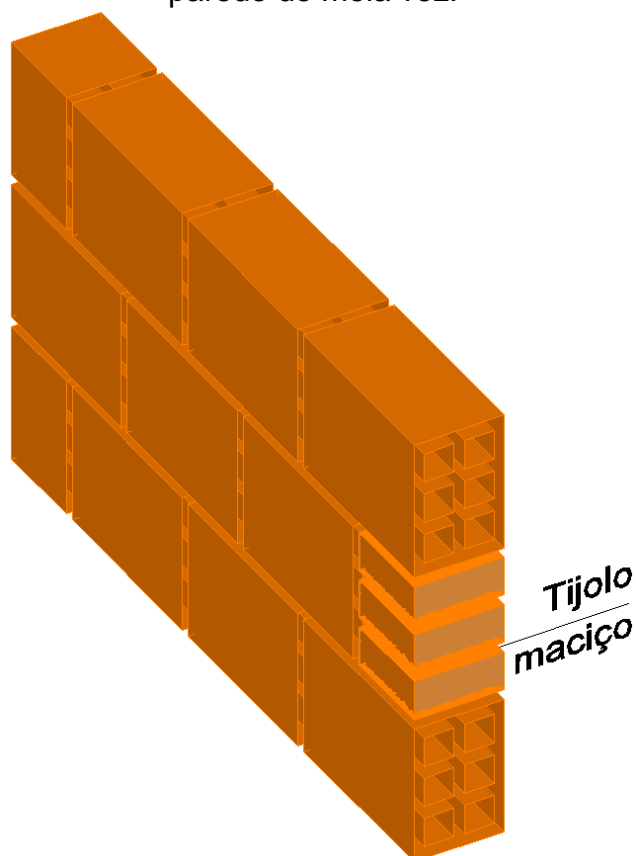
Fonte: adaptado da NBR 8545 (ABNT, 1984).

Figura 2.6. Juntas a prumo.



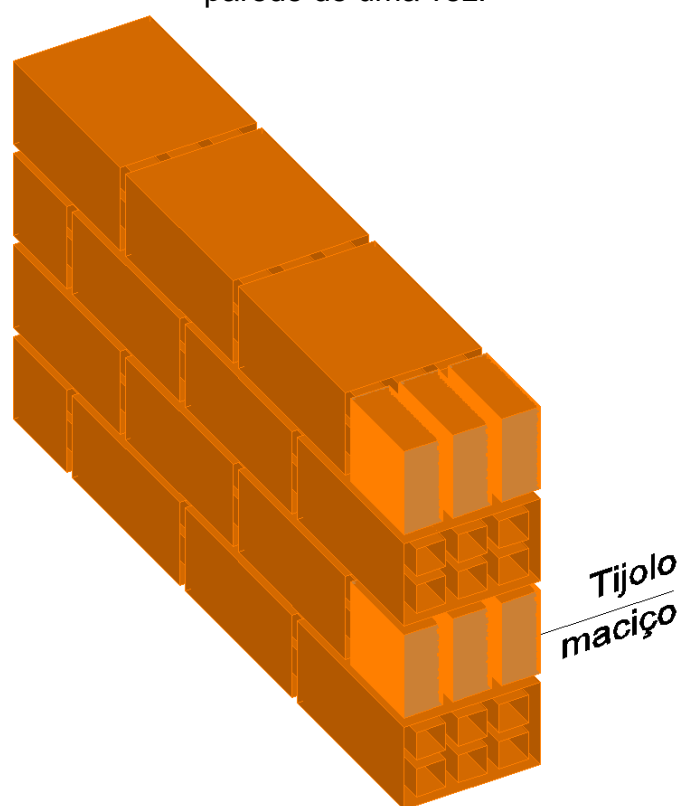
Fonte: adaptado da NBR 8545 (ABNT, 1984).

Figura 2.7. Amarração das fiadas da parede de meia vez.



Fonte: adaptado da NBR 8545 (ABNT, 1984).

Figura 2.8. Amarração das fiadas da parede de uma vez.



Fonte: adaptado da NBR 8545 (ABNT, 1984).

2.2.2 Alvenaria de blocos de concreto

Conforme a norma NBR 6136 (ABNT, 2016), as dimensões nominais dos blocos de concreto simples destinados à construção de alvenaria sem função estrutural devem ser as constantes na Tabela 2.1. Segundo a própria norma, dimensões nominais são aquelas:

[...] especificadas pelo fabricante para largura, altura e comprimento. Exemplo: 190 mm x 190 mm x 390 mm (b x h x l). (ABNT, 2016).

As principais tipologias dos blocos integrantes de uma família, de acordo com suas dimensões, são o bloco inteiro (bloco predominante) e o meio bloco (Tabela 2.1). O bloco inteiro de concreto simples é definido pela norma citada como:

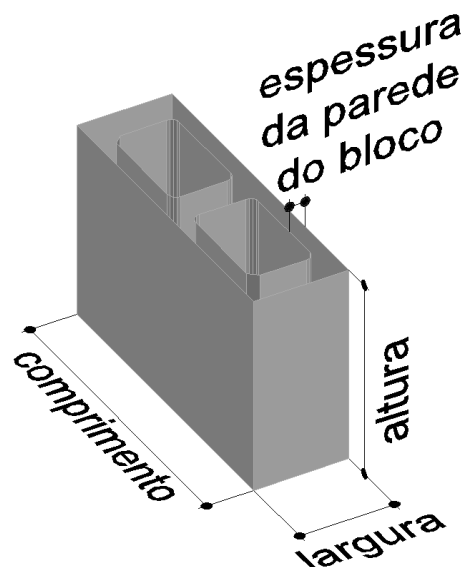
[...] componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta (Figura 2.9). (ABNT, 2016).

Tabela 2.1. Dimensões nominais dos blocos de concreto.

Família	20x40	15x40	15x30	12,5x40	12,5x25	12,5x37,5	10x40	10x30	7,5x40
Largura (mm)	190	140			115		90		65
Altura (mm)	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	290	390
Meio	190	190	140	190	115	-	190	140	190
Comprimento (mm)									

Fonte: adaptado de NBR 6136 (ABNT, 2016).

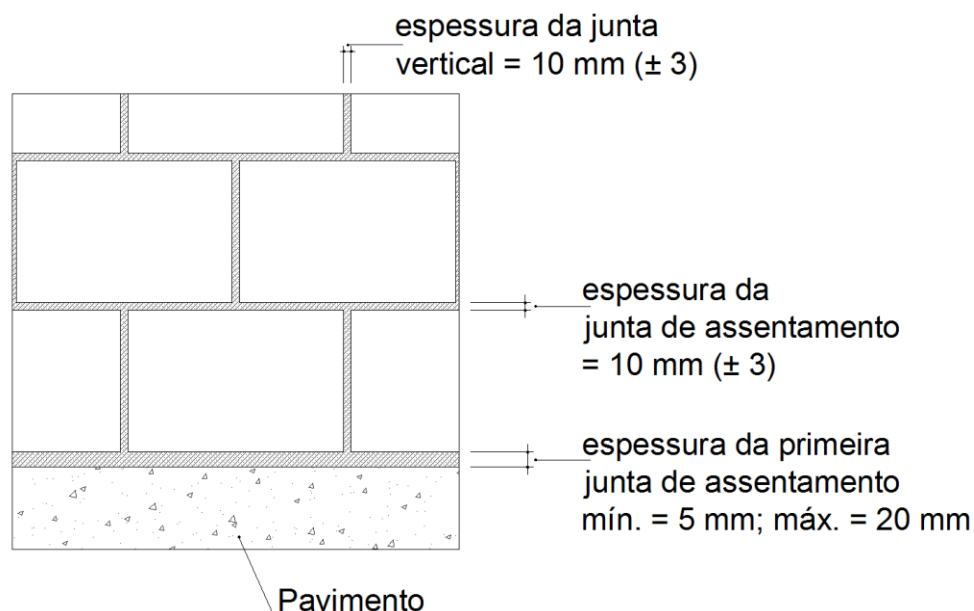
Figura 2.9. Bloco de concreto simples.



Fonte: adaptado da NBR 6136 (ABNT, 2016).

No que se refere ao assentamento dos blocos, a norma NBR 15961-2 (ABNT, 2011) especifica a espessura de 10 mm para as juntas horizontais e verticais, exceto as da primeira fiada, cujo valor mínimo é de 5 mm e o máximo não deve ultrapassar 20 mm (Figura 2.10). A variação máxima admitida da espessura das juntas de argamassa é de 3 mm, para mais ou para menos.

Figura 2.10. Espessuras das juntas de assentamento da alvenaria de blocos de concreto simples.



Fonte: adaptado da NBR 15961-2 (ABNT, 2011).

Esta norma adverte que a argamassa não deve obstruir os vazios dos blocos por ocasião do assentamento. Por outro lado, há permissão para o reuso do material retirado em excesso das juntas, desde que não tenha entrado em contato com o chão ou andaime, situação em que deve ser descartado.

2.3 O método da ACV (avaliação do ciclo de vida)

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta difundida internacionalmente para análise sistêmica do desempenho ambiental de produtos e processos (RASHID e YUSOFF, 2015). Segundo Cabeza *et al.* (2014), a ACV pode abranger todos os processos ao longo do ciclo de vida de um produto, o que inclui a extração de matéria-prima, a fabricação, o uso, transportes, o descarte e a reciclagem no final da vida útil. Em cada processo considerado, o método permite a ponderação dos impactos ambientais envolvidos.

Segundo o Kjaer (2016), a ACV procura contemplar todos os fluxos elementares (entradas e saídas) de material e energia atrelados aos processos que integram o ciclo de vida do produto, o que viabiliza a identificação e a quantificação dos impactos

ambientais. Além disso, a informação fornecida possibilita, quando necessário, intervir nos processos envolvidos e comparar produtos que exercem funções equivalentes. Bribián *et al.* (2009) relatam que a ACV foi desenvolvida com o intuito de estimular a concepção de produtos que causem menores impactos ambientais.

Conforme discorre Kirchoff (2000), por um lado, o conhecimento das vantagens e dos gargalos do processo produtivo beneficia os fabricantes dos produtos, e por outro, a possibilidade de escolhas criteriosas sob o ponto de vista da sustentabilidade no momento da compra favorece os consumidores. Nesta perspectiva, fabricantes e consumidores podem ser mutuamente beneficiados com o uso da ferramenta de ACV.

De acordo com o relato de Bribián *et al.* (2009) é possível inferir implicitamente que em algumas circunstâncias e lugares as análises de desempenho ambiental podem ser desenvolvidas de maneira tendenciosa, por meio da escolha de ferramentas de certificação convenientes à determinada situação. Este fato pode conduzir a resultados incoerentes e incapazes de efetivamente subsidiar a minimização de impactos negativos. Nesta conjuntura, a ACV pode consolidar-se como uma metodologia apta para fornecer resultados padronizados aplicáveis a diversos contextos e também para estabelecer parâmetros de comparabilidade entre produtos, serviços e processos em diferentes etapas do ciclo de vida.

No entanto, talvez os principais inconvenientes da implementação da ACV fiquem por conta da complexidade e dos custos envolvidos nessa tarefa (TORGAL e JALALI, 2010). O desenvolvimento de um estudo completo de ACV requer a medição de uma grande quantidade de variáveis, além de recursos humanos capacitados, os quais nem sempre estão prontamente disponíveis (MENDES, 2013). Estes fatos estão entre os principais entraves ao advento da ACV, sobretudo em países em vias de desenvolvimento como o Brasil. Conforme relato apresentado pelo CBCS (2012), são poucos os países no mundo que possuem bases de dados públicas e gratuitas para a ACV de produtos e, quando estas estão disponíveis, a velocidade de atualização dos dados costuma ser lenta.

De acordo com Mendes (2013), o setor acadêmico é o mais desenvolvido em relação à ACV no Brasil. De acordo com a autora, informações coletadas junto ao banco de dados da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior)

mostraram que 197 trabalhos acadêmicos foram desenvolvidos entre os 1997 e 2010, sendo que os setores mais abordados como objeto de estudos foram os relacionados à energia, plásticos, agrícola, automobilístico, siderúrgico, mineração, químico, embalagens e construção civil.

2.3.1 Fases da ACV

No Brasil, a ACV é regulamentada pelo conjunto de normas da série NBR ISO 14040 a 14044 (ABNT, 2009a,b). De acordo com estes instrumentos normativos, um estudo de ACV deve ser composto por quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventários do ciclo de vida (ICV), avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) e interpretação.

Como está explícito na Figura 2.11, deve existir integração entre as fases da ACV ao passo que as ações realizadas e os resultados alcançados em cada etapa alimentam a seguinte. Apesar das fases que compõe a ACV serem definidas conceitualmente em sequência, a técnica da ACV, como mostrado na Figura 2.11, deve possuir uma abordagem iterativa, com a realimentação sistêmica das fases sempre que necessário, a fim de que seja assegurada a abrangência e a consistência do estudo (KJAER *ET AL.*, 2016).

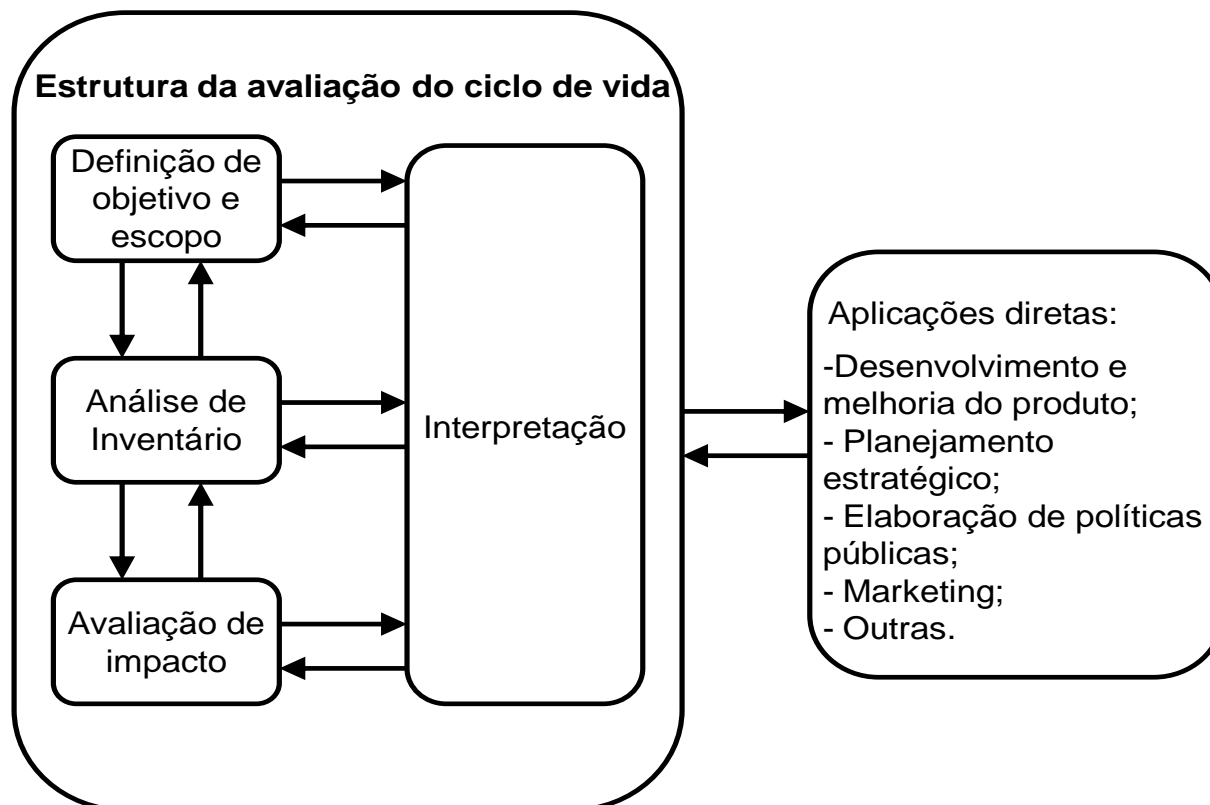
2.3.1.1 Definição de objetivo e escopo

A definição do objetivo é essencial para todas as demais fases da ACV, uma vez que, os resultados finais são analisados e interpretados em estreita relação com o objetivo do estudo (RASHID e YUSOFF, 2015).

O escopo de uma ACV, por sua vez, estabelece a estrutura e a abrangência do sistema avaliado. Em outras palavras, define os limites do sistema, os quais, juntamente com a unidade funcional, constituem os aspectos mais relevantes associados à definição de escopo. A unidade funcional fornece uma referência quanto à quantificação das entradas e saídas do sistema (ABNT, 2009a). Deste modo, a unidade funcional serve de

parâmetro à contabilidade do desempenho ambiental do sistema avaliado, enquanto que, as fronteiras do sistema delimitam os processos do ciclo de vida abordados.

Figura 2.11. Fases de uma ACV.



Fonte: adaptado da NBR ISO 14040 (2009a).

2.3.1.2 Análise do inventário do ciclo de vida (ICV)

Segundo Soares *et al.* (2006) a análise do inventário do ciclo de vida (ICV) consiste na contabilidade dos dados de entrada (*inputs*) e saída (*outputs*) associados ao sistema em estudo. Nesta fase é realizada a coleta dos dados necessários ao alcance dos objetivos do estudo. O levantamento requer a compreensão das particularidades envolvidas em cada processo do sistema analisado (ABNT, 2009b). Além da coleta de dados, a fase de ICV inclui a modelagem do sistema, conforme as definições do objetivo e escopo do estudo (EC-JRC, 2010 a).

2.3.1.3 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

Segundo a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009 b), a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) tem como objetivo avaliar a magnitude dos potenciais impactos ambientais de um produto, ou sistema, ao longo do seu ciclo de vida. Nesta etapa da ACV, os danos ambientais levantados durante a análise do ICV, são avaliados e caracterizados sob a forma de categorias de impacto (SILVA, 2014). Por sua vez, as categorias de impacto devem representar de maneira abrangente o perfil das questões ambientais relacionadas ao produto conforme o objetivo e o escopo do estudo (ABNT, 2009b).

Mendes (2013) e Bueno (2014) descreveram os principais métodos de AICV disponíveis, bem como o seu país de origem (Tabela 2.2). Conforme convencionado no *General Guide for Life Cycle Assessment* (EC-JRC, 2010 a), os métodos de avaliação podem ser classificados, quanto ao nível de avaliação do impacto, em:

- *Midpoint*: a caracterização usa indicadores localizados ao longo do mecanismo ambiental, antes de chegar ao ponto final da categoria.
- *Endpoint*: a caracterização considera todo o mecanismo ambiental até o seu ponto final, ou seja, se refere a um dano específico relacionado com a área mais ampla de proteção[...].
- *Combinado*: considera as vantagens das abordagens *midpoint* e *endpoint*.

Como é possível observar, há predominância de métodos desenvolvidos na Europa e na América do Norte. Segundo Mendes (2013) apesar de serem aplicados em diferentes partes do mundo, alguns destes métodos, foram criados com base em escopos regionais específicos. Como não existem métodos desenvolvidos exclusivamente para o contexto brasileiro, são recomendados para o país os métodos cujas categorias de impacto possuem escopo de aplicação com abrangência global (MENDES, 2013).

Tabela 2.2. Principais métodos de AICV disponíveis no mundo.

Método de AICV	Desenvolvedor	País de origem	Nível de Avaliação
CML 2001/2002	CML	Holanda	Midpoint
Eco-Indicator 99	Pré	Holanda	Endpoint
EDIP 1997/2003	DTU	Dinamarca	Midpoint
EPS 2000	IVL	Suécia	Endpoint
Impact 2002+	EPFL	Suíça	Combinado
LIME	AIST	Japão	Combinado
LUCAS	CIRAIG	Canadá	Combinado
ReCipe	RUN + Pré +CML + RVIM	Holanda	Combinado
Ecological Scarcity	E2+SEU-services	Suíça	Combinado
TRACI	US EPA	EUA	Midpoint
MEEuP	DG Enterprise	União Européia	Midpoint
Impact World +	Vários	Multinacional	Combinado
USEtox	UNEP/SETAC	Multinacional	Midpoint

Fonte: adaptado de Mendes (2013) e Bueno (2014).

Nas normas NBR ISO 14040 e 14044 (ABNT, 2009a,b) são definidos termos associados por convenção à fase de AICV. As definições destes termos são apresentadas a seguir:

- **Categorias de impacto:** são as classes que representam as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do inventário do ciclo de vida podem ser associados.
- **Fator de caracterização:** é o fator derivado de um modelo de caracterização que é aplicado para converter o resultado da análise do inventário do ciclo de vida na unidade comum do indicador de categoria.
- **Indicador de categoria de impacto:** representação quantificável de uma categoria de impacto.
- **Mecanismo ambiental:** somatório dos processos ambientais relacionados à caracterização dos impactos.
- **Ponto final da categoria:** é o atributo ou aspecto do ambiente natural, saúde humana ou recursos que identifica uma questão ambiental merecedora de atenção.
- **Área de proteção:** é um conjunto de pontos finais da categoria de valor reconhecido pela sociedade, como, saúde humana, recursos naturais, ambiente natural e ambiente antrópico.
- **Modelos de caracterização:** refletem o mecanismo ambiental, descrevendo a relação entre os resultados do ICV, indicadores de

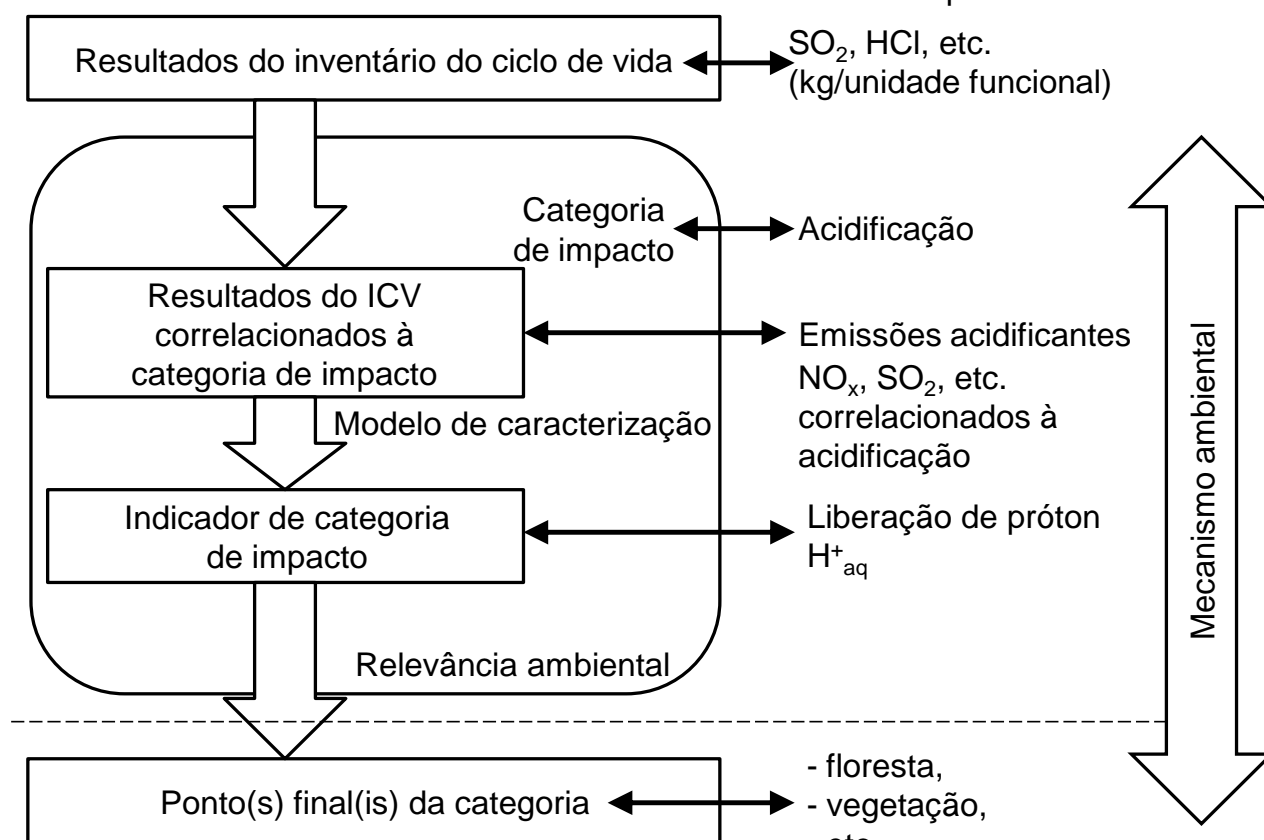
categoria e, em alguns casos, ponto(s) final(is) de categoria. [...] é utilizado para gerar os fatores de caracterização.

- **Relevância ambiental:** engloba uma avaliação qualitativa do grau de correlação entre o resultado do indicador de categoria e os pontos finais de categoria; por exemplo, alta, moderada ou baixa correlação.

Na Figura 2.12, é apresentado um esquema geral da AICV para exemplificar os termos definidos.

Figura 2.12. Esquema conceitual da AICV.

Exemplos:



Fonte: NBR ISO 14044 (ABNT, 2009 b).

Como é possível observar na Figura 2.12, a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é desenvolvida a partir dos resultados alcançados com a coleta de dados e com a modelagem de sistemas realizadas durante a fase do inventário do ciclo de vida (ICV). No exemplo apresentado na Figura 2.12, a categoria de impacto *acidificação* é utilizada para ilustrar conceitualmente o desenvolvimento da AICV. A acidificação é causada pela emissão atmosférica e pela deposição de substâncias químicas acidificantes, como

óxidos de nitrogênio (NO_x), dióxido de enxofre (SO₂) e amônia (NH₃) (EC-JRC, 2010b). O *indicador de categoria de impacto* empregado para representar quantitativamente os impactos é a *liberação de próton H⁺*, uma vez que o aumento da acidez na água e no solo ocorre devido à elevação da concentração de íons de hidrogênio (HUIJBREGTS, 1999). A *relevância ambiental* representa o grau de correlação entre o resultado do indicador de categoria e os pontos finais de categoria (ABNT, 2009a). Isto significa afirmar que quanto mais bem caracterizadas as causas dos impactos em termos de localização espacial, por exemplo, maior será a *relevância ambiental*. No caso específico do potencial de acidificação, a região geográfica de lançamento e as condições meteorológicas locais são determinantes ao padrão de deposição de uma emissão e ao impacto causado à vegetação desta região, por exemplo, a qual configura-se como um ponto final da categoria (HUIJBREGTS, 1999). Ao conjunto de todos os processos ambientais associados à caracterização dos impactos atribui-se a denominação *mecanismo ambiental* (ABNT, 2009b).

2.3.1.3.1 CML (Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden) 2001

De acordo com Guinée (2001), o CML 2001 começou a ser desenvolvido em 1992 pelo Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden (CML), na Holanda. O projeto inicial contou com a colaboração de outras organizações, tanto públicas como privadas (MENDES, 2013). No final da década de 90 teve início um novo projeto financiado principalmente pelo governo holandês, contudo, novamente com a participação de outras instituições. Segundo Guinée (2001), o resultado desta nova iniciativa foi a publicação, no ano de 2001, de um guia de ACV integralmente holandês, o *Dutch Handbook on LCA* (Manual Holandês de ACV). Este fato sugere a consagração do método sob a denominação CML 2001.

Trata-se de um método de AICV *midpoint*, com ampla abrangência em termos de caracterização de impactos (THINKSTEP, 2017) e uso frequente em trabalhos voltados à análise ambiental de produtos e sistemas da construção civil (FERRÁNDEZ-GARCÍA *et al.*, 2016; GAYARRE *et al.*, 2016; CONDEIXA *et al.*, 2014). Outra característica interessante do método, que possivelmente justifica a sua aceitação no meio científico

mundial, é o predomínio de categorias de impacto com validade de aplicação global (BUENO, 2014). Na Tabela 2.3, são descritas as categorias de impacto do CML 2001.

Tabela 2.3. Categorias de impacto do método de avaliação CML 2001.

Categoria de impacto		Depleção de recursos abióticos – elementos (DRA)
Modelo de caracterização	Modelo desenvolvido por OERS <i>et al.</i> (2002) que considera a concentração e o ritmo de extração nas reservas de recursos naturais.	
Indicador de categoria	Esgotamento das reservas em relação ao uso anual do recurso.	
Fator de caracterização	Potencial de depleção de antimônio (Sb) equivalente por quantidade extraída de matéria abiótica (em kg de Sb equivalente / kg de extração).	
Pontos finais da categoria	Escassez de recursos abióticos como minério de ferro.	
Área de proteção	Recursos naturais.	
Categoria de impacto		Depleção de recursos abióticos – fósseis (DRAF)
Modelo de caracterização	Modelo desenvolvido por OERS <i>et al.</i> (2002) que considera a concentração e o ritmo de extração nas reservas de recursos naturais.	
Indicador de categoria	Esgotamento das reservas em relação ao uso anual do recurso.	
Fator de caracterização	Potencial de depleção do conteúdo energético presente nos combustíveis fósseis por quantidade de matéria-prima fóssil extraída (em MJ / kg de extração).	
Pontos finais da categoria	Escassez de recursos fósseis, como petróleo bruto.	
Área de proteção	Recursos naturais.	
Categoria de impacto		Potencial de acidificação (PA)
Modelo de caracterização	Modelo desenvolvido por HUIJBREGTS (1999) para os índices de emissão de poluentes atmosféricos ácidos causadores da chuva ácida.	
Indicador de categoria	Liberação de íons H ⁺ .	
Fator de caracterização	Carga crítica de deposição de dióxido de enxofre, como composto ácido de referência, na Suíça como região de referência (em kg SO ₂ equivalente / ano.kg ⁻¹).	
Pontos finais da categoria	Declínio da biodiversidade, danos à qualidade do ecossistema e ao ambiente transformado pelo homem (lavouras, construções).	
Área de proteção	Meio ambiente natural e antrópico.	
Categoria de impacto		Potencial de eutrofização (PE)
Modelo de caracterização	Modelo desenvolvido por HEIJUNGS (1992) para índices de nutrificação de ecossistemas aquáticos com nutrientes de nitrogênio (N) e fósforo (P).	
Indicador de categoria	Formação de biomassa; carência bioquímica de oxigênio (CBO).	
Fator de caracterização	Capacidade de formação de fosfato (PO ₄ ³⁻) equivalente, como biomassa de referência, por emissão de poluentes à atmosfera, à água e ao solo (em kg de PO ₄ ³⁻ equivalente / kg de emissão eutrofizante).	
Pontos finais da categoria	Declínio da biodiversidade, danos à qualidade do ecossistema.	
Área de proteção	Meio ambiente natural.	

Tabela 2.3. Categorias de impacto do método de avaliação CML 2001 (continuação).

Categoria de impacto	Aquecimento global (AG)
Modelo de caracterização	Modelo de linha de base para 100 anos desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).
Indicador de categoria	Forçamento radiativo infravermelho (W/m ²).
Fator de caracterização	Potencial de aquecimento global para cada gás de efeito estufa (em kg CO ₂ equivalente / kg de gás de efeito estufa).
Pontos finais da categoria	Recifes de coral, florestas, plantações.
Área de proteção	Meio ambiente natural, saúde humana, recursos naturais.
Categoria de impacto	Depleção do ozônio estratosférico (DOE)
Modelo de caracterização	Modelo de estado estacionário divulgado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2011).
Indicador de categoria	Diminuição da camada de ozônio estratosférica.
Fator de caracterização	Potencial de depleção de triclorofluormetano (R11) equivalente, como gás de referência, a cada emissão ao ar potencialmente causadora do esgotamento da camada de ozônio estratosférica (em kg de R11 equivalente / kg de emissão).
Pontos finais da categoria	Declínio da biodiversidade, danos à qualidade do ecossistema, à saúde humana e ao ambiente transformado pelo homem.
Área de Proteção	Meio ambiente natural e antrópico, saúde humana e recursos naturais.
Categoria de impacto	Potencial de formação de ozônio fotoquímico (PFOF)
Modelo de caracterização	Modelo desenvolvido por Derwent <i>et al.</i> (1998) e adaptado por Jenkin e Hayman (1999).
Indicador de categoria	Aumento do ozônio troposférico.
Fator de caracterização	Potencial de formação de ozônio fotoquímico no nível da troposfera pela reação com a luz solar, para um determinado composto orgânico volátil (VOC) e com o gás etileno (C ₂ H ₄) definido como VOC de referência (em kg de C ₂ H ₄ equivalente / kg de emissão foto-oxidante).
Pontos finais da categoria	Danos à qualidade do ecossistema, à saúde humana e ao ambiente transformado pelo homem.
Área de Proteção	Meio ambiente natural e antrópico, saúde humana e recursos naturais.

Fonte: adaptado de: NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b); Oers *et al.* (2002); Huijbregts (1999); Heijungs (1992); WMO (2011); Derwent *et al.* (1998); Jenkin e Hayman (1999); e EC-JRC (2010b).

2.3.1.4 Interpretação do ciclo de vida

A interpretação do ciclo de vida é a fase final do estudo de ACV, na qual os resultados do ICV e da AICV são sumarizados e discutidos e servem de base para elaboração das conclusões, e recomendações, e conseqüentemente, para as tomadas de decisão. A interpretação deve considerar os resultados coletivamente e apresentá-los de forma acessível (ABNT, 2009 b; CABEZA *et al.*, 2014).

2.3.1.4.1 Análise de sensibilidade

No caso da ACV, a análise de sensibilidade consiste na avaliação dos efeitos nos resultados finais do estudo promovidos por alterações nos dados de entrada do modelo (BUENO *et. al*, 2016). De acordo com a norma NBR ISO 14.044 (ABNT, 2009b), a análise de sensibilidade fornece parâmetros para estimar a confiabilidade dos resultados finais do estudo de ACV, na medida em que determina de que forma os resultados são afetados por incertezas nos dados.

2.3.2 A ACV aplicada na construção civil

Apesar do método da avaliação do ciclo de vida (ACV) ser utilizado há algum tempo, na análise ambiental dos processos de desenvolvimento de produtos em indústrias de manufatura, sua implementação na indústria da construção ainda é relativamente recente (CABEZA *et al.*, 2014). Rashid e Yusoff (2015) mencionam que as pesquisas da ACV no setor começaram a ser desenvolvidas no começo dos anos 90, no entanto, apenas na última década passaram a ser empregadas de forma mais efetiva nas práticas cotidianas da construção civil.

As avaliações ambientais na área da indústria da construção civil são geralmente complexas e desafiadoras. Comparadas a outros produtos, as edificações possuem processos produtivos menos padronizados, requerem grandes quantidades de vários materiais e são diversificadas no que se refere aos métodos executivos e funções relacionadas ao uso (SCHEUER *et al.*, 2003).

Soares *et al.* (2006) reportam que a aplicação da ACV na construção civil requer a adaptação a um contexto estrutural e temporal diferenciado. Segundo estes autores, a ACV foi desenvolvida inicialmente para a avaliação de produtos com vida útil relativamente curta, circunstância diferente da verificada na maioria dos componentes presentes nas edificações. Sabe-se que, enquanto alguns produtos apresentam vida útil de semanas ou meses, as construções podem durar décadas ou até mesmo séculos.

Quando diferentes materiais de construção, que exercem a mesma função, são comparados, é difícil indicar de antemão qual a alternativa mais sustentável. Apenas a

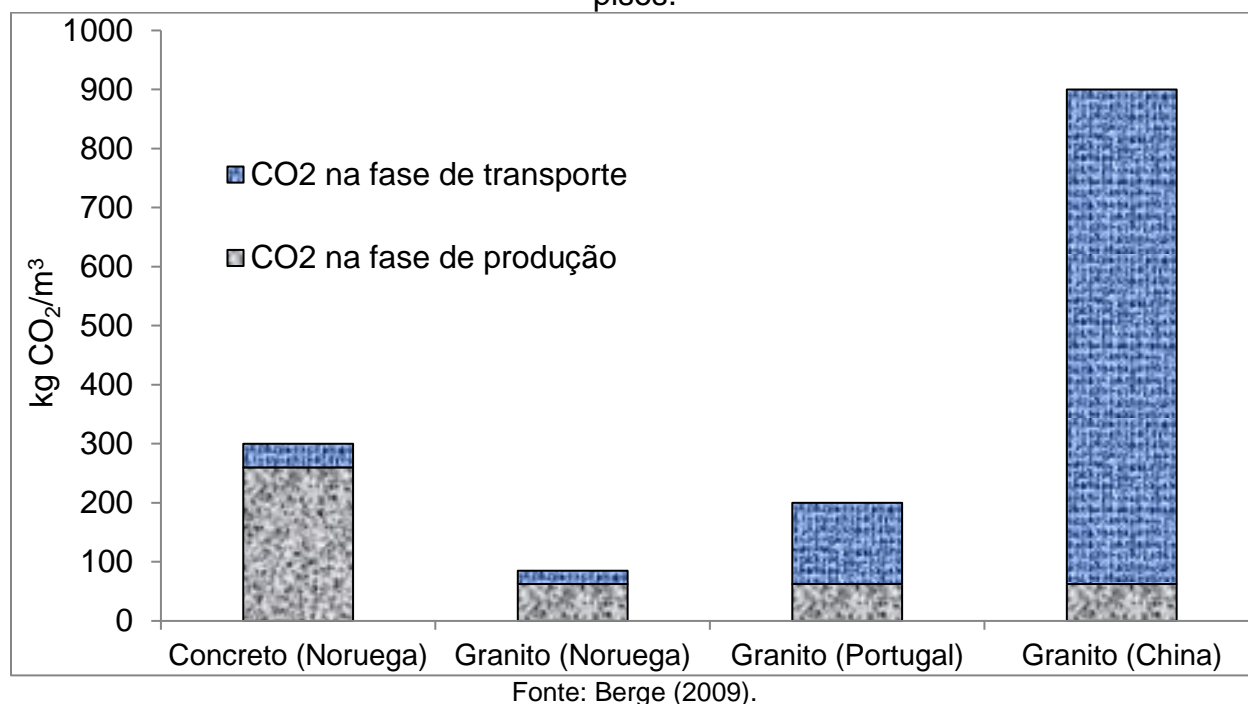
análise detalhada dos fatores que influenciam o desempenho ambiental dos materiais, ao longo dos seus ciclos de vida, permitirá uma caracterização conclusiva sobre a sustentabilidade dos mesmos. Entre estes fatores, pode-se mencionar: a disponibilidade local, o consumo energético e a emissão de poluentes e de resíduos durante a produção e o transporte, a durabilidade, o potencial de reciclagem do insumo e o destino dos resíduos da construção e da demolição após a vida útil da edificação.

Nem sempre materiais com elevada energia inicial incorporada são necessariamente mais impactantes sob o ponto de vista ambiental. Rashid e Yusoff (2015) verificaram que, apesar da maior energia inicial incorporada do concreto como sistema construtivo, este tende a ser ligeiramente mais eficiente que a madeira quando considerada integralmente a perspectiva energética do ciclo de vida da edificação.

Berge (2009) também discute este fenômeno e o relaciona ao contexto do suprimento de pisos na Noruega. No gráfico da Figura 2.13 é possível observar que o piso de concreto, material com elevada energia incorporada, pode constituir uma alternativa ambientalmente mais aceitável, mesmo quando comparado a um material com menor energia incorporada na produção, como o granito, desde que consideradas as acentuadas emissões de GEE provocadas pelo transporte.

Esse exemplo evidencia também a relevância dos transportes em estudos de ACV que envolvem materiais de construção. Gan *et al.* (2016), ao abordarem a cadeia de suprimentos de agregados chamam a atenção para esta questão. De acordo com os autores em estudos de ACV frequentemente o fator transporte do produto não é levado em consideração. No entanto, no caso dos materiais empregados na construção civil o transporte de cargas com volumes expressivos é essencial na realização da ACV, uma vez que, essa atividade requer uma quantidade considerável de energia e gera emissões atmosféricas em proporções substanciais.

Figura 2.13. Emissões de dióxido de carbono decorrentes da produção e transporte de pisos.



Relatos na literatura indicam a existência de grande variedade de possíveis campos para a aplicação da ACV em edificações e sistemas construtivos. Cybis e Santos (2002) aplicaram a ACV ao estudo de caso de oito habitações unifamiliares construídas em um condomínio horizontal. A pesquisa considerou a fabricação do cimento, a extração da areia, a manufatura dos blocos cerâmicos, o abastecimento de água, o descarte dos resíduos inertes em aterro sanitário e o transporte rodoviário e fluvial. Os resultados indicaram que a execução da alvenaria contribuiu, dentre outros fatores, com a formação de chuva ácida, o efeito estufa e o aumento da toxicidade humana, isto é, de potenciais danos à saúde humana decorrentes do aumento da concentração de agentes tóxicos no solo, na água e no ar provocada pela disposição de resíduos de construção. A produção dos blocos cerâmicos para edificação de paredes foi apontada como o principal processo responsável pelas emissões de GEE, sobretudo em virtude da presença hidrocarbonetos na argila utilizada como matéria-prima na fabricação do bloco. O estudo também concluiu que a redução dos desperdícios no canteiro de obras levou à diminuição na emissão de poluentes, uma vez que, houve diminuição na aquisição de

insumos, na geração de resíduos, e no consumo de combustíveis utilizados no transporte da matéria-prima e do material destinado aos aterros sanitários.

Dadhich *et al.* (2015) utilizaram a ACV para analisar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) associados à cadeia de suprimento de placas de gesso, um produto comum na indústria da construção e que é responsável por um impacto expressivo no meio ambiente. O estudo sugeriu ações para o desenvolvimento de uma cadeia de abastecimento sustentável. Uma das intervenções analisadas foi a implementação do *cross-docking*, que consiste num sistema de operação logística no qual as mercadorias, tão logo chegam ao centro de distribuição, são preparadas para a entrega ao destinatário, evitando-se a estocagem. A pesquisa comprovou que a introdução do *cross-docking*, como alternativa ao armazenamento de mercadorias, promoveu uma redução de 14,68% das emissões de GEE na cadeia de suprimento de placas de gesso. De maneira análoga, o estudo também demonstrou que, durante a produção das placas, a utilização de eletricidade oriunda integralmente de fontes eólicas promoveria uma diminuição de 22,14% de emissões de GEE.

Passuello *et al.* (2014) empregaram a ACV para o cálculo da pegada de carbono de clínquersulfoaluminato de cálcio belítico (CSAB) produzido em laboratório. Trata-se de um clínquer alternativo que tende a ser ambientalmente mais sustentável que o clínquer convencional, devido: à menor emissão de CO₂ em razão da temperatura de queima reduzida; ao menor teor de calcário empregado na produção; além da virtude do consumo, durante a produção, de materiais e/ou resíduos que contêm enxofre, como resíduos de gesso e de cinzas de leite fluidizado. Os resultados obtidos na pesquisa comprovaram uma redução de 22% nas emissões de GEE em comparação ao clínquer convencional do cimento Portland.

Ferrández -García *et al.* (2016) analisaram a eco-eficiência do ciclo de vida de cinco soluções de paredes internas: placas de gesso, blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular autoclavado e de blocos de gesso. Para cada uma destas alternativas, foram obtidos indicadores econômicos e ambientais e os seguintes estágios do ciclo de vida fizeram parte do estudo: aquisição de matérias-primas, transporte ao local da obra, construção, demolição e gerenciamento do resíduo no final da vida útil. Os resultados mostraram que os sistemas de placas de gesso e o de blocos

de concreto são os que combinam os melhores desempenhos ambiental e econômico. Os autores identificaram a fase de fabricação dos materiais como o estágio que gera os maiores impactos ambientais. O impacto resultante do processo de fabricação das placas e dos blocos de gesso é superior aos verificados na produção do cimento *Portland* e dos blocos cerâmicos devido ao maior consumo de combustível e eletricidade. Além disso, os autores verificaram que em todas as categorias de impacto estudadas a fabricação de blocos de concreto teve uma contribuição inferior àquela promovida pelos blocos cerâmicos, à exceção do aquecimento global.

Condeixa *et al.* (2014) avaliaram o impacto de paredes internas de alvenaria, feitas de blocos cerâmicos e argamassa de cimento e areia em uma residência. Embora os resultados alcançados tenham variado de acordo com as categorias analisadas, de forma geral foram verificados impactos de 22% na extração de matéria-prima, 20% na demolição e de 58% no uso da residência. Quanto à análise dos impactos causados pelos materiais, o bloco foi responsável por 40%, o cimento contribui com 8% e a areia com 30% aproximadamente. Para as categorias radiação ionizante e depleção do ozônio estratosférico, a cal foi o único material contribuinte.

Campos (2012) avaliou o uso de paredes de bloco de concreto e em painéis pré-moldados de concreto como vedações estruturais para edifícios residenciais. Os resultados apontaram que o sistema em blocos foi ambientalmente mais favorável do que os painéis pré-moldados de concreto. O autor verificou, para o empreendimento analisado, que o fluxo de massa dos painéis (1.719.182 kg) foi duas vezes superior ao dos blocos (749.336 kg). Em relação à emissão de GEE, foi verificado o lançamento de aproximadamente 40,7 toneladas de CO₂ no caso dos painéis de concreto e de 16,7 toneladas para os blocos. As emissões resultantes do transporte na solução em painéis pré-moldados, cuja produção foi no próprio canteiro da obra, representaram 1/3 das relativas ao bloco de concreto. A pesquisa indicou que o processo de fabricação do cimento responde pela maior parcela das emissões totais de CO₂, especialmente devido à clínquerização. Como alternativa para redução das emissões, o autor sugere a substituição do clínquer por adições, como da escória de alto-forno.

2.3.3 Softwares para ACV

No tratamento dos dados inventariados e na caracterização dos impactos correlatos para a ACV, as informações devem ser processadas de maneira apurada, por meio de ferramentas computacionais específicas (REICHERT, 2013). De acordo com Torgal e Jalali (2010), os *softwares* disponíveis no mercado normalmente contêm bancos de dados atualizados de fluxos elementares de produtos. Além de bases de dados reconhecidas mundialmente como *EcoInvent*, *Buwale* e *Franklin*, os *softwares* podem conter informações atualizadas continuamente oriundas de estudos das próprias empresas que os desenvolvem. Além disso, a maioria dos sistemas operacionais dos *softwares* permite a incorporação e atualização dos dados. Isso possibilita a elaboração da ACV a partir de informações de campo específicas à situação de interesse e também a partir de dados preexistentes disponíveis. Na tabela 2.4, são listados, conforme o país de origem e a finalidade específica, alguns dos programas computacionais disponíveis no mercado mundial usados em estudos de ACV.

2.3.3.1 O programa GaBi

O GaBi é um *software* desenvolvido pela Universidade de *Stuttgart*, na Alemanha (CAMPOS, 2012), aprimorado pela empresa alemã *PE International* (atual *Thinkstep*) e largamente utilizado por empresas e pesquisadores em todo o mundo (THINKSTEP, 2017). Além das bases de dados convencionais, como a do *EcoInvent*, o GaBi contém informações de estudos realizados pela própria *PE International*. Segundo a *Thinkstep* (2017) tais estudos foram implementados ao longo de vinte e cinco anos de atuação da empresa no setor. A interface de trabalho do programa GaBi permite a elaboração do ciclo de vida do produto já na forma de fluxograma, no qual os fluxos elementares podem ser inseridos e editados manualmente nos respectivos processos.

Tabela 2.4. Ferramentas computacionais disponíveis para ACV.

Programas de ACV	País de origem	Finalidade
OpenLCA	Alemanha	Aplicação geral a estudos de ACV
Umberto		
GABI		
Boustead Model	Reino Unido	
WISARD		
SIMAPro		
Do It Pro	Holanda	
Team (Tools for Environmental analysis and management)	Taiwan	
	França	
IWMM (Integrated Waterbird Management and Monitoring)	Estados Unidos	
WARM (Waste Reduction Model)		
IWM (Integrated Waste Management)	Alemanha	
ATHENA	Canadá	Apoio à tomada de decisões na concepção de edifícios
EcoQuantum	Holanda	
Em Vest	Reino Unido	
GBTTool	Canadá	Suporte à avaliação de sistemas completos de edifícios
Ecoprofile	Noruega	Suporte à avaliação de sistemas completos de edifícios
EcoScan	Bélgica	ACV e análise de custos de produtos
BEES	Estados Unidos	Apoio à tomada de decisões na seleção de materiais

Fonte: Adaptado de Campos (2012), Reichert (2013) e Librelotto e Jalali (2008).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste no emprego do método de avaliação do ciclo de vida (ACV) para comparar os potenciais impactos ambientais de dois sistemas de vedação interna comumente empregados nos mercados londrinense e nacional: os sistemas de blocos cerâmicos e de blocos de concreto.

Com o intuito da obtenção de indicadores que possibilitem a aferição da *performance* ambiental de soluções para vedações internas, a metodologia de ACV é aplicada de acordo com orientações e recomendações fornecidas pela série de documentos normativos NBR ISO 14040-44 (ABNT, 2009a,b).

São contempladas, na metodologia do trabalho, as quatro fases de um estudo de ACV previstas na norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a):

- **definição do objetivo e escopo:** definição das unidades funcionais, fronteiras do sistema, indicadores a serem usados e objetivos desejados;
- **análise do inventário do ciclo de vida (ICV):** pesquisa detalhada dos processos envolvidos, suas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*).
- **avaliação dos impactos do ciclo de vida:** aplicação do método de avaliação e cálculo dos potenciais impactos ambientais; e
- **análise e interpretação dos resultados.**

Os impactos são avaliados segundo os procedimentos do método CML 2001. Os resultados devem mostrar as fases com maior influência sobre os impactos no ciclo de vida, os materiais componentes com maior potencial impactante, a relevância do transporte e do gerenciamento dos resíduos, entre outros.

3.1 Definição de objetivo e escopo

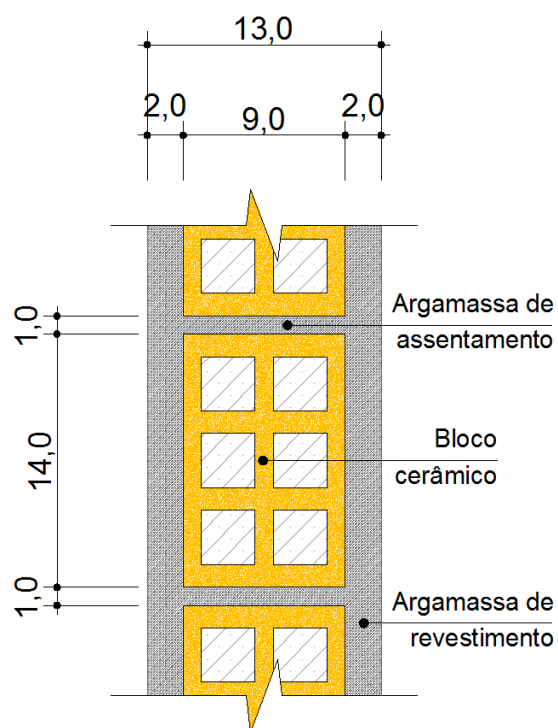
3.1.1 Objetivo

Este estudo de ACV tem como objetivo comparar os potenciais impactos ambientais durante o ciclo de vida de dois sistemas de vedação interna comumente

usados na região de Londrina para atendimento das necessidades habitacionais da população socioeconomicamente menos favorecida. Os sistemas avaliados são:

- **sistema de blocos cerâmicos:** alvenaria com 13 centímetros de espessura construída com blocos cerâmicos com dimensões de 19 centímetros de comprimento, 14 centímetros de altura e 9 centímetros de largura (profundidade), assentados com 1 centímetro de argamassa entre os blocos e uma camada de 2 centímetros de espessura de argamassa de revestimento em ambas as faces, além de acabamento com pintura em tinta látex PVA branca, como é indicado na Figura 3.1:

Figura 3.1. Detalhe construtivo da alvenaria de blocos cerâmicos – corte vertical.

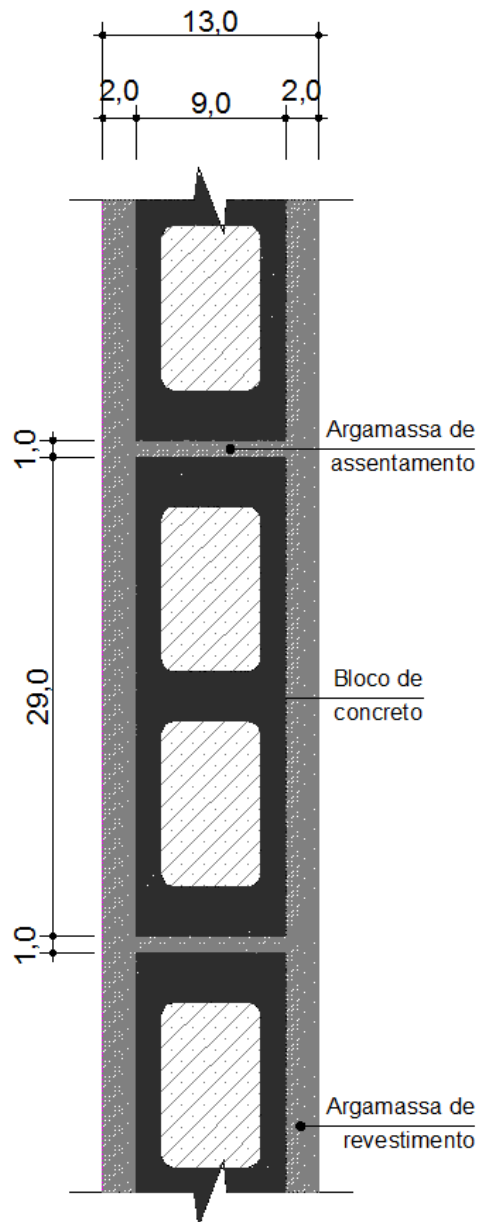


Fonte: o autor (2017).

- **sistema de blocos de concreto:** alvenaria com 13 centímetros de espessura construída com blocos de concreto com dimensões de 29 centímetros de comprimento, 19 centímetros de altura e 9 centímetros de profundidade (família 10X30), assentados com 1 centímetro de argamassa entre os blocos e uma camada de 2 centímetros de espessura de argamassa de revestimento em ambas

as faces, além de acabamento com pintura em tinta látex PVA branca, conforme é indicado na Figura 3.2:

Figura 3.2. Detalhe construtivo da alvenaria de blocos de concreto – corte horizontal.



Fonte: o autor (2017).

Os processos tecnológicos envolvidos na produção e transporte dos insumos usados na construção das alvenarias, bem como aqueles processos relativos ao gerenciamento dos resíduos da construção e demolição dos sistemas de vedação foram todos inventariados, adaptados e modelados conforme as cadeias brasileiras de

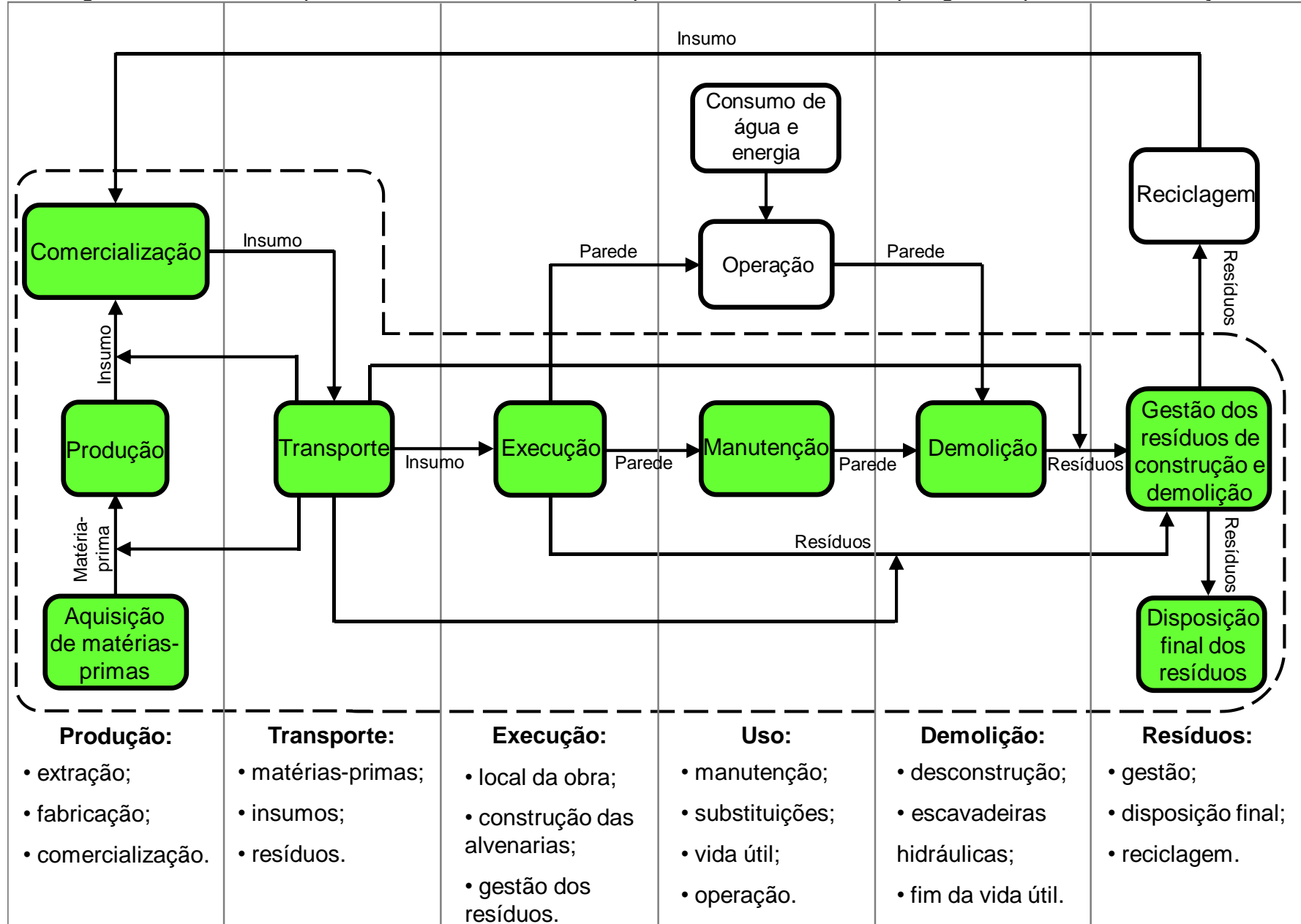
produção e abastecimento. A localização e o contexto urbano da cidade de Londrina foram adotados como referência às estimativas das distâncias do transporte que ocorre ao longo dos ciclos de vida dos insumos considerados no estudo.

3.1.2 Escopo

O sistema de produto é composto pelo conjunto de processos que integram o ciclo de vida dos sistemas de vedação interna avaliados ao longo de 20 anos (Figura 3.3). O ciclo de vida dos insumos componentes de ambas soluções para alvenaria é considerado “do berço ao túmulo”. São contemplados, portanto, os estágios da extração de matérias-primas, produção dos insumos, transportes aos locais de comercialização e das obras, execução da alvenaria, fase de uso, desconstrução e gerenciamento dos resíduos da construção e demolição. Durante a fase de uso da alvenaria, como simplificação foi considerado apenas o panorama de substituições de materiais e sistemas de acordo com os requisitos mínimos de durabilidade e desempenho estipulados na norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Conforme o escopo apresentado na Figura 3.3, o ciclo de vida completo das alvenarias encontra-se dividido em quatro fases principais (matérias-primas e produção, obra, uso e “final da vida”) cada qual com seus respectivos processos. A primeira fase engloba a extração, processamento e o transporte das matérias-primas necessárias à produção dos insumos, bem como a própria fabricação dos insumos e o transporte dos mesmos aos centros de distribuição e comércio. A aquisição de matérias e a produção encontram-se agrupadas numa mesma fase pois nos inventários dos produtos utilizados no estudo encontram-se embutidos todos os fluxos ocorridos desde a extração das matérias-primas até o término da produção do insumo. A segunda fase refere-se à execução propriamente das alvenarias no canteiro de obra, incluso o transporte dos produtos do local da comercialização ao da obra, bem como o gerenciamento dos resíduos da construção. A terceira fase consiste nas atividades relacionadas à manutenção das alvenarias, sem considerar, contudo, o consumo de energia e água associados à operação da edificação; e a última etapa envolve a demolição, desconstrução e gestão dos respectivos resíduos gerados.

Figura 3.3. Sistema de produto e fronteiras do sistema para o ciclo de vida das tipologias de parede em avaliação.



Fonte: adaptado de ABNT (2009 a).

São levados em consideração tanto fluxos de entrada (*inputs*) como de saída (*outputs*), envolvidos no decorrer dos processos abrangidos segundo os limites do sistema de produto:

- ❖ fluxos de entrada (*inputs*): matérias-primas, energia, combustível, água, entre outros;
- ❖ fluxos de saída (*outputs*): emissões na atmosfera, na água e no solo, bem como o resíduo sólido gerado.

3.1.3 Função e unidade funcional

A função avaliada pelo estudo é a de vedação interna. A unidade funcional adotada para compatibilizar os *inputs* e *outputs* foi 1,00 m² de alvenaria por um período de vida útil de 20 anos, por ser o período de vida útil de projeto (VUP) mínimo previsto na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) para a durabilidade do sistema de vedação vertical interna.

3.1.4 Fronteiras

Esta pesquisa foi desenvolvida sob uma perspectiva que engloba os processos e fluxos desde a extração das matérias-primas até a disposição final dos resíduos da construção e demolição (RCD). Portanto, os estágios concernentes à extração da matéria-prima, produção, transporte, execução, manutenção, desconstrução e gerenciamento dos RCD foram contemplados pelo estudo. Por ocasião da seleção das fronteiras do sistema, foram desconsiderados, como é mostrado na Figura 3.3, os processos operacionais da edificação consumidores de energia e água, uma vez que o objeto do estudo consiste tão somente no ciclo de vida do sistema de vedações internas. O uso dos sistemas de vedação interna foi considerado para a cidade de Londrina.

3.2 Inventário do ciclo de vida

A etapa do inventário do ciclo de vida (ICV) consistiu no levantamento dos dados sobre os fluxos de entrada e saída de material e energia correspondentes a cada processo do ciclo de vida dos insumos empregados na execução das alvenarias, conforme o recorte nas fases do ciclo de vida estabelecido na etapa de definição do escopo.

No desenvolvimento do ICV, foram utilizados dados internacionais obtidos da base de dados *EcolInvent*, versão 3.3 (*ECOINVENT CENTRE*, 2017), ajustados à realidade brasileira conforme as cadeias nacionais de produção e distribuição de insumos (Tabelas AA.1 a AA.9 do Anexo A do trabalho). O *EcolInvent* é uma base de dados com confiabilidade internacionalmente reconhecida no meio científico, desenvolvida e administrada pelo *Swiss Centre for Life Cycle Inventories* – Centro Suíço para Inventários do Ciclo de Vida (*WU et al.*, 2015).

Na base de dados *EcolInvent*, os processos encontram-se classificados, quanto ao tipo de atividade a que se referem, em dados do tipo *Activity* e em dados do tipo *Market*. Nos dados do tipo *Activity* estão incorporados exclusivamente os efeitos das atividades de transformação da matéria-prima e de processos industriais. Enquanto, nos dados de mercado (tipo *Market*) estão embutidos os impactos decorrentes, além das atividades puramente de transformação, também das atividades de transporte e de venda (*WERNET et al.*, 2016). Com o uso do *software* GaBi, devido à versatilidade de modelagem do programa, é possível a edição de processos do tipo *Market* e do tipo *Activity* num mesmo sistema de produto (Figura 3.4), bem como a vinculação dos respectivos processos de transporte no caso dos processos modelados como tipo *Activity*.

Para os insumos principais envolvidos no estudo (blocos cerâmico e de concreto, argamassas e tinta PVA) foram utilizados dados do tipo *Activity*, isto é, inventários que retratam atividades puramente de transformação e que contêm embutidos os efeitos relativos a processos industriais e de extração de matérias-primas, contudo não agregam os impactos decorrentes do transporte para a distribuição do material. Deste modo, os dados concernentes aos processos de transporte foram levantados separadamente e

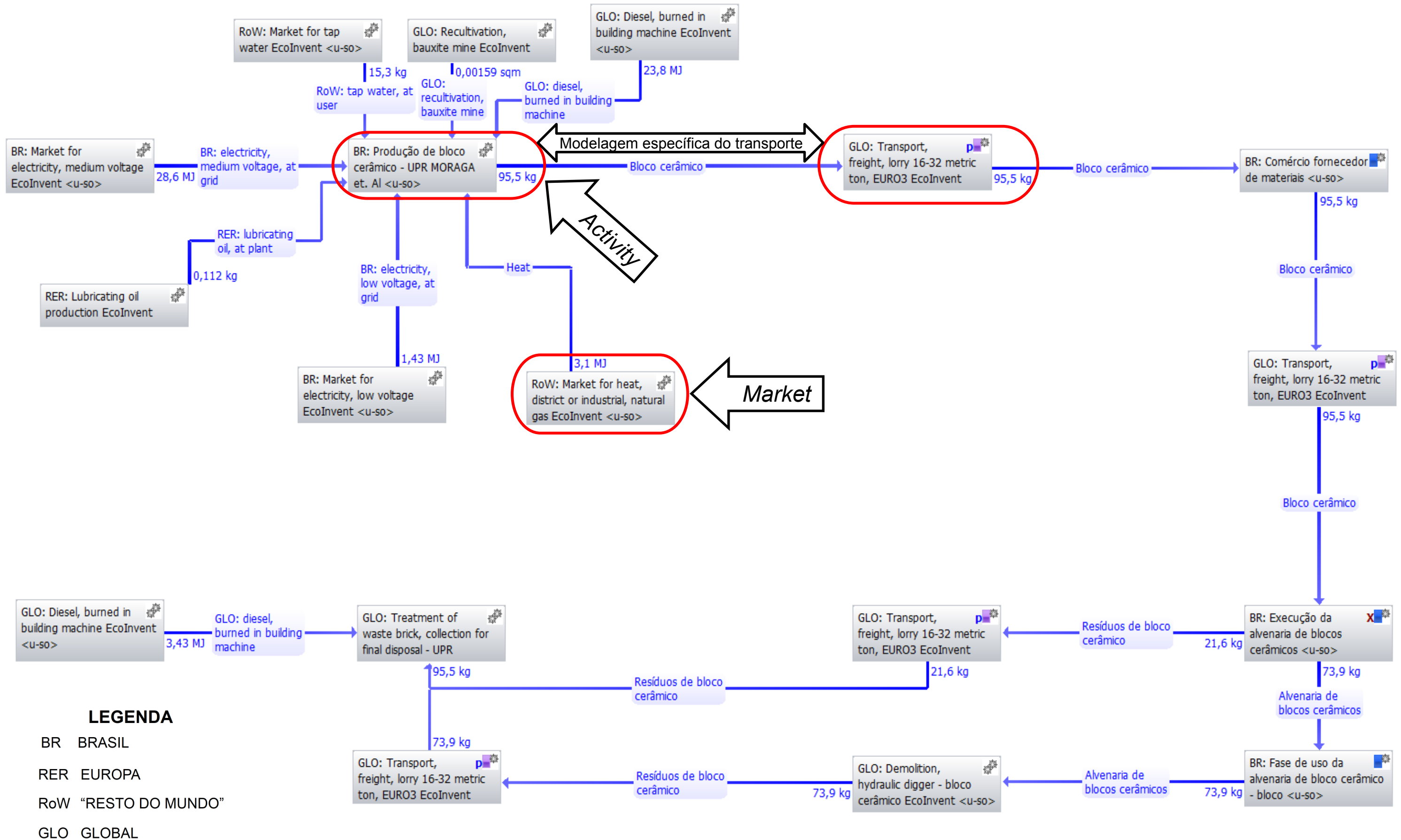
introduzidos na modelagem do ciclo de vida procedida a estes produtos. Neste sentido, distâncias e modais de transporte foram inventariados para os materiais de construção utilizados segundo a cadeia de produção e abastecimento da cidade de Londrina.

Para os produtos primários (como argila, cimento, cal e agregados, por exemplo), e suas respectivas matérias-primas, usados na fabricação dos insumos principais, foram empregados dados do tipo *Market*, conforme os inventários de adaptação utilizados (Tabelas AA.1 a AA.9 constantes no Anexo A do trabalho), uma vez que no caso destes produtos não foram inventariados dados específicos de transporte.

Tanto no caso dos processos modelados como *Activity*, como naqueles modelados como *Market*, os fluxos foram introduzidos nos respectivos processos sob a forma de processos unitários (*unit process* – UPR), que é maneira como os inventários encontram-se disponíveis na base de dados *EcolInvent*. Deste modo, por ocasião da modelagem dos ciclos de vida dos insumos, os fluxos foram inseridos manualmente nos respectivos processos, até ser alcançado o nível de elementaridade a todos os fluxos, de maneira que as cargas ambientais associados aos processos fossem efetivamente contabilizadas.

A modelagem do ciclo de vida dos insumos e a avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) foram efetuadas com o uso do programa computacional GaBi 7.3.0.40 (versão do banco de dados *Education* 6.115 / 2016). O *software* GaBi possui em sua base de dados fluxos elementares do *EcolInvent*. Por ocasião da modelagem dos ciclos de vida dos insumos, tais fluxos foram inseridos manualmente nos respectivos processos com a atribuição das quantidades e unidades especificadas nos inventários utilizados. Na Figura 3.4 é apresentado o ciclo de vida do bloco cerâmico confeccionado na forma de fluxograma com a utilização do *software* GaBi.

Figura 3.4. Ciclo de vida do bloco cerâmico.



Fonte: o autor (2017).

3.2.1 Produção dos insumos

O ICV foi desenvolvido individualmente para cada material constituinte de ambas alternativas de paredes internas, como é possível inferir a partir da Figura 3.4. As prescrições de adaptação para a regionalização de inventários, originalmente secundários oriundos da base de dados *EcoInvent*, foram obtidas no relatório de adaptação elaborado por Moraga *et al.* (2017², *apud* MORAGA, 2017), com exceção do processo produtivo do bloco de concreto, cujas adaptações com vistas à regionalização foram promovidas pelo autor deste trabalho. Deste modo, as incertezas, decorrentes das discrepâncias entre o local da obtenção dos dados e o local da realização efetiva do estudo, encontram-se em grande parte reduzidas. Todos os fluxos incorporados desde a aquisição das matérias-primas até o término da produção encontram-se embutidos nos inventários dos produtos.

Em relação à produção do bloco de concreto, foi constatada similaridade entre o processo fabril brasileiro para a produção do insumo (OLIVEIRA, 2015) e aquele a que se refere o módulo com escopo global *concrete block production* da base de dados *EcoInvent*. Portanto, no caso do bloco de concreto, as adaptações do processo produtivo consistiram na incorporação de dados do processo produtivo brasileiro do concreto e também da vinculação das matrizes brasileiras elétrica e do óleo diesel ao processo de produção do bloco no que tange às demandas energéticas. De acordo com as normas técnicas brasileiras NBR 6136 (ABNT, 2016) e 13281 (ABNT, 2001), é admitido o emprego de cimento pozolânico no produção industrial, respectivamente, de blocos de concreto e de argamassa industrializada.

Os *inputs* e *outputs* foram inseridos manualmente nos respectivos processos unitários do ciclo de vida esquematizados na forma de fluxogramas na interface gráfica do programa GaBi, conforme descrição anterior e ilustração contida na Figura 3.4. Durante a inserção dos fluxos elementares, num primeiro momento, foi mantida a escala de valores disponível na base de dados do *EcoInvent*, isto é, em geral valores correspondentes a um quilograma de produto e a um quilograma de resíduo gerado.

² MORAGA, G.; MORALES, M.; KIRCHHEIM, A.; PASSUELLO, A. **Relatório técnico de adaptação de dados de Inventário de Ciclo de Vida de materiais de construção**. Porto Alegre: 2017.

Posteriormente, como é descrito no item “3.2.3 Processo executivo no canteiro de obras”, concluída a edição dos processos e dos respectivos fluxos elementares integrantes do ciclo de vida dos produtos, a escala global dos fluxogramas foi alterada, conforme o insumo, de modo que os *inputs* e *outputs* passassem a corresponder, em termos de quantidade, a um metro quadrado de alvenaria, a unidade funcional do estudo.

Em relação aos inventários utilizados no estudo, no que tange aos blocos cerâmicos e de concreto, à argamassa de assentamento e revestimento e à tinta látex PVA foram adotadas as especificações de adaptação elaboradas por Moraga *et al.* (2017, *apud* MORAGA, 2017). Na Tabela 3.1 são apresentados os módulos originais do *EcolInvent*, a partir dos quais foram introduzidas adaptações nos inventários, as principais modificações implementadas e as referências aos estudos que serviram como base às alterações promovidas. Os inventários completos com todos os fluxos adaptados são apresentados nas tabelas identificadas por AA.1 até AA.8 constantes no Anexo A do trabalho.

Tabela 3.1. Adaptações no ICV dos insumos.

Insumo	Módulo original <i>EcolInvent</i>	Descrição do material	Adaptações desenvolvidas por Moraga (2017)	Referências para as adaptações												
Bloco cerâmico	<i>Inventário para o mercado brasileiro desenvolvido pela ANICER</i>	Blocos cerâmicos feitos de argila com adição de água, com a consideração dos processos de extração e preparação da argila e moldagem e cozimento dos blocos usando forno alimentado com cavaco de madeira residual proveniente da indústria moveleira como combustível.	Transição dos vetores da versão 2.2 para a versão 3.3 da base de dados do <i>EcolInvent</i> .	Lafontaine <i>et al.</i> (2012, <i>apud</i> Moraga, 2017).												
Bloco de concreto	<i>Concrete block production</i>	Blocos de concreto feitos a partir de uma mistura de cimento, areia, brita e água, inclusa prensagem, cura e embalagem dos blocos.	Dados do concreto e das matrizes elétricas e do diesel brasileiras.	Oliveira, 2015												
Concreto convencional (fabricação do bloco de concreto)	<i>Concrete production 20MPa</i>	<ul style="list-style-type: none"> Resistência à compressão de 25 MPa aos 28 dias de cura. Composição: <table border="1"> <thead> <tr> <th>1m³ de concreto</th> <th>Cimento (kg)</th> <th>Areia (kg)</th> <th>Brita (kg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>385</td> <td>840</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>TUm*</td> <td>1</td> <td>2,18</td> <td>2,34</td> </tr> </tbody> </table>	1m ³ de concreto	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)		385	840	900	TUm*	1	2,18	2,34	Dosagem.	Franarim (2014, <i>apud</i> Moraga, 2017).
1m ³ de concreto	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)													
	385	840	900													
TUm*	1	2,18	2,34													

Fonte: adaptado de Moraga (2017).

*TUm: traço unitário em massa.

Tabela 3.1. Adaptações no ICV dos insumos (continuação).

Insumo	Módulo original EcolInvent	Descrição do material	Adaptações desenvolvidas por Moraga (2017)	Referências para as adaptações		
Argamassa (assentamento e revestimento da alvenaria)	<i>Cement mortar production</i>		Cimento (kg) Cal (kg) Areia (kg)	Dados da matriz elétrica, do cimento e da areia; inclusão da cal hidratada.		
		Massa (kg)	194		126	1680
		Massa específica (kg/L)	2,83		1,60	2,65
		Volume (L)	68,55		78,75	633,96
		TUv**	1	1,15	9,25	
Cimento pozolânico CP IV – 32 (preparo da argamassa e do concreto)	<i>Cement production, pozzolana and fly ash 11-35%, non-US</i>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Resistência característica de 32 MPa; ❖ Taxas de substituição de clínquer: <ul style="list-style-type: none"> • 15 a 50% (NBR 5736, ABNT 1991); • 32,5% (percentual adotado). ❖ 1 kg de CP IV: <ul style="list-style-type: none"> • 0,610 kg de clínquer; • 0,325 kg de cinza volante; • 0,04 kg de sulfato de cálcio (valor normativo fixo); • 0,025 kg de calcário moído (faixa de variação normativa de 0-5%). 	Processos energéticos relacionados à produção do clínquer e do próprio cimento.	CNI (2010 <i>apud</i> Moraga, 2017) e SNIC (2013 <i>apud</i> Moraga, 2017).		
		Cal produzida em forno rotativo conforme os principais combustíveis utilizados no Brasil: carvão vegetal, coque de petróleo e gás natural.			Incorporação de parâmetros energéticos referentes à produção brasileira.	John, Punhagui e Cincoto (2014 <i>apud</i> Moraga, 2017).
Areia (preparo do concreto e da argamassa)	Dados desenvolvidos por Moraga <i>et al.</i> (2017) com base em Souza (2012).	Areia originária da dragagem de leitos de rios e lagos com a consideração dos processos de extração, beneficiamento (secagem e peneiramento) e armazenagem, conforme a realidade que pode ser constatada em diversas regiões do Brasil.	Origem da matéria: de areia britada para areia proveniente de processos de dragagem de leitos de rios e lagos.	Souza (2012 <i>apud</i> Moraga, 2017).		
Tinta látex PVA branca (pintura da alvenaria)	<i>Alkyd paint production, white, water-based, product in 60% solution state</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Tinta látex PVA (acetato de polivinila) branca, por ser própria para pintura em ambientes internos; • Resina do tipo látex com polímero vinílico; • Dióxido de titânio como pigmento responsável por conferir a cor branca, em volume de 40% do total da resina. 	Caracterizações químicas da produção de tintas vinílicas (PVA).	Silva (2005, <i>apud</i> Moraga, 2017) e Uemoto (1998, <i>apud</i> Moraga, 2017).		

Fonte: adaptado de Moraga (2017).

**TUv: traço unitário em volume.

3.2.2 Transportes dos produtos

Em relação aos inventários correspondentes aos transportes, realizados no decorrer do ciclo de vida dos insumos, foi utilizado o módulo do *EcoInvent* “*transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3*”. De acordo com as informações expostas por ANFAVEA (2012) e MMA (2011), é possível inferir que o modelo de caminhão de carga europeu EURO III é o mais condizente e representativo da atual frota brasileira. Os fluxos elementares deste processo foram parametrizados, durante a modelagem, em função das variáveis *carga útil transportada* e *distâncias de transporte*, uma vez que o módulo do *EcoInvent* utilizado está referenciado à unidade composta “tonelada X quilômetro”. Portanto, foram levantadas as distâncias e tonelagens do transporte por caminhão conforme a realidade de cada material, tanto para o transporte da fábrica até o comércio distribuidor, como deste ao local da obra.

Diferente do que ocorre em muitos países, no Brasil, o transporte dos materiais de construção, bem como dos resíduos gerados na obra, é realizado exclusivamente por caminhão de carga (CONDEIXA *et al.*, 2014). Deste modo, um cuidado especial foi atribuído neste trabalho ao levantamento dos dados associados às particularidades deste meio de transporte segundo a realidade da cidade de Londrina. O retorno do caminhão ao local de origem não foi considerado, pois existe a possibilidade do caminhão realizar um novo transporte no trajeto.

As distâncias para o transporte de materiais entre o local da sua fabricação e do seu comércio e distribuição, bem como entre o local da comercialização e o da obra, foram ambas quantificadas a partir da identificação da localização provável dos canteiros de obra e dos principais fabricantes e fornecedores locais de material. Em todos os casos, foram adotadas as distâncias médias para os percursos mais curtos dos caminhões, seja por rodovias ou vias urbanas.

As tonelagens dos caminhões, por sua vez, foram levantadas individualmente para cada material com fundamento nas diretrizes da legislação brasileira (BRASIL, 2009) para o transporte de cargas e da montadora do modelo de caminhão de carga adotado (MERCEDÉS-BENZ DO BRASIL, 2017b). Aspectos relevantes como

características das embalagens, dos paletes e da película retrátil utilizada para proteger a carga, foram levados em conta (FERRÁNDEZ-GARCÍA *et al.*, 2016).

3.2.2.1 Distâncias de transporte das fábricas ao centro de comercialização

Foi definido um depósito de materiais de construção, com localização nas coordenadas geográficas 23°18'06,3" de latitude sul e 51°10'09,3" de longitude oeste, como o centro comercial fornecedor dos insumos necessários à execução das soluções de vedação estudadas. A escolha do estabelecimento ocorreu em decorrência da localização central estratégica do mesmo no contexto urbano da cidade, da disponibilidade dos insumos requeridos, além da sua influência reconhecida no mercado da construção civil de Londrina.

Em seguida, foram identificadas as fábricas dos produtos requeridos com localização mais próxima à Londrina. A partir disto, foi possível o cálculo das distâncias de transporte entre a unidade fabricante e o centro comercial de fornecimento dos produtos na cidade de Londrina (Tabela 3.2). Nas Figuras identificadas por A.1 até A.4, constantes no Apêndice A do trabalho, são apresentados os trajetos percorridos por caminhões de carga, com as respectivas distâncias estimadas com o auxílio das ferramentas do programa computacional *Google Earth* (GOOGLE CORPORATION, 2017).

Tabela 3.2. Distâncias de transporte estimadas entre a fábrica e comércio distribuidor.

Insumo	Unidade fabricante		Comércio distribuidor		Distância de transporte estimada (m)
	Empresa	Localização	Empresa	Localização	
Bloco cerâmico	A	Jataizinho / PR			28.300
Bloco de concreto	B	Londrina / PR	Depósito de materiais de construção	Londrina / PR	5.351
Argamassas	C	Rio Branco do Sul / PR			411.000
Tinta látex PVA	D	São Paulo / SP			535.000

Fonte: o autor (2017).

3.2.2.2 Distâncias de transporte do centro de comercialização aos locais das obras

Primeiramente foi traçado um perfil, inferido estatisticamente, da respectiva localização provável das obras residenciais na cidade de Londrina com o padrão construtivo desejável ao estudo, isto é, habitações de interesse social. Como a localização das instalações do fornecedor de insumos já foi definida anteriormente, foi possível calcular a distância média de transporte dos materiais até o local das obras.

Foram definidos quatro marcos, correspondentes a quatro residências reais, representativos da localização provável inferida para as obras com interesse para o estudo. Cada marco estava localizado em uma das quatro zonas da cidade: norte, leste, sul e oeste. O método aplicado, baseado na Estatística Inferencial, é descrito detalhadamente no Apêndice B do trabalho.

Em seguida, foram calculadas as distâncias dos percursos pelas vias urbanas relativos ao transporte dos insumos por caminhões de carga desde o comércio fornecedor até os quatro marcos adotados em cada uma das quatro zonas da cidade. Nas quatro situações foram adotados os trajetos mais curtos entre a origem e o destino final. Os trajetos e as respectivas distâncias são apresentados no Apêndice C do trabalho.

A média aritmética simples das quatro distâncias, cujo valor é **7.273 metros** (Tabela 3.3), foi adotada como a distância, empregada no inventário do ciclo de vida (ICV), representativa do trajeto urbano para transporte, por caminhão de carga, dos materiais demandados do local do estabelecimento comercial fornecedor ao local das obras.

Tabela 3.3. Distâncias do transporte dos insumos por caminhão de carga entre o estabelecimento distribuidor de materiais e os locais das obras.

MARCO	Norte	Leste	Sul	Oeste	MÉDIA
DISTÂNCIA (M)	5.450	7.190	9.770	6.680	7.273

Fonte: o autor (2016).

3.2.2.3 Tonelagens das cargas dos produtos

As tonelagens das cargas de transporte foram definidas em função dos pesos máximos autorizados pela legislação nacional e pela montadora do modelo de caminhão de carga EURO III adotado para realizar as estimativas.

O modelo de caminhão de carga adotado foi o da linha Atego (Figura BB.1 do Anexo B do trabalho) da fabricante Mercedes-Benz do Brasil Ltda. Segundo a Mercedes-Benz do Brasil (2017a), trata-se de uma linha desenvolvida para atender às necessidades de aplicações tanto urbanas como rodoviárias de curtas a longas distâncias. Devido à esta versatilidade e à ampla utilização do modelo nos mais diversos tipos transporte no Brasil, neste trabalho foi privilegiado o emprego deste modelo de caminhão nos transportes dos insumos realizados da fábrica ao local da comercialização, do comércio ao local da obra, bem como dos resíduos gerados na obra até a unidade de tratamento.

Mais especificamente foi adotado o veículo Atego 1418, com distância entre eixos de 4.760 mm e configuração de eixos 6x2, isto é, com terceiro eixo adaptado para otimizar a capacidade de carga (MERCEDES-BENZ DO BRASIL, 2017b). Para o transporte de blocos e argamassas foi considerado o uso do veículo com carroçaria do tipo aberta (Figura BB.2 do Anexo B). No que se refere ao transporte da tinta foi adotado o caminhão Atego com carroçaria do tipo plataforma fechada e coberta (Figura BB.3 do Anexo B), conforme a Resolução Nº 420 da ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres (BRASIL, 2004) que regulamenta o transporte terrestre de produtos perigosos.

A Tabela BB.1 do Anexo B apresenta as prescrições relativas à admissibilidade de carregamentos e configurações geométricas do chassi, carroçaria e cabine do veículo contidas no manual "Instruções para montagem de carroçarias e equipamentos – Atego" (MERCEDES-BENZ DO BRASIL, 2017b) e também na Resolução Nº 318 do CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito (BRASIL, 2009).

De acordo com Mercedes-Benz do Brasil (2017b), a carga estática mínima no eixo dianteiro $V_{d_{\min}}$ deve ser respeitada para a garantia da qualidade e da segurança da dirigibilidade do veículo.

Para a estimativa da carga útil de transporte, foi elaborado um modelo estático (Figura D.1 do Apêndice D) com a representação dos carregamentos no veículo e a conformação geométrica prescrita pelo fabricante. Foram considerados os pesos sobre os eixos dianteiro e traseiro devido à cabine e ao chassi especificados pelo fabricante, bem como respeitados simultaneamente os parâmetros limitantes apresentados na Tabela E.1.

A carga útil máxima transportável (Q) foi estimada com base nas equações de equilíbrio fundamentais da Estática, pautadas no Princípio da Ação e Reação. A carga útil máxima (Q) foi checada sob duas hipóteses. Uma considerou o peso máximo admissível no eixo traseiro (V_t) igual a 17.000,00 quilogramas, e a outra, o peso máximo admissível no eixo dianteiro (V_d) de 4.700,00 quilogramas. As Tabelas D.1 e D.2, constantes no Apêndice D, contêm os resultados para a carga útil máxima (Q) segundo as hipóteses descritas.

Para o caso da primeira hipótese, a do peso máximo admissível no eixo traseiro (V_t) de 17.000,00 quilogramas (Tabela E.2), não foram satisfeitos o peso máximo admissível no eixo dianteiro (V_d) de 4.700,00 quilogramas, nem o peso bruto total admissível (PBT) de 21.300,00 quilogramas. Já em relação à segunda hipótese, a de um peso máximo admissível no eixo dianteiro de (V_d) de 4.700,00 quilogramas (Tabela E.3), todos os requisitos foram atendidos. Neste caso, a carga útil máxima (Q) resultante foi de 10.218,44 quilogramas. Este foi o valor limite adotado para a estimativa das cargas úteis de transporte dos insumos utilizados na execução das alvenarias.

Em seguida foram dimensionadas as cargas de transporte dos insumos com base na carga útil máxima admissível (Q) calculada anteriormente. As especificações consideradas nesta quantificação são apresentadas na Tabela 3.4. O acondicionamento das embalagens nos paletes, e destes por sua vez, na carroçaria do caminhão foi procedido de modo a privilegiar a otimização do aproveitamento do espaço disponível. Com este intuito, estudos com o emprego do recurso de desenho técnico em CAD (*Computer aided design*) 3D foram conduzidos (Figuras D.2 a D.12 do Apêndice D). No transporte de argamassas, teve melhor adequação o uso do palete padrão para distribuição nacional PBR – I, com dimensões externas de 1,00 m x 1,20 m (CPP-ABRAS,

2012). Já em relação ao transporte de bloco cerâmicos e de concreto e tinta látex PVA, o palete especial com dimensões externas de 1,20 m x 1,20 m foi mais propício.

Tabela 3.4. Estimativa das cargas úteis transportadas.

Características dos materiais				Transporte							
Produto	Formato	Peso da unidade (kg / unidade)	Paleta (kg) - Película retrátil (kg/paleta)	Unidades / paleta		Peso total do paleta (kg)		Paletes / carga		Total de peças / carga	Peso total da carga (kg)
Bloco cerâmico padrão	(0,09 X 0,14 X 0,19) m	2,2	36 ^(1,20X1,20) - 0,36	390*	312**	894,36*	722,76**	9*	3**	4.446	10.217,52
Bloco de concreto padrão	(0,09 X 0,19 X 0,29) m	7,5	36 ^(1,20X1,20) - 0,36	104	156	816,36	1.206,36	11	1	1.300	10.186,32
Argamassa de assentamento e revestimento	Saco (0,42 X 0,30 X 0,10) m	20	30 ^(1,00X1,20) - 0,30	32	24	670,30	510,30	12	4	480	10.084,80
Tinta látex PVA	Lata (18 L); densidade = 1,36 kg/L; embalagem = 5,19 kg	29,67	36 ^(1,20X1,20) - 0,36	25		777,75		13		325	10.110,75

Fonte: adaptado de Ferrández-García *et al.* (2016).

*Dados referentes ao paleta composto por 5 fiadas de blocos cerâmicos (390 unidades).

**Dados referentes ao paleta composto por 4 fiadas de blocos cerâmicos (312 unidades).

Observação: ver os detalhes do acondicionamento das cargas dos produtos constantes no Apêndice D.

3.2.3 Processo executivo no canteiro de obras

Assumiu-se que as operações imediatas envolvidas após a chegada dos materiais ao local da obra, como descarga, instalação, posicionamento e acondicionamento, foram desenvolvidas todas manualmente.

A operação de preparo de argamassa foi considerada mecânica com emprego de misturador horizontal do tipo betoneira. A estimativa do consumo de energia pelo equipamento (Tabela 3.5) foi realizada com base nas especificações técnicas contidas no Manual de Operação e Manutenção da betoneira CS 400, com motor elétrico monofásico e capacidade do tambor de 400 litros, da fabricante de máquinas para preparo de concretos e argamassas CSM (CSM, 2015). As atividades de assentamento, revestimento e pintura das alvenarias foram consideradas todas manuais. Os consumos

de água demandados no preparo da argamassa e da tinta também foram contabilizados. Em todos os casos foram cumpridas as recomendações contidas em notas técnicas dos fabricantes dos insumos.

Tabela 3.5. Estimativa do consumo de eletricidade para o preparo de 1 kg de argamassa pronta.

Produção horária PH (m^3/h)*	Potência P do motor (CV)*	Densidade d da argamassa (kg/m^3)**	Tempo t necessário para produzir 1 kg de argamassa (h) ³	Consumo de energia (kWh) ⁴
4,10	2	1.600	1,5244E-04	2,2424E-04

Fonte: o autor (2018); *CSM (2015); **Votorantim Cimentos (2012).

Em ambos os casos de alvenaria, a quantificação das unidades de blocos e dos volumes de argamassas de assentamento e revestimento foi desenvolvida com base no mapeamento de 1,00 m² de alvenaria com o emprego de recursos de desenho técnico em CAD (*computer aided design*), conforme é mostrado nas Figuras 3.5, 3.6 e 3.7. De acordo com relato anterior, inicialmente os fluxos elementares haviam sido inseridos nos respectivos processos numa escala de valores correspondentes a um quilograma de produto requerido e de um quilograma de resíduo gerado. Contudo, ao término da elaboração dos fluxogramas do ciclo de vida dos insumos, os processos tiveram seus fluxos ajustados para a execução de 1,00 m² de alvenaria, a unidade funcional do estudo. Nas Tabelas 3.6, 3.7 e 3.8 é mostrada a quantificação de blocos cerâmicos e de concreto por metro quadrado de alvenaria, as áreas de alvenaria executáveis com um quilograma de argamassa e tinta PVA, além dos respectivos fatores de conversão para o ajuste à unidade funcional. Em relação às especificações sobre a densidade e o rendimento na aplicação foram seguidas prescrições feitas pelos fabricantes dos produtos.

Tabela 3.6. Rendimento dos blocos.

	Quantidade	Peso / Bloco (kg)*	TOTAL (kg/m ²)	% de perda (%)	Quantitativo (q) por m ² de alvenaria (kg) ⁵
Bloco cerâmico	33,57	2,20	73,86	22,62**	95,45

$$^3 t = \frac{1}{PH \times d}$$

$$^4 Consumo = P \times t \times 735,499 \times 10^{-3}$$

$$^5 q = \frac{TOTAL}{1 - \% perda}$$

Bloco de concreto	16,72	7,50	125,43	22,62**	162,10
-------------------	-------	------	--------	---------	--------

Fonte: o autor (2017); *Maquivibrassa (2017); **Condeixa *et al.* (2014).

Tabela 3.7. Rendimento da tinta látex PVA.

	Densidade d (kg/L)	Rendimento / demão	Número n de demãos	Área alv. executável c/ 1 kg de produto (m ²) ⁶	% de perda (%)	Quantitativo (q) por m ² de alvenaria (kg) ⁷
Tinta látex PVA branca	1,36*	21,11 m ² /L*	2*	7,761	25,00 **	0,1718

Fonte: o autor (2017); *BASF (2016); **Hoch (2008).

Tabela 3.8. Rendimento das argamassas de assentamento e revestimento.

	Densidade d (kg/m ³)	Área arg. / m ² de alvenaria (m ²)	Volume V arg. / m ² de alvenaria (m ³)	Área alv. executável c/ 1 kg argam. (m ²) ⁸	% de perda (%)	Quantitativo (q) por m ² de alvenaria (kg) ⁹
Assentamento do bloco cerâmico	1.600*	0,107	0,00963	0,06490	72,62**	56,27
Assentamento do bloco de concreto	1.600*	0,079	0,00707	0,08846	72,62**	41,29
Revestimento das alvenarias	1.600*	1,000	0,04000	0,01563	72,62**	233,75

Fonte: o autor (2017); *Votorantim Cimentos (2012); **Condeixa *et al.* (2014).

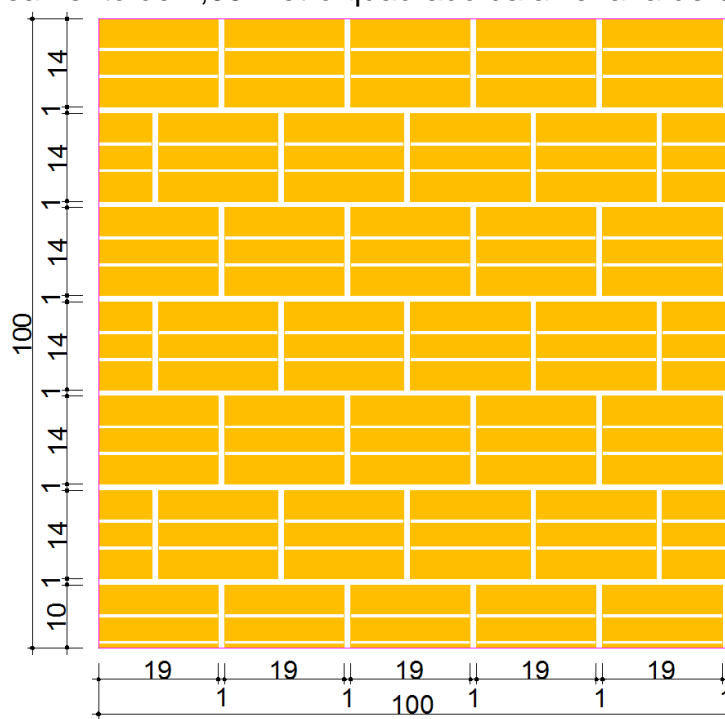
$${}^6 \text{Área}_{alv} = \frac{\text{Rendimento}}{d \times n}$$

$${}^7 q = \frac{1}{\text{Área} \times (1 - \% \text{ perda})}$$

$${}^8 \text{Área}_{alv} = \frac{1}{V_{arg} \times d}$$

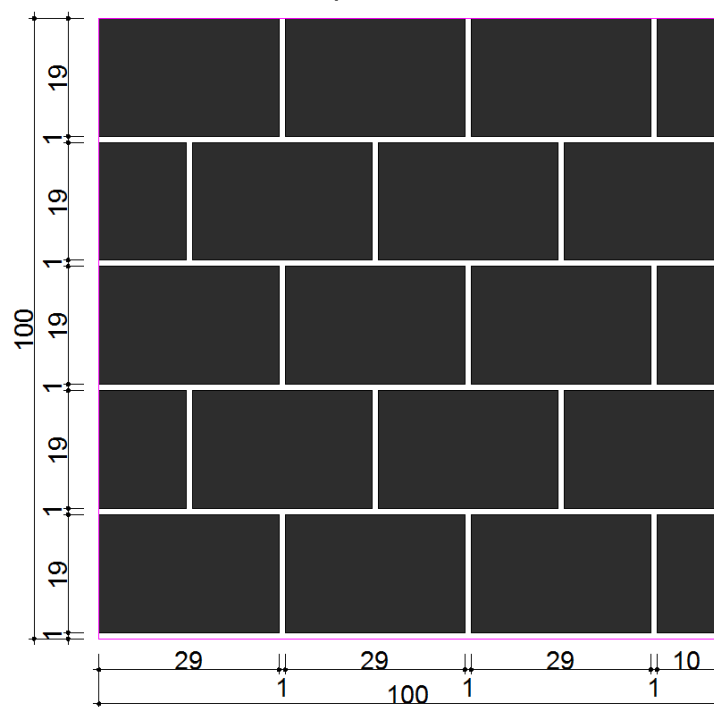
$${}^9 q = \frac{1}{\text{Área} \times (1 - \% \text{ perda})}$$

Figura 3.5. Mapeamento de 1,00 metro quadrado da alvenaria de blocos cerâmicos.



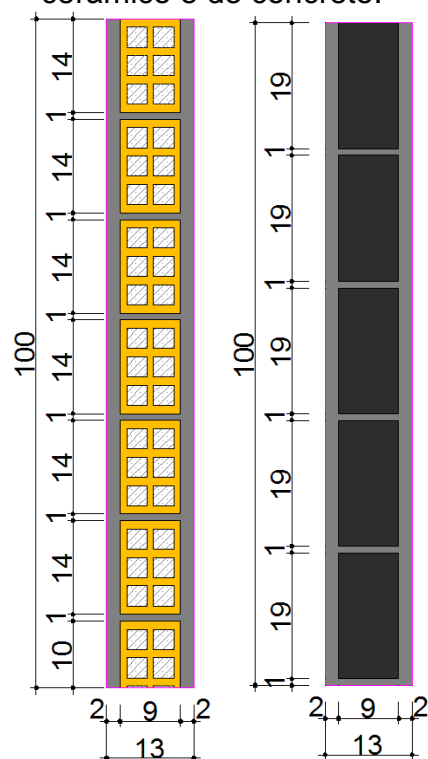
Fonte: o autor (2017).

Figura 3.6. Mapeamento de 1,00 metro quadrado da alvenaria de blocos de concreto.



Fonte: o autor (2017).

Figura 3.7. Corte transversal de 1,00 metro quadrado das alvenarias de blocos cerâmico e de concreto.



Fonte: o autor (2017).

3.2.4 Fase de uso

Por ocasião da fase de uso, foi considerado restritamente o cenário de manutenções e substituições de materiais estipulado na norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) – Edificações Habitacionais / Desempenho, conforme os requisitos mínimos de desempenho previstos neste documento. Assim, a quantidade de substituições implementadas nos sistemas envolvidos é definida em função dos períodos de vida útil de projeto (VUP) mínimos estabelecidos na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) e apresentados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9. Vida útil de projeto (VUP) mínima e número de substituições consideradas.

Sistema	VUP mínima	Substituições em 20 anos
vedação vertical interna	20	
revestimento interno	13	1
pintura interna	3	6

Fonte: adaptado de ABNT (2013).

Como a argamassa de assentamento integra conjuntamente com o bloco, no caso dos sistemas de vedação constituídos por blocos, a estrutura básica da alvenaria e também como não há, possivelmente por este mesmo motivo, na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013) instrução normativa específica sobre a VUP da argamassa de assentamento; a vida útil deste insumo foi considerada igual à da própria vedação interna.

Em virtude dos reparos no revestimento e na pintura simulados ao longo da vida útil das alvenarias durante a fase de uso, foram atribuídos aos serviços correlatos à substituição destes materiais os mesmos percentuais de perda designados anteriormente na fase de construção.

As demais atividades operacionais da edificação geradoras de consumo de energia, essencialmente eletricidade e calor (proveniente de gás liquefeito de petróleo – GLP e aquecimento solar, entre outros) não foram consideradas, uma vez que neste estudo pretende-se investigar, conforme os limites definidos no escopo, tão somente o ciclo de vida do sistema de vedações internas e não o da edificação como um todo. Portanto, estão além do escopo deste trabalho os ciclos de vida de aparelhos eletrodomésticos; de sistemas de geração e uso de calor para cocção de alimentos e aquecimento de água; sistemas de aquecimento, ventilação, condicionamento de ar e iluminação de ambientes; sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário; mobiliário e processos de limpeza.

Como equipamento para a demolição das alvenarias ao fim de suas vidas úteis foram consideradas escavadeiras hidráulicas abastecidas com diesel como principal combustível. O módulo do *EcolInvent*, referente a esta etapa é: “*excavation, hydraulic digger*”.

3.2.5 Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RDC)

No que tange aos processos de gerenciamento dos resíduos, tanto da construção como da demolição, o estudo considerou os consumos energéticos e materiais, bem como as emissões envolvidas. Foram utilizados módulos da base de dados *EcolInvent* (versão 3.3, 2016) com escopos de aplicação global. Estes inventários não foram adaptados com vistas à regionalização, uma vez que não foram encontradas na literatura

especificações para a adaptação. Além disso, na base *EcolInvent*, os dados relativos aos cenários da gestão dos resíduos oriundos da construção e do “fim de vida” encontram-se arrolados com a consideração da separação prévia dos resíduos nos canteiros de obra e de demolição com a possibilidade de três destinos distintos: centro de separação, reciclagem, ou disposição final (aterro inerte ou sanitário, queima, entre outros). Trata-se de um sistema com similaridades às possibilidades legais de gerenciamento de resíduos de construção e demolição no Brasil.

Os módulos do *EcolInvent*, relacionados à gestão de resíduos, utilizados são: “*treatment of waste brick, collection for final disposal*”; “*treatment of waste cement in concrete and mortar, collection for final disposal*”; “*treatment of waste paint, residual material landfill*”.

Deste modo, foi considerado como destino final dos resíduos dos insumos envolvidos no estudo a disposição em aterro inerte de construção civil. Apesar dos resíduos de blocos e de argamassas serem considerados inertes, sabe-se que eventualmente o volume de RCD destes materiais encaminhado ao aterro pode conter componentes não inertes que na prática não são separados previamente. Além disso, os resíduos de tintas que não são inertes frequentemente também são dispostos em aterros de RCD juntamente com outros resíduos inertes, de maneira desconforme com os requisitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos – lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), na qual é prevista a submissão de embalagens de tintas usadas na construção civil à logística reversa. Portanto, admite-se que a consideração atribuída à gestão dos materiais no “fim de vida” pode não ser a ambientalmente mais adequada, contudo consiste numa simulação razoavelmente condizente com a realidade brasileira da gestão de resíduos de construção e demolição uma vez que é possível supor e constatar, frente ao controle e estrutura insuficientes, a ocorrência de práticas para a destinação ainda mais inapropriadas. Deste modo, tem-se de antemão a expectativa da presença de poluição sensível a algumas categorias de impacto em virtude da simulação da disposição de frações não inertes.

No *EcolInvent*, os *inputs* e *outputs* correlatos aos resíduos, de maneira similar ao caso dos produtos da construção, encontram-se arrolados por quilograma de resíduo de construção gerenciado. Primeiramente, os fluxos relativos ao gerenciamento dos

resíduos foram inseridos segundo esta escala de quantificação nos respectivos processos com o uso do *software* GaBi. Posteriormente, estes processos foram ajustados à unidade funcional do estudo.

As estimativas da geração de resíduos oriundos do processo construtivo foram baseadas nos percentuais de perdas dos respectivos materiais na fase de execução. Podem ser encontrados na literatura brasileira trabalhos com relevância reconhecida nos quais foi procedido o levantamento das perdas de materiais nos canteiros de obra. Na Tabela 3.10 são apresentadas tais perdas, em termos percentuais, apuradas por Condeixa *et al.* (2014) com base nos trabalhos de Formoso *et al.* (1996)¹⁰ e Agopyan *et al.* (2001)¹¹. Estes valores fundamentaram a adoção dos percentuais para a geração de resíduos na construção, usados neste trabalho. Contudo, os estudos mencionados não apresentavam valores específicos para a pintura. A este serviço foi, portanto, associado o valor médio (25 %) da faixa percentual de perda (20 % – 30 %) prescrita por Hoch (2008) para pintura com rolo.

Tabela 3.10. Estimativas dos percentuais de perdas de materiais na obra.

MATERIAL	% DE PERDA
Blocos	22,62%
Argamassas	72,62%
Pintura	25,00%

Fonte: Condeixa *et al.* (2014) e Hoch (2008).

3.2.4.1 Distâncias do transporte dos resíduos dos locais das obras ao CTR

As distâncias do transporte dos resíduos por caminhão foram estimadas desde o local das obras até a sede da empresa escolhida como responsável pelo gerenciamento dos resíduos de construção civil. No caso, uma empresa especializada na gestão de resíduos sólidos, que na atualidade monopoliza a atividade no município de Londrina e

¹⁰ FORMOSO, Carlos T.; CESARE, Cláudia M.; LANTELME, Elvira M. V.; SOIBELMAN, Lucio. As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS: 1996.

¹¹ AGOPYAN, Vahan; SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes; PALIARI, José Carlos; ANDRADE, Artemária Coêlho. Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. Revista Habitare; 2001. p. 26.

está localizada, segundo as coordenadas geográficas, a 23°23'50,1" de latitude sul e 51°07'49,2" de longitude oeste.

O procedimento adotado foi análogo ao anteriormente utilizado no levantamento das distâncias de transporte dos insumos entre o comércio fornecedor e os locais das obras. Foram considerados quatro trajetos, cada um com início em um dos quatro marcos adotados como representativos da localização das obras das residências, com interesse para o estudo, e término no CTR (centro de tratamento de resíduos) adotado. Os percursos mais curtos entre a origem e o destino final foram considerados. Nas Figuras E.1, E.2, E.3 e E.4 do Apêndice E são apresentados os trajetos e as respectivas distâncias.

A média aritmética simples destas quatro distâncias, cujo valor é **14.580 metros** (Tabela 3.11), foi adotada como a distância representativa entre os locais das obras e a unidade de tratamento dos resíduos.

Tabela 3.11. Distâncias do transporte dos resíduos dos insumos por caminhão dos locais das obras ao centro de tratamento.

MARCO	Norte	Leste	Sul	Oeste	MÉDIA
DISTÂNCIA (M)	19.490	16.720	6.440	15.670	14.580

Fonte: o autor (2017).

3.2.4.2 Tonelagens das cargas dos resíduos

As cargas de transporte dos resíduos da construção e demolição também foram dimensionadas com base na carga útil máxima transportável (Q) calculada anteriormente para o caminhão de carga Atego 1418/48 e configuração de eixos 6x2. Contudo, neste caso, foi adotada a adaptação da carroçaria com poliguindaste e caçambas de resíduo. As especificações levadas em conta na quantificação dos resíduos gerados para todos os insumos utilizados nas obras são apresentadas na Tabela 3.12.

As caçambas foram consideradas, no que se refere às especificações dimensionais e volumétricas, conforme o constante na NBR 14728 (ABNT, 2005): Caçamba estacionária de aplicação múltipla operada por poliguindaste – Requisitos de construção. Com vistas à otimização do aproveitamento espacial, para a situação do

transporte dos resíduos da tinta PVA, cujas embalagens tem relevância expressiva no processo, estudos logísticos com o emprego do recurso de desenho técnico em CAD 3D foram desenvolvidos (Figura E.5 do Apêndice E).

Tabela 3.12. Especificações para a estimativa das cargas úteis de resíduos transportadas.

Características dos resíduos			Características do transporte				Pesos estimados (kg)			
Produto	Densidade	Peso da unidade (kg / unidade)	Volume da caçamba	Volume aproveitado	Nº de caçambas / carga	Nº de unidades / carga	Caçamba	Poliguind.	Carga útil de resíduos	Peso total da carga
Bloco cerâmico	918,96 kg/m ³		7 m ³ **	6,20 m ³	1		1.500,00 ***	3.000,00 ***	5.697,55	10.197,55
Bloco de concreto	1.512,40 kg/m ³		4 m ³ **	3,75 m ³	1		1.500,00 ***	3.000,00 ***	5.671,51	10.171,51
Argamassa de assentamento / revestimento	1.600,00 kg/m ³		4 m ³ **	3,50 m ³	1		1.500,00 ***	3.000,00 ***	5.600,00	10.100,00
Tinta PVA	Material = 1,36 kg/L; Embalag. = 980 g*	7,10	7 m ³ **	7,00 m ³	2	186	1.500,00 ***	3.000,00 ***	4.207,32	10.207,32

Fonte: adaptado de Ferrández-García *et al.* (2016); *Latal Embalagens (2016); **ABNT (2005); ***Resgate Ambiental (2017).

3.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida

Concluído o inventário do ciclo de vida, a próxima etapa da metodologia do estudo consistiu na avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV). Nesta fase, o método de avaliação CML 2001 foi utilizado para a obtenção de indicadores ambientais para diferentes categorias de impacto.

As principais razões para a escolha do método CML 2001 para a avaliação foram: o fornecimento pelo método de subsídios à aferição de impactos ambientais diversificados, a abrangência global do seu escopo de aplicação e a sua ampla utilização pela comunidade científica internacional, de maneira notável em trabalhos destinados à

análise ambiental de produtos e sistemas da construção civil (FERRÁNDEZ-GARCÍA *et al.*, 2016; GAYARRE *et al.*, 2016; CONDEIXA *et al.*, 2014).

Na Tabela 3.13 são apresentadas as categorias de impacto que compuseram o escopo da AICV. São indicados também os respectivos acrônimos e unidades de medida.

Tabela 3.13. Categorias de impacto que compuseram a AICV.

Categoria de impacto	Acrônimo	Unidade	Identificação convencional em inglês
Depleção de recursos abióticos – elementos	DRA	kg Sb equivalente	Abiotic depletion - ADP elements
Depleção de recursos abióticos – fósseis	DRAF	MJ	Abiotic depletion - ADP fossil
Potencial de Acidificação	PA	kg SO ₂ equivalente	Acidification potential (AP)
Potencial de Eutrofização	PE	kg PO ₄ ³ equivalente	Eutrophication potential (EP)
Aquecimento global	AG	kg CO ₂ equivalente	Global warming potential - GWP 100 years
Depleção do ozônio estratosférico - estado estacionário	DOE	kg R11 equivalente	Ozone layer depletion potential (ODP, steady state)
Potencial de formação de ozônio fotoquímico	PFOF	kg C ₂ H ₄ equivalente	Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)

Fonte: o autor (2017).

Assim como procedido em relação à modelagem dos ciclos de vida dos insumos e à elaboração dos respectivos inventários (ICV), a avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) também foi desenvolvida com o emprego do programa computacional GaBi 7.3.0.40 (versão do banco de dados 6.115).

Os impactos ambientais totais gerados pelos processos avaliados neste estudo, conforme o escopo definido, são agrupados em seis fases distintas:

- **produção:** engloba os impactos incorporados nos insumos desde a aquisição das matérias-primas até o término da produção;
- **transporte:** contempla os impactos gerados pelo transporte dos produtos efetuado entre os locais: da indústria e o da distribuição, do comércio distribuidor e os locais das obras, e dos locais das obras até a unidade de tratamento de resíduos de construção e demolição.

- **execução:** abrange os impactos devidos ao consumo de eletricidade e água oriundos da operação de preparo eletromecânico das argamassas com misturador do tipo betoneira. As demais atividades envolvidas nesta fase foram consideradas todas manuais.
- **fase de uso:** representa os impactos atrelados às substituições de materiais efetuadas no decorrer do período de vida útil de 20 anos das alvenarias, conforme as especificações estipuladas na norma NBR 15.575 (ABNT, 2013).
- **demolição:** agrega os impactos decorrentes do desmantelamento das alvenarias, ao fim da sua vida útil, com o uso de escavadeiras hidráulicas.
- **resíduos:** concentra os impactos oriundos da atividade de disposição final dos resíduos de construção e demolição em aterro inerte de construção civil.

Não há designação específica de grupos de impacto associados aos processos presentes na comercialização dos insumos, pois não há impactos ambientais relacionados a estas atividades, ou os mesmos não foram computados durante a modelagem dos ciclos de vida dos produtos por serem desprezíveis.

3.4 Interpretação do ciclo de vida

A NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) define a interpretação do ciclo de vida como a fase da avaliação do ciclo de vida na qual as constatações da análise de inventário (ICV) ou da avaliação de impacto (AICV), ou de ambas, são avaliadas com relação ao objetivo e escopo definidos a fim de se chegar a conclusões e recomendações.

A interpretação dos resultados obtidos consistirá, para cada categoria de impacto, na identificação da alternativa de vedação com maior contribuição. Também serão analisados, no ciclo de vida dos insumos, aqueles com maior contribuição, bem como os respectivos processos integrantes com as contribuições mais expressivas, conforme as categorias de impacto consideradas.

Serão observados também os efeitos promovidos pela reciclagem dos resíduos dos blocos cerâmicos e de concreto nos ciclos de vida de ambos, bem como na totalidade

da cadeia produtiva de ambos os sistemas de vedação estudados, segundo as categorias de impacto consideradas e as fronteiras definidas para a ACV.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

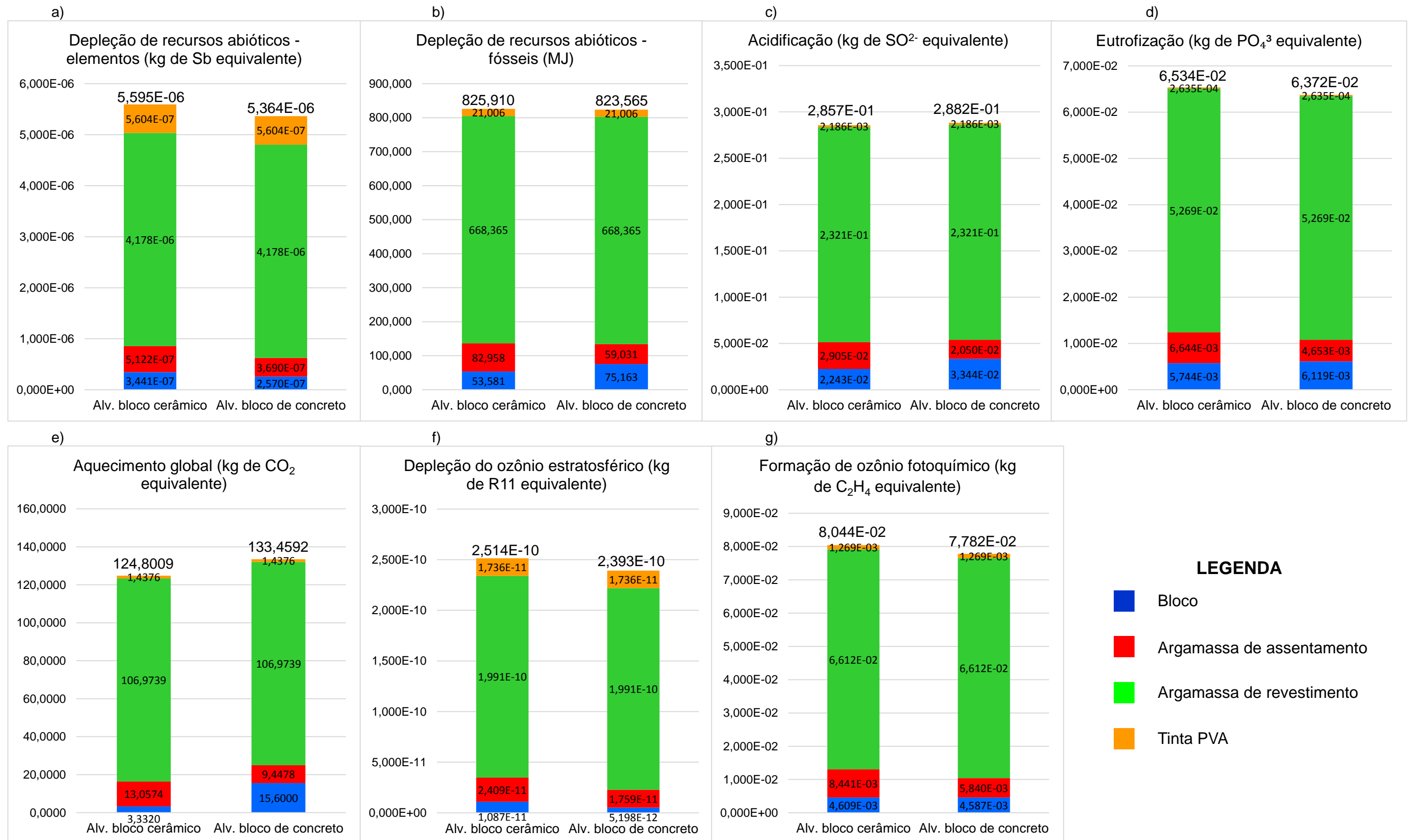
Os resultados da AICV (avaliação de impacto do ciclo de vida) das soluções de vedação interna comparadas, sistemas de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, são apresentados na forma de gráficos (Figuras 4.1 a 4.11), conforme as categoria de impacto definidas. Na Figura 4.1, os resultados são representados em valores absolutos para ambos os sistemas estudados com a diferenciação dos impactos correspondentes a cada insumo integrante dos sistemas. Assim, é possível a identificação por categoria de impacto da alternativa de vedação com maior potencial para geração de impactos ambientais, bem como é possível constatar a contribuição relativa dos respectivos insumos.

A interpretação da avaliação do ciclo de vida é desenvolvida na medida em que os resultados são apresentados. Procurou-se durante a análise dos resultados realizar o apontamento dos processos elementares pertinentes ao ciclo de vida dos insumos com contribuições mais expressivas aos impactos verificados.

De maneira geral, não houve diferença considerável entre os montantes de potencial de impacto registrados para ambos os tipos de alvenaria avaliados. Contudo, numa análise preliminar dos resultados, mostrados na Figura 4.1, percebe-se que a alvenaria de blocos cerâmicos mostrou um potencial de impacto levemente maior que a alvenaria de blocos de concreto, para as categorias *depleção de recursos abióticos – elementos*, *depleção de recursos abióticos – fósseis*, *eutrofização*, *depleção de ozônio estratosférico* e *formação de ozônio fotoquímico*. Enquanto o potencial de impacto da alvenaria de blocos de concreto foi maior para as categorias *acidificação* e *aquecimento global*. Observa-se que o maior potencial de impacto do sistema com blocos cerâmicos está relacionado à argamassa de assentamento, cujo consumo é maior neste tipo alvenaria.

Entretanto, quando comparados apenas os potenciais de impacto dos blocos isoladamente, o bloco cerâmico tende a apresentar melhor *performance* ambiental nas categorias *depleção de recursos abióticos – fósseis*, *acidificação*, *eutrofização* e *aquecimento global*.

Figura 4.1. Resultados da AICV em valores absolutos para ambos sistemas de vedação avaliados com a contribuição individual de cada insumo representada.



Fonte: o autor (2018).

O maior volume de argamassa consumido pela alvenaria de blocos cerâmicos, comparada à de blocos de concreto, por ocasião do assentamento dos blocos é especialmente determinante ao maior potencial de impacto verificado para parede de blocos cerâmicos na maioria das categorias de impacto. Isto se deve às dimensões reduzidas do bloco cerâmico em relação ao de concreto, o que demanda, no caso da parede cerâmica, maior quantidade de argamassa para o assentamento de uma mesma área de alvenaria. Este fato é sobretudo notório no caso das categorias de impacto *depleção de recursos abióticos (fósseis)* e *potencial de eutrofização*, para as quais o potencial de impacto do bloco de concreto é superior ao cerâmico, contudo, o impacto final da alvenaria de bloco cerâmico é maior que o da alvenaria de bloco de concreto.

No que se refere à alvenaria na sua íntegra, a conclusão parcial obtida no presente trabalho de maior impacto causado pela parede de blocos cerâmicos é condizente com o resultado alcançado por Bueno (2014). Embora o trabalho tenha avaliado impactos gerados por paredes externas de edifícios com o emprego do método de avaliação ReCipe 2008, a autora concluiu que tanto em nível *midpoint* como em *endpoint* a alvenaria de blocos cerâmicos é ligeiramente mais impactante que a de blocos de concreto. Segundo a autora, o maior poder de impacto gerado pela alvenaria de blocos cerâmicos, ainda que reduzido, é justificado sobretudo pelo maior potencial para *esgotamento de recursos*. No entanto, no presente estudo observa-se que o maior potencial de impacto da alvenaria de blocos cerâmicos está relacionado ao maior consumo de argamassa de assentamento e portanto, não se limita apenas à categoria *depleção de recursos abióticos*.

Ferrández-García *et al.* (2016), ao analisarem o ciclo de vida de cinco soluções de paredes internas, entre elas as alvenarias de bloco cerâmico e de concreto, também concluíram que a alvenaria de blocos cerâmicos apresenta contribuição para a geração de impactos ambientais em potencial superior à de bloco de concreto, a exceção da categoria de impacto aquecimento global em virtude do intenso consumo energético envolvido na produção do cimento utilizado na fabricação do bloco de concreto.

Pode-se afirmar que o poder de impacto pronunciado verificado para as argamassas é decorrente em grande parte do elevado percentual de perda (72,62%) atribuído aos processos executivos que envolvem o material. Isto promove uma elevação

dos impactos em todos os estágios do ciclo de vida do insumo. Quanto maior a perda, menor o rendimento do produto e maior a quantidade exigida do mesmo. Com isso maiores são também os consumos de matéria-prima e energia e as emissões envolvidas na fabricação do insumo, maiores são o consumo de combustíveis fósseis e o lançamento de gases do efeito estufa durante as etapas de transporte do produto e maiores são também os impactos decorrentes do gerenciamento e disposição final dos resíduos gerados.

Além disso, no caso da argamassa, cujo polo produtor mais próximo está situado na região próxima à Curitiba, a 411 quilômetros de Londrina, existe a tendência de uma contribuição expressiva aos impactos exercida pelos processos relativos aos transportes do material, principalmente para a distribuição do mesmo.

Durante a produção da argamassa, em comparação à do bloco de concreto, apesar de não estarem englobados os impactos decorrentes da produção e suprimento do agregado graúdo (brita) presente no concreto, encontram-se embutidos os impactos adicionais oriundos da produção da cal hidratada.

Esses fatores, concernentes ao ciclo de vida da argamassa, em conjunto corroboram para o fato de pequenas mudanças no valor mássico requerido para o insumo repercutirem mudanças sensíveis nos impactos causados.

No caso específico da argamassa de revestimento, além do maior consumo mássico em comparação à argamassa de assentamento que origina aumentos sensíveis no impacto total ocorrido, há ainda o agravante do cenário de substituições de material ao longo do período de vida útil da alvenaria. Os requerimentos relativos à manutenção dos revestimentos das paredes estão sujeitos a ser responsáveis pelas contribuições mais relevantes no ciclo de vida da argamassa de revestimento, uma vez que agregam simultaneamente a produção e o transporte do insumo.

Os resultados encontrados neste trabalho para os blocos isoladamente são coerentes com as conclusões a que chegaram Souza *et al.* (2016). De acordo com estes autores, os impactos mais acentuados atrelados à produção do bloco de concreto, os quais são nítidos no caso das categorias aquecimento global e depleção de recursos fósseis, em comparação ao cerâmico, são originados principalmente pela combustão mais intensiva, essencialmente de combustíveis fósseis, necessária à produção do

cimento. Enquanto na produção de blocos cerâmicos a temperatura do forno para cozimento do bloco é de aproximadamente 950°C, a produção do bloco de concreto demanda indiretamente, em virtude da produção do cimento, os processos de clínquerização e calcinação durante os quais são alcançadas temperaturas da ordem de 1450°C.

Como se sabe, a densidade dos blocos de concreto é maior que a dos blocos cerâmicos, o que representa, por parte dos blocos de concreto, maior demanda material por metro quadrado de alvenaria executada, a unidade funcional do estudo. Além disso, o bloco de concreto é produzido, em comparação ao processo de produção do bloco cerâmico cuja matéria-prima básica é essencialmente a argila, a partir de uma quantidade maior de componentes (cimento, areia, brita), cada um deles com processos produtivos com potenciais de impacto relevantes e sensíveis à várias categorias. Nos resultados expressos através dos gráficos da Figura 4.1, esta expectativa de maior contribuição do bloco de concreto, em comparação ao cerâmico, em relação aos danos ambientais verificados no decorrer do ciclo de vida, sobretudo devido à produção, é de certa forma confirmada, uma vez que em quatro das sete categorias nas quais os impactos foram avaliados os potenciais de impacto apresentados pelo bloco de concreto foram superiores àqueles apresentados pelo bloco cerâmico.

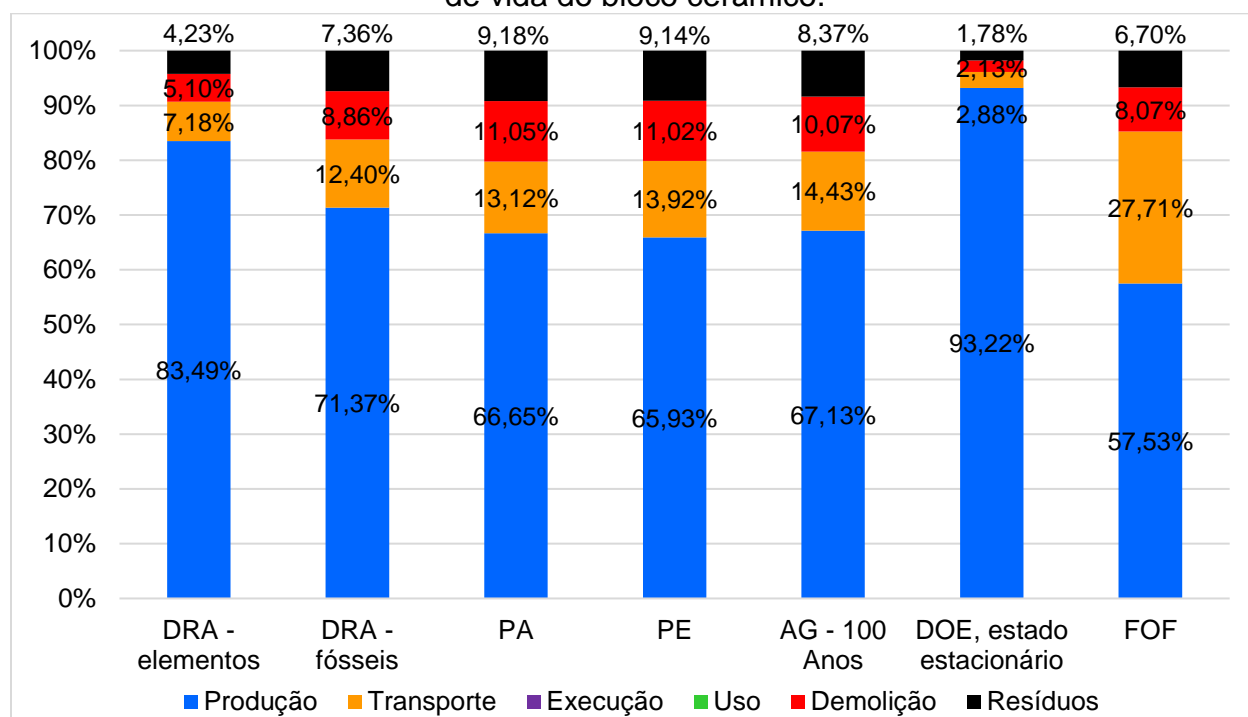
No geral, o escore dos impactos associados à pintura das alvenarias é relativamente pequeno, sendo quase imperceptível em alguns gráficos. Todavia, os efeitos da pintura podem ser percebidos com destaque nos gráficos das categorias *depleção de recursos abióticos (elementos)* e *depleção do ozônio estratosférico*. Nestas categorias de impacto os resultados associados à pintura com tinta látex PVA foram superiores inclusive àqueles verificados para os blocos, como insumo. Como a durabilidade atribuída à tinta é baixa, conforme as prescrições normativas contidas na NBR 15.575-1 (ABNT, 2013), a potencialização dos impactos associados à recorrência das manutenções tende a ser superior àquela verificada no caso dos revestimentos, cuja durabilidade designada é seis vezes superior àquela considerada para a tinta látex PVA.

Nas Figuras com numeração compreendida entre 4.2 e 4.7, os resultados da AICV são apresentados individualmente por insumo, em termos percentuais, com a distribuição do impacto total entre as fases do ciclo vida do produto. Dessa maneira, é

possível constatar para cada categoria, as fases do ciclo de vida de cada insumo com maior potencial de impacto.

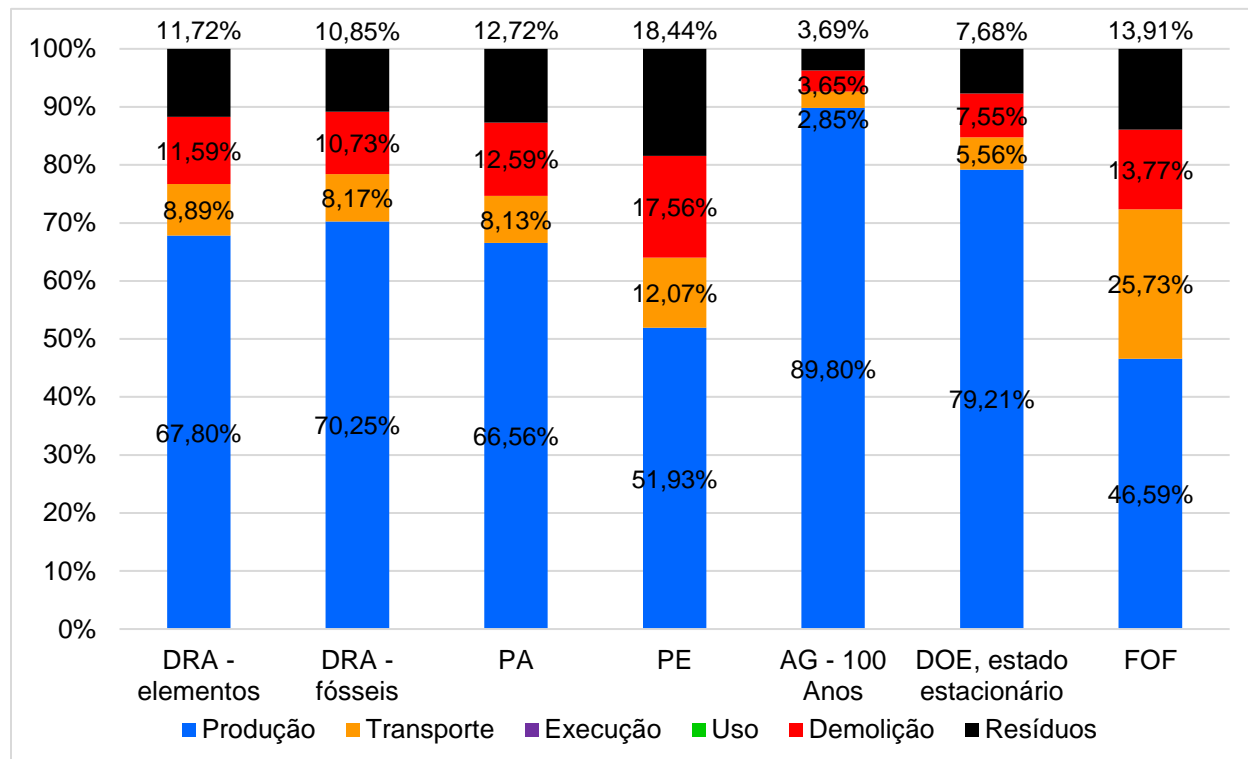
Como está explícito nas Figuras 4.2 e 4.3, a etapa da produção tem contribuição preponderante no ciclo de vida dos blocos, cerâmicos e de concreto. No Brasil, durante a produção de blocos cerâmicos para o aquecimento do forno de cozimento do bloco são empregadas fontes de energia renováveis como o cavaco de madeira residual e biomassas descartadas por outras indústrias (SEBRAE, 2015). Contudo, durante os processos de extração, preparo e moldagem da argila, está presente o uso de outras fontes energéticas, entre elas os combustíveis fósseis, como é possível inferir a partir da análise do próprio inventário do ciclo de vida do bloco cerâmico (Anexo A). Em relação ao ciclo de vida do bloco de concreto, a principal demanda energética é decorrente do uso intensivo de combustíveis fósseis para a geração de energia durante a produção de cimento (Paula *et al.*, 2010).

Figura 4.2. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida do bloco cerâmico.



Fonte: o autor (2017).

Figura 4.3. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida do bloco de concreto.



Fonte: o autor (2017).

Dessa maneira, justifica-se o fato de ser registrado, em comparação recíproca e em valores absolutos, potencial de impacto mais elevado para o bloco de concreto (1,4 vezes o do bloco cerâmico) no caso da categoria *depleção de recursos abióticos (fósseis)* e para o bloco cerâmico (1,3 vezes o do bloco de concreto) no caso da categoria *depleção de recursos abióticos (elementos)*. No que se refere ao bloco de concreto, durante o processo de clinquerização necessário à produção de cimento também ocorrem emissões de gases do efeito estufa (Carvalho *et al.*, 2010), cujos impactos ocasionados são retratados na categoria *aquecimento global*.

Bueno (2014) obteve, para a categoria *esgotamento de recursos fósseis*, resultado adverso ao encontrado no presente estudo. No trabalho da autora, a alvenaria de blocos cerâmicos apresentou potencial de impacto cerca de cinco vezes superior ao atingido pela alvenaria de blocos de concreto na categoria. Esta divergência, ao comparar resultados obtidos pela autora com os alcançados no presente trabalho, decorre possivelmente do fato da autora não ter utilizado dados adaptados à realidade

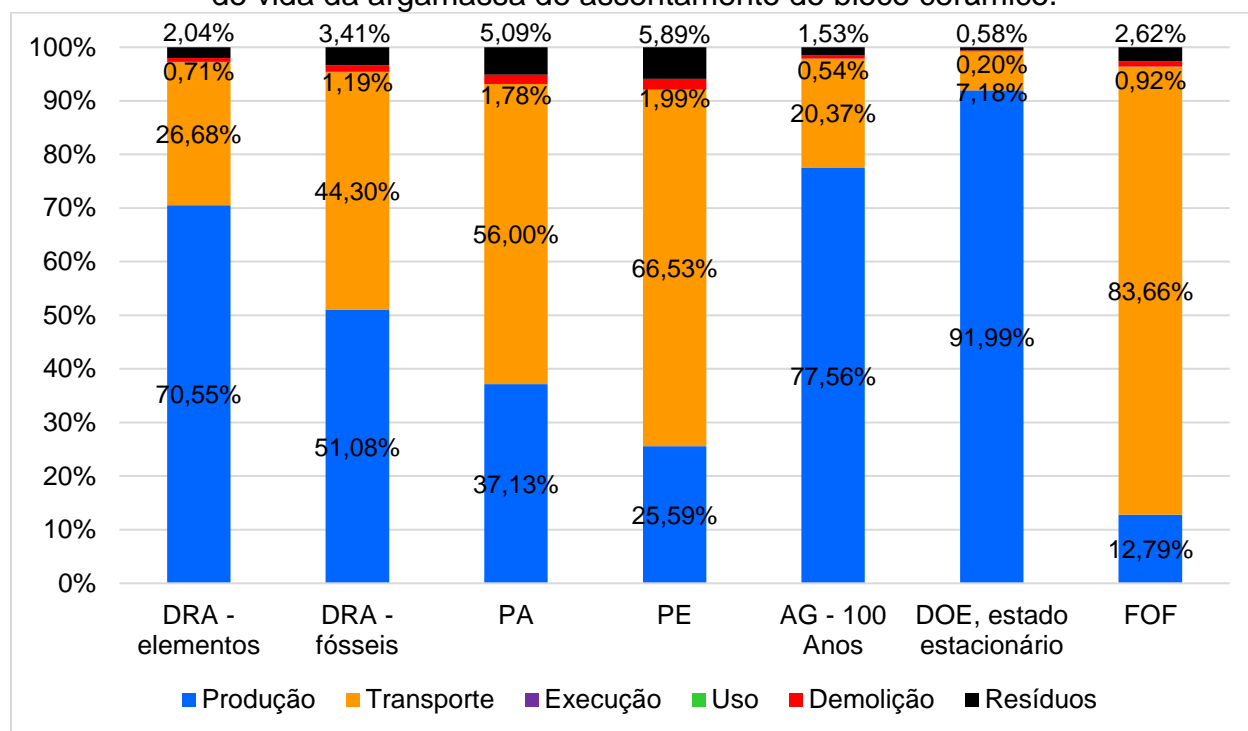
brasileira em sua pesquisa, considerando o gás natural como combustível para o aquecimento do forno durante a queima dos blocos cerâmicos. Eis a razão da contribuição ampliada da produção do bloco cerâmico para o consumo de combustíveis fósseis verificada por Bueno (2014). Esta constatação evidencia a relevância da adoção de dados ajustados ao contexto ao qual o estudo é dirigido.

De maneira geral, os resultados da AICV indicam um impacto mais expressivo para o bloco de concreto, do que para o cerâmico, na fase de gerenciamento dos resíduos de construção e demolição. Por ser o principal integrante da alvenaria em termos de valor mássico, o bloco apresentou, entre os insumos constituintes das paredes, a principal contribuição aos impactos decorrentes da fase de demolição das vedações.

No que tange ao ciclo de vida das argamassas, os impactos relevantes constatados em decorrência da fase de produção estão em grande proporção associados ao consumo intensivo de combustíveis fósseis, como verificado no caso da produção do bloco de concreto, para a produção do cimento. Entretanto, cabe ressaltar a participação considerável dos processos de transporte nos potenciais impactos ambientais contabilizados. A concentração de parcela expressiva dos impactos, como é possível visualizar nos gráficos das Figuras 4.4 e 4.5, na etapa de transporte é justificável em razão das distâncias para o fornecimento das argamassas substancialmente superiores àquelas exigidas para o abastecimento dos blocos, conforme a localização definida para as obras no estudo.

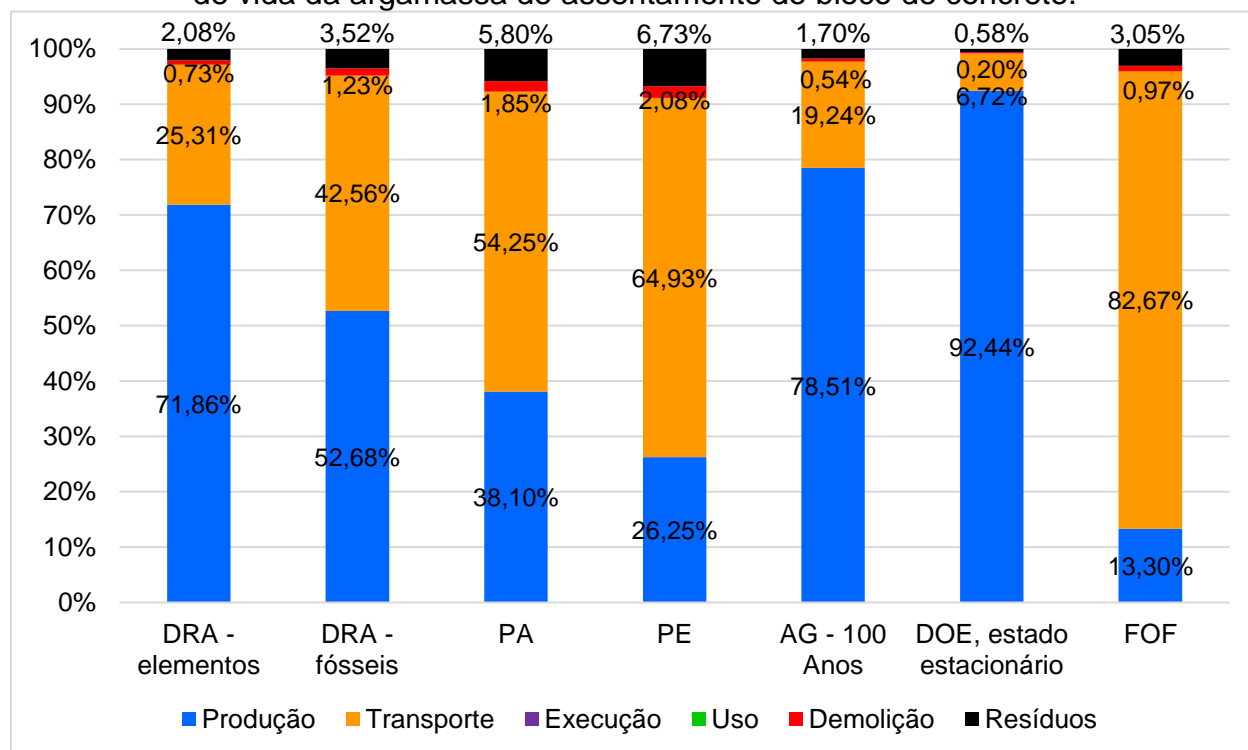
Embora os blocos (cerâmico e de concreto), que possuem uma cadeia de suprimento local, representem maior demanda mássica que as argamassas para a execução das alvenarias, a distância de transporte para o abastecimento deste último insumo, múltiplas vezes superior às distâncias de transporte para o suprimento dos blocos, é determinante para a participação pronunciada da etapa de transportes no ciclo de vida da argamassa.

Figura 4.4. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da argamassa de assentamento do bloco cerâmico.



Fonte: o autor (2017).

Figura 4.5. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da argamassa de assentamento do bloco de concreto.



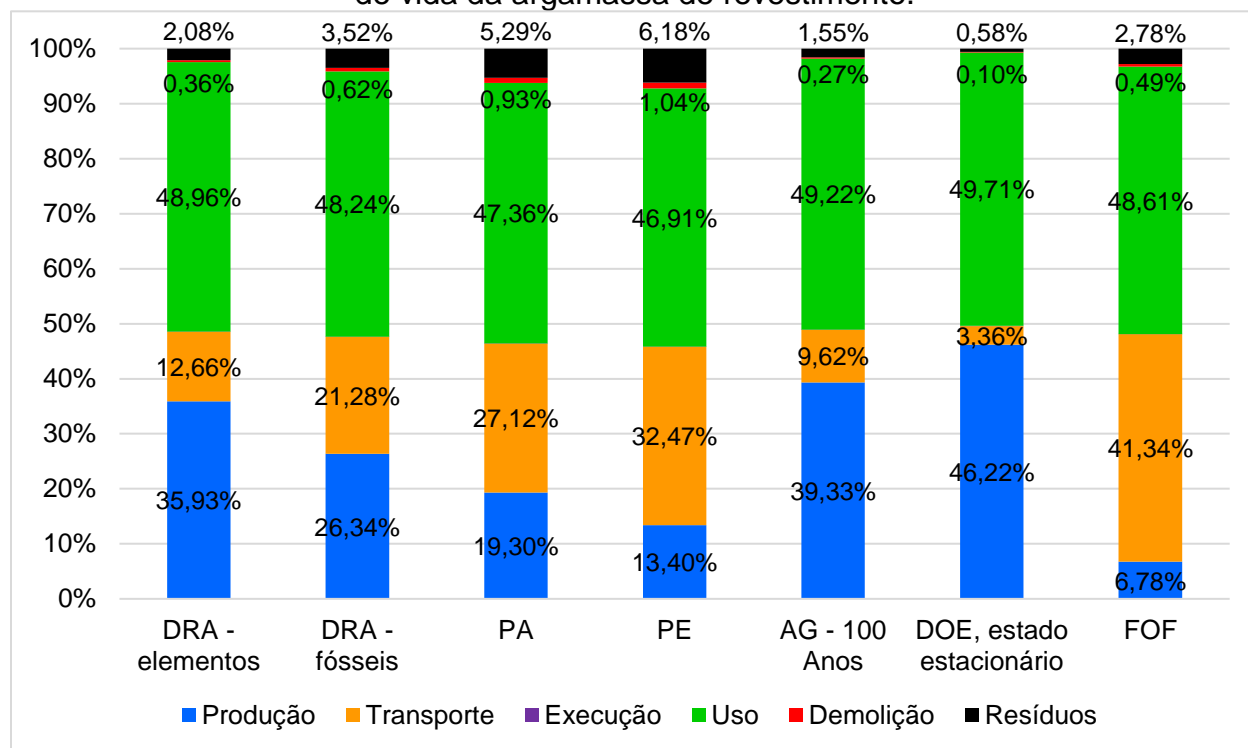
Fonte: o autor (2017).

Diferentemente do que ocorre no ciclo de vida dos demais insumos, os resultados expressos nas Figuras 4.6 e 4.7 atestam a relevância da fase de uso no ciclo de vida da argamassa de revestimento e da tinta látex PVA. A concentração dos impactos neste estágio está atrelada sobremaneira ao cenário de manutenções simulado para o revestimento interno e a pintura, conforme as respectivas durabilidades estipuladas para ambos os sistemas na norma NBR 15.575-1 (ABNT, 2013).

Os impactos associados às substituições do revestimento e da pintura, conforme confirmado nas Figuras 4.6 e 4.7, tendem a ser mais elevados do que os da própria produção dos materiais, pois agregam em multiplicidade, de acordo com a quantidade de manutenções ao longo da vida útil dos sistemas, além dos impactos relativos à produção dos insumos também aqueles oriundos do transporte para o fornecimento.

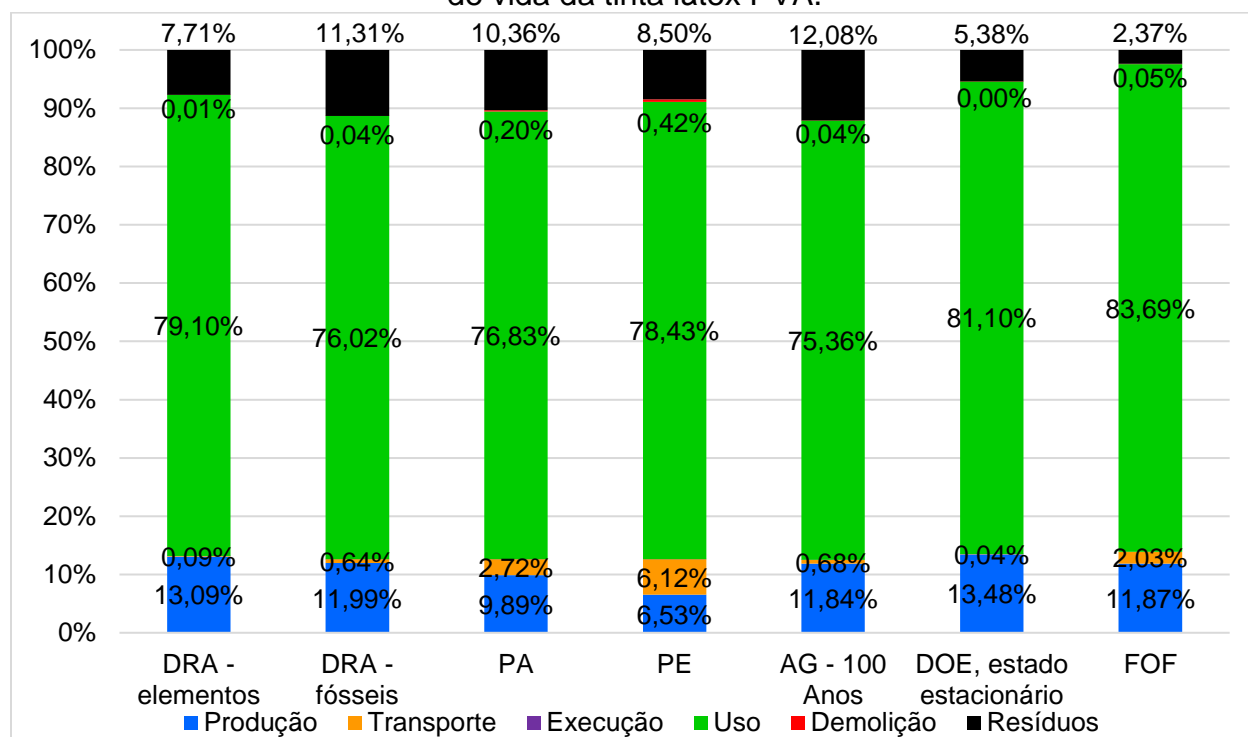
O potencial para a geração de impactos obtido para a fase de uso é sobretudo notório no caso do ciclo de vida da tinta látex PVA devido à elevada recorrência de manutenções requeridas pelo insumo: no total, são seis repinturas ao longo da vida útil de vinte anos das alvenarias.

Figura 4.6. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da argamassa de revestimento.



Fonte: o autor (2017).

Figura 4.7. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida da tinta látex PVA.

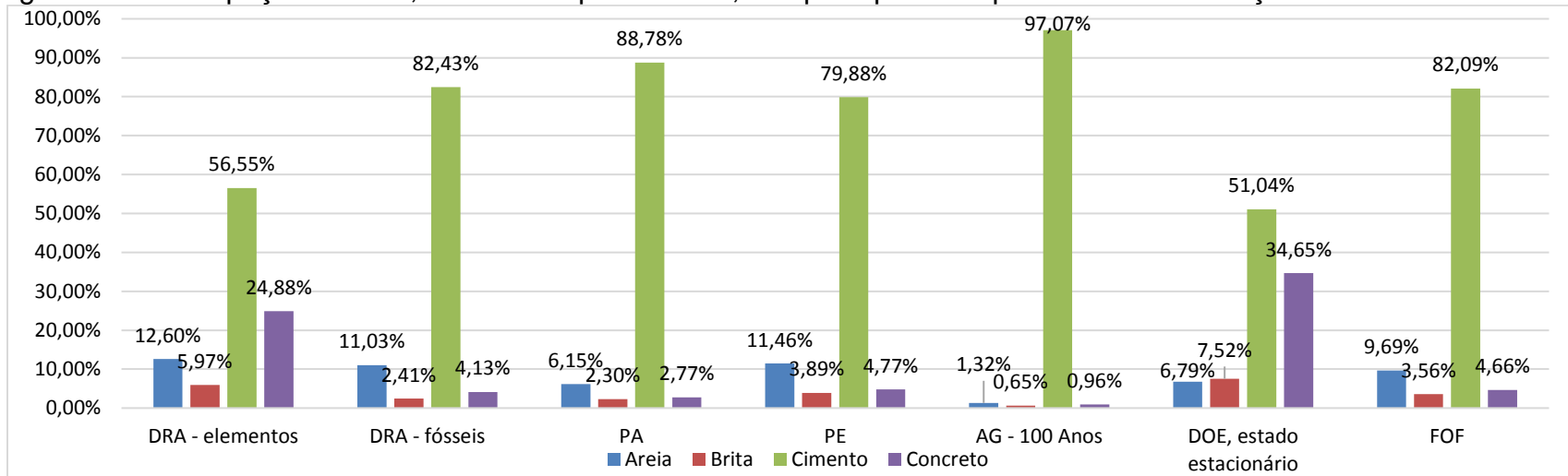


Fonte: o autor (2017).

Nas Figuras 4.8 e 4.9 é apresentada, respectivamente, a contribuição aos impactos, na fase de produção, dos principais componentes empregados na fabricação do bloco de concreto e da argamassa, uma vez que a análise do potencial para a geração de impactos associados à produção de ambos os insumos é especialmente complexa em virtude do envolvimento de componentes primários como cimento, areia, brita e cal, cada um deles com processos produtivos com potenciais de impacto relevantes e sensíveis a várias categorias.

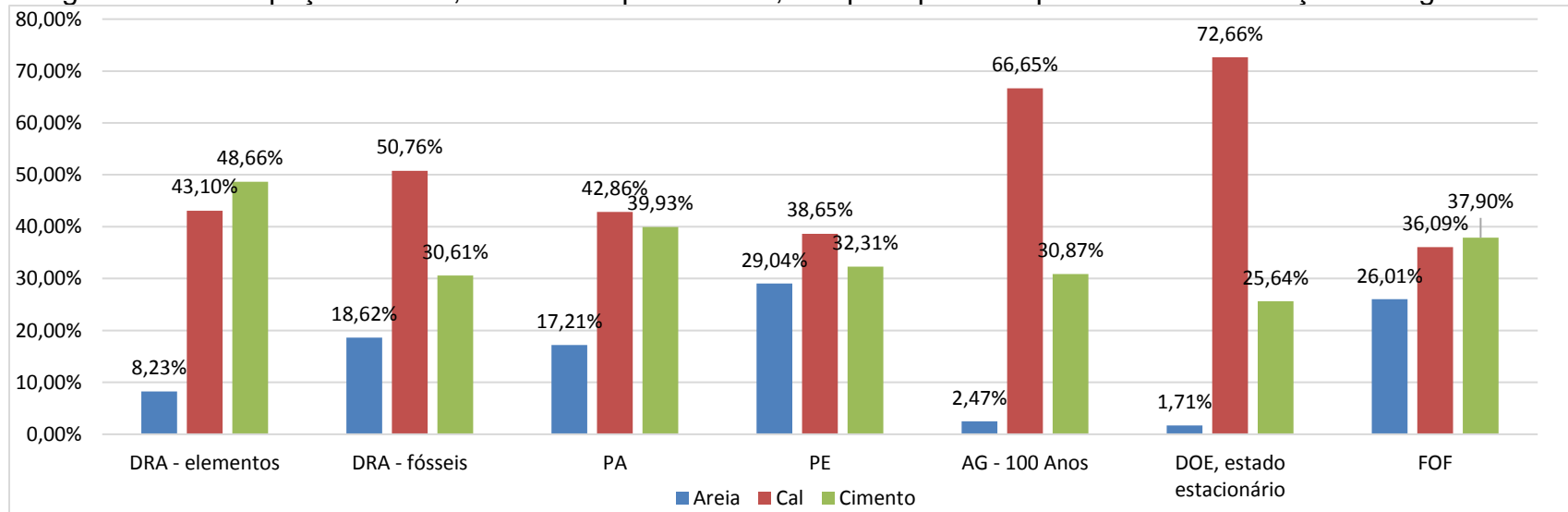
No caso da produção do bloco de concreto, o cimento confirmou a expectativa de superioridade na magnitude dos potenciais impactos gerados com larga diferença em relação aos demais insumos (Figura 4.8) em decorrência do uso intensivo de combustíveis fósseis para a geração de energia durante a sua produção, como discutido anteriormente. Em relação à fabricação da argamassa, além do cimento, a cal hidratada também apresentou relevância em termos de participação nos impactos promovidos, na medida em que a sua produção requer processos de calcinação similares aos ocorridos na produção do clínquer.

Figura 4.8. Participação relativa, em valores percentuais, dos principais componentes da fabricação do bloco de concreto.



Fonte: o autor (2018).

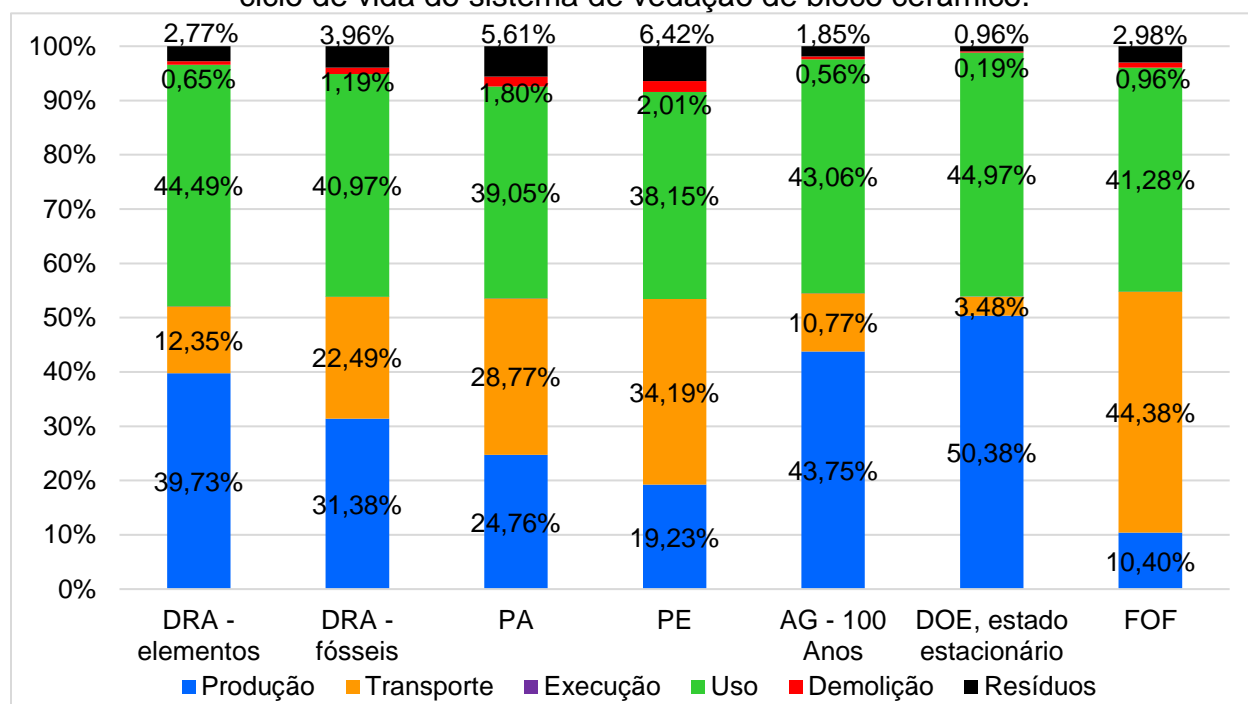
Figura 4.9. Participação relativa, em valores percentuais, dos principais componentes da fabricação da argamassa.



Fonte: o autor (2018).

Nas Figuras 4.10 a 4.13, os impactos associados aos insumos que constituem cada um dos sistemas de vedação comparados são representados de maneira agrupada em função das etapas dos seus respectivos ciclos de vida. Deste modo, é possível a visualização de forma isolada da contribuição efetiva aos impactos que ocorre em cada um dos estágios do ciclo de vida considerados no estudo. A fase com maior participação no montante de impacto contabilizado foi a de uso, seguida em ordem decrescente da produção, dos transportes, da gestão dos resíduos, da demolição e, por último da execução, a qual por sua vez totalizou apenas um centésimo percentual.

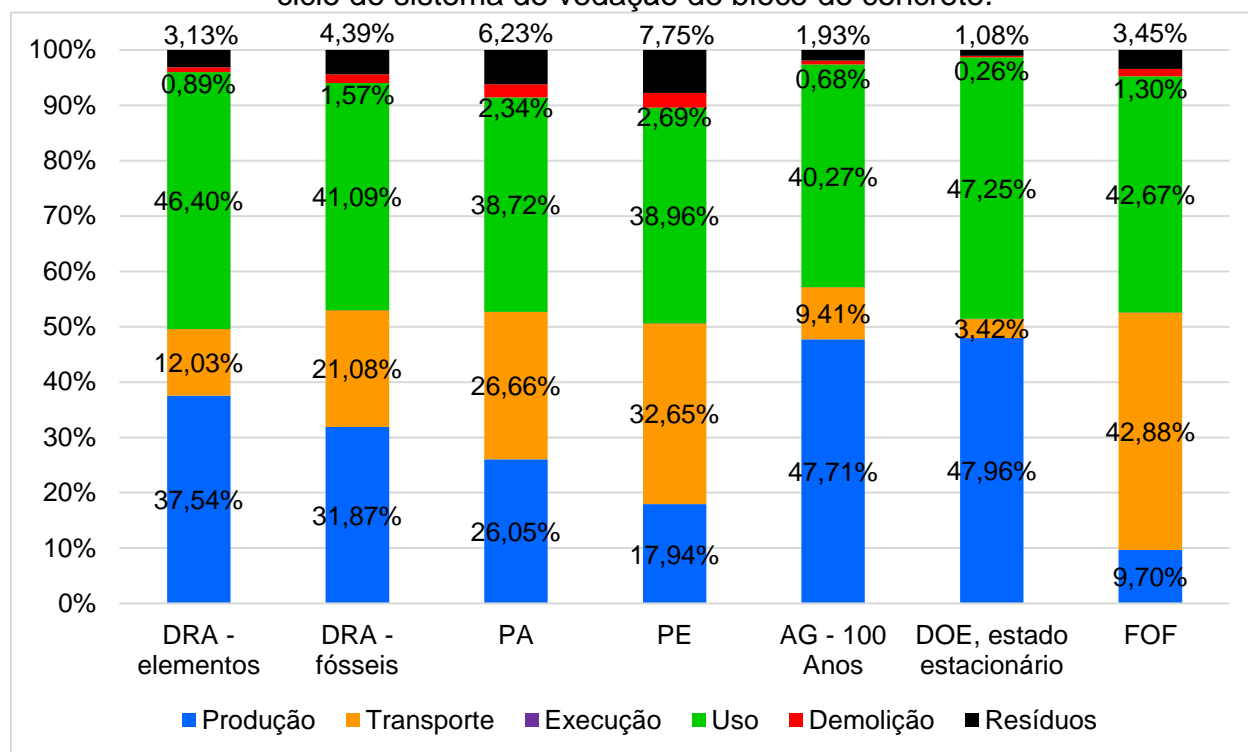
Figura 4.10. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo de vida do sistema de vedação de bloco cerâmico.



Fonte: o autor (2017).

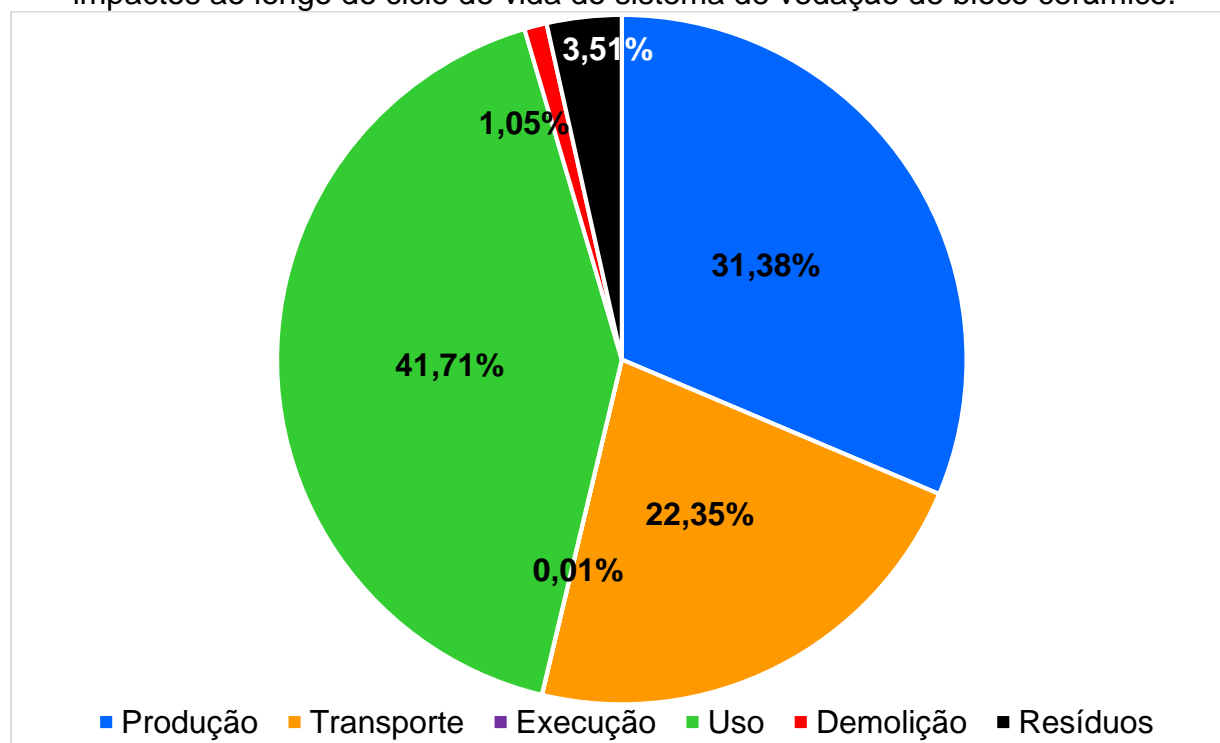
A partir dos resultados finais da ACV, observa-se que os requerimentos decorrentes da substituição de materiais durante a fase de uso são os mais relevantes ao longo do ciclo de vida de 20 anos para a maioria dos impactos analisados. Os percentuais proeminentes registrados para esta fase estão sobremaneira relacionados ao número de substituições dos sistemas ao longo do ciclo de vida, conforme os valores mínimos de vida útil de projeto (VUP) para materiais e sistemas estabelecidos na norma NBR 15.575-1 (ABNT,2013).

Figura 4.11. Resultados da AICV em valores percentuais para as fases distintas do ciclo do sistema de vedação de bloco de concreto.



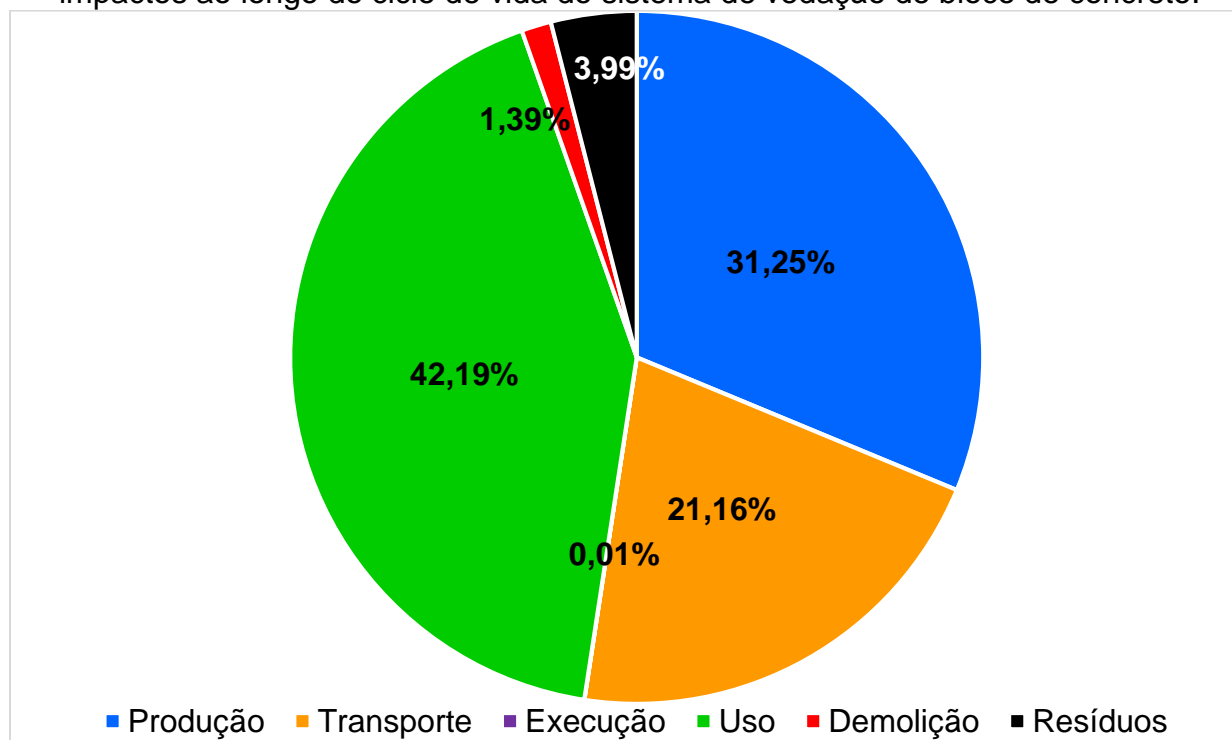
Fonte: o autor (2017).

Figura 4.12. Resultados da AICV em valores percentuais médios: distribuição dos impactos ao longo do ciclo de vida do sistema de vedação de bloco cerâmico.



Fonte: o autor (2017).

Figura 4.13. Resultados da AICV em valores percentuais médios: distribuição dos impactos ao longo do ciclo de vida do sistema de vedação de bloco de concreto.



Condeixa *et al.* (2014) concluíram que a fase de uso responde por 58% dos impactos ocorridos, a maior contribuição entre as fases, ao longo do ciclo de vida de paredes internas de blocos cerâmicos assentadas e revestidas com argamassa de cimento e areia. Cabe ressaltar que o estudo desenvolvido pelos autores levou em conta, além das demandas requeridas pela manutenção e substituição periódica de elementos da alvenaria, também atividades operacionais da edificação geradoras de consumo de energia, como aquecimento, ventilação e condicionamento de ar. Ademais, o cenário de manutenções, além do revestimento e da pintura das paredes, contemplou também a substituição e manutenção de portas, janelas, revestimentos cerâmicas, instalações elétricas, hidrossanitárias e de gás. Isso ajuda a explicar o fato da participação média da fase de uso obtida pelos autores no estudo ser superior às médias verificada no presente trabalho, que são de 41,71% no caso da alvenaria de blocos cerâmicos e 42,19% no caso da alvenaria de blocos de concreto.

Por outro lado, Ferrández-García *et al.* (2016) identificaram a fase de produção dos materiais como o estágio que gera os maiores impactos ambientais. A conclusão

obtida neste estudo pelos autores está de certa forma alinhada ao resultado alcançado no presente trabalho (cujo resultado apontou a produção como a segunda fase mais impactante depois do uso), pois Ferrández-García *et al.* (2016) não consideraram a fase de uso da alvenaria no escopo da ACV.

Numa análise geral, pode-se inferir que as diferenças mais relevantes entre os impactos ambientais verificados no estágio da produção (conforme a alternativa de vedação, o insumo ou a categoria de impacto analisados) decorrem de diferenças nos processos de transformação dos recursos naturais. Entre tais processos destacam-se aqueles que demandam o fornecimento de temperaturas elevadas e conseqüentemente requerem um intenso consumo energético. Ferrández-García *et al.* (2016) também compartilharam de percepção semelhante ao constatarem que parcela considerável da magnitude dos impactos verificados decorre do consumo de energia, sobretudo de combustível (fóssil ou não) e de eletricidade, envolvido nos processos produtivos dos insumos.

Os resultados do presente estudo também denotam contribuição importante, ao impacto global das soluções de vedação, por parte das atividades relacionadas aos transportes realizados ao longo do ciclo de vida dos materiais de construção. Cabe salientar que na fase de impacto transportes estão agregados os impactos associados aos deslocamentos ocorridos desde o portão da fábrica até o tratamento final dos resíduos (túmulo). Assim, estão contabilizados neste grupo os efeitos ambientais do transporte tanto para a distribuição dos materiais de construção desde o local da fábrica até o local da obra como para a destinação dos resíduos da construção e demolição ao CTR.

Os prejuízos ambientais representados pelos processos de transporte estão essencialmente atrelados ao peso dos materiais transportados e/ou gerenciados como resíduos de construção e demolição, bem como às distâncias percorridas para a distribuição dos insumos e encaminhamento dos resíduos à unidade de tratamento. Todavia, o deslocamento através de transporte rodoviário necessário ao abastecimento de alguns insumos, com produção em regiões distantes da cidade de Londrina, apresentou uma contribuição preponderante ao montante de impactos totalizados em virtude dos transportes.

A importância relativa da fase de *gerenciamento dos resíduos* pode ser justificada em grande medida pelos percentuais expressivos de perdas atribuídos a alguns materiais, como a argamassa, por ocasião dos seus respectivos processos executivos. Os impactos decorrentes da etapa de *demolição* das alvenarias apresentam, em escalas menores, tendências similares aos impactos reportados pelos processos de transporte. Este fenômeno está relacionado ao tipo de equipamento definido para o desmantelamento das paredes, isto é, escavadeiras hidráulicas, que assim como os caminhões de carga empregados no transporte dos materiais e dos resíduos, também utilizam óleo diesel como combustível.

4.1 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade desenvolvida no presente trabalho tem como foco a avaliação da influência exercida nos resultados pelos índices de perda atribuídos aos insumos utilizados na construção dos sistemas de vedação avaliados, uma vez que o percentual de perda de material proporcionalmente elevado, sobretudo da argamassa (72,62 %), é um dos principais fatores levantados como hipótese para justificar o desempenho ambiental negativo dos insumos, de maneira notória da argamassa.

Os percentuais de perda de material originalmente adotados neste trabalho, para representar a geração de resíduos oriundos do processo construtivo, foram levantados por autores com influência reconhecida no meio científico da construção civil (FORMOSO *et al.*, 1996¹²; AGOPYAN *et al.*, 2001¹³) e também republicados por Condeixa *et al.* (2014). Porém, a distância entre os contextos temporais e tecnológicos a luz dos quais estes estudos foram desenvolvidos e a realidade atual do setor da construção civil é passível de questionamentos. Além disso, tais estudos foram realizados sob perspectivas conceituais bastante abrangentes segundo as quais são

¹² FORMOSO, Carlos T.; CESARE, Cláudia M.; LANTELME, Elvira M. V.; SOIBELMAN, Lucio. As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS: 1996.

¹³ FORMOSO, Carlos T.; CESARE, Cláudia M.; LANTELME, Elvira M. V.; SOIBELMAN, Lucio. As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS: 1996.

consideradas perdas no processo construtivo todas as atividades que demandam tempo e geram despesas sem contudo agregar valor ao produto.

Desta maneira, na análise de sensibilidade promovida neste trabalho é proposta a atribuição, ao ciclo de vida dos insumos (blocos, argamassa e tinta) durante a fase de construção, dos índices de perda de material definidos na décima terceira edição da Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO, 2010). Estes índices são considerados inerentes ao processo produtivo e corriqueiramente adotados em atividades de orçamentação de obras e serviços como parâmetro para a estimativa das perdas verificadas nos canteiros de obra. Na Tabela 4.1, são apresentados os índices de perda, em termos percentuais, prescritos na TCPO/13 (2010), com base nos quais foi checada a confiabilidade dos resultados alcançados com a modelagem originalmente definida na metodologia do trabalho. Vale a pena ressaltar que, como não foi localizado um índice de perda expressamente definido na TCPO/13 (2010) para a pintura com tinta látex PVA, a estimativa do valor adotado de 5,00 % foi realizada com base na recomendação para a aferição de quantitativos de pintura, contida no próprio documento, de desconto de vãos de parede conforme a área de abertura dos mesmos. Os índices de perda relacionados aos demais insumos, e constantes na Tabela 4.1, encontram-se todos expressamente definidos na TCPO/13 (2010).

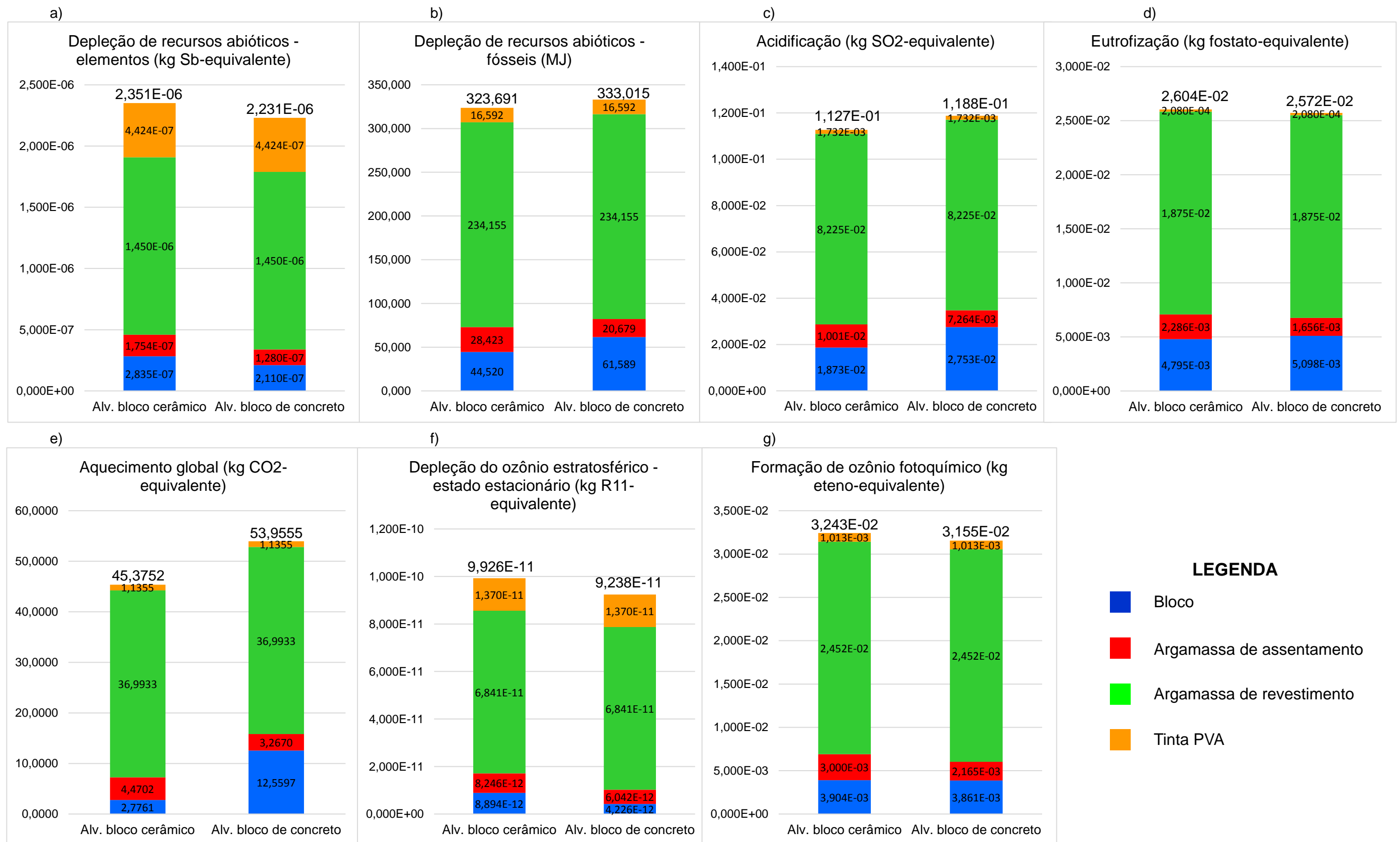
Tabela 4.1. Índices perda de material durante o processo construtivo.

MATERIAL	ÍNDICE DE PERDA (%)
Bloco cerâmico	5,00
Bloco de concreto	3,00
Argamassa industrializada	20,00
Pintura com tinta látex PVA	5,00

Fonte: adaptado de TCPO/13 (2010).

No conjunto de gráficos da Figura 4.14, são apresentados os resultados da AICV, segundo as condições definidas no cenário proposto para a realização da análise de sensibilidade.

Figura 4.14. Resultados da AICV em valores absolutos para ambos sistemas de vedação avaliados com a contribuição individual de cada insumo representada, conforme o cenário proposto na análise de sensibilidade.



Fonte: o autor (2018).

Como é possível constatar por meio dos gráficos da Figura 4.14, a adoção dos índices de perda de material conforme as recomendações da TCPO/13 (2010) conduz a reduções substanciais no potencial de impacto registrado pelos insumos, de modo especial pelas argamassas de assentamento e de revestimento, cujos impactos envolvidos no respectivo ciclo de vida, sob as condições por ora consideradas, apresentam-se com valores mais próximos do poder de impacto reportado pelos demais insumos.

Todavia, os potenciais de impacto associados à argamassa de revestimento permaneçam predominantes sobre àqueles ocorridos ao longo do ciclo de vida dos outros produtos considerados na análise. Este resultado é justificável pelo fato de ter sido introduzida, por ocasião da análise de sensibilidade e em comparação aos valores adotados na modelagem original, uma redução geral nos percentuais de perda de material atribuídos aos produtos, bem como pelo fato do índice de perda atribuído à argamassa (20,00 %) permanecer consideravelmente elevado frente ao considerado para os demais insumos (Tabela 4.1).

Os resultados alcançados mediante as condições definidas na análise de sensibilidade denotam a existência de outros fatores com contribuição ao desempenho ambiental desfavorável da argamassa industrializada em comparação aos outros insumos, como: o panorama de substituições dos revestimentos no decorrer da vida útil da parede e a distância considerável percorrida para o transporte necessário ao fornecimento da argamassa. Porém, estes fatores não tiveram a sua confiabilidade testada em vista da dificuldade do estabelecimento de cenários alternativos devidamente fundamentados por parâmetros técnicos, científicos, normativos, legais ou empíricos conforme a realidade da cadeia local de produção e abastecimento de insumos.

Na Tabela 4.2, são apresentados os resultados da AICV, em valores absolutos com a contribuição individual de cada insumo, obtidos através da simulação do cenário proposto na análise de sensibilidade. Na Tabela 4.3, são apresentadas as reduções percentuais no potencial de impacto, conforme as categorias consideradas no estudo, mediante a implementação das alterações propostas nos percentuais de perda de material.

Tabela 4.2. Resultados da AICV em valores absolutos com a contribuição individual de cada insumo, conforme o cenário proposto na análise de sensibilidade.

Categoria de impacto	Sistema de vedação	Insumo			
		Bloco	Argamassa de Assentamento	Argamassa de Revestimento	Tinta Látex PVA
DRA - elementos (kg de Sb equivalente)	Bloco cerâmico	2,835E-07	1,754E-07	1,450E-06	4,424E-07
	Bloco de concreto	2,110E-07	1,280E-07		
DRA - fósseis (MJ)	Bloco cerâmico	44,520	28,423	234,155	16,592
	Bloco de concreto	61,589	20,679		
PA (kg de SO ₂ -equivalente)	Bloco cerâmico	1,873E-02	1,001E-02	8,225E-02	1,732E-03
	Bloco de concreto	2,753E-02	7,264E-03		
PE (kg de PO ₄ ³ -equivalente)	Bloco cerâmico	4,795E-03	2,286E-03	1,875E-02	2,080E-04
	Bloco de concreto	5,098E-03	1,656E-03		
AG - 100 Anos (kg de CO ₂ -equivalente)	Bloco cerâmico	2,7761	4,4702	36,9933	1,1355
	Bloco de concreto	12,5597	3,2670		
DOE (kg de R11 equivalente)	Bloco cerâmico	8,894E-12	8,246E-12	6,841E-11	1,370E-11
	Bloco de concreto	4,226E-12	6,042E-12		
FOF (kg de C ₂ H ₄ -equivalente)	Bloco cerâmico	3,904E-03	3,000E-03	2,452E-02	1,013E-03
	Bloco de concreto	3,861E-03	2,165E-03		

Fonte: o autor (2018).

Tabela 4.3. Reduções percentuais dos impactos promovidas pela implementação o cenário proposto na análise de sensibilidade.

Categorias de impacto	Sistema de vedação	Insumo			
		Bloco	Argamassa de Assentamento	Argamassa de Revestimento	Tinta Látex PVA
DRA - elementos	Bloco cerâmico	17,61%	65,75%	65,30%	21,06%
	Bloco de concreto	17,88%	65,30%		
DRA - fósseis	Bloco cerâmico	16,91%	65,74%	64,97%	21,01%
	Bloco de concreto	18,06%	64,97%		
PA	Bloco cerâmico	16,50%	65,55%	64,56%	20,78%
	Bloco de concreto	17,68%	64,56%		
PE	Bloco cerâmico	16,51%	65,59%	64,41%	21,06%
	Bloco de concreto	16,68%	64,41%		
AG - 100 Anos	Bloco cerâmico	16,69%	65,76%	65,42%	21,01%
	Bloco de concreto	19,49%	65,42%		
DOE, estado estacionário	Bloco cerâmico	18,16%	65,76%	65,64%	21,07%
	Bloco de concreto	18,70%	65,65%		
FOF	Bloco cerâmico	15,29%	64,46%	62,92%	20,12%
	Bloco de concreto	15,84%	62,93%		
Média		17,29%	65,13%	64,74%	20,87%

Fonte: o autor (2018).

Foi constatada, uma redução média na magnitude dos impactos ocorridos, em comparação aos resultados originais do estudo (Tabela 4.3), de 17,29% para os blocos, de 65,13% para a argamassa de assentamento, de 64,74% para a argamassa de revestimento e de 20,87% para a tinta látex PVA.

Portanto, os resultados da análise de sensibilidade, expressos nas Tabela 4.2 e 4.3 e nos gráficos da Figura 4.14, corroboram para a veracidade da hipótese de que os elevados percentuais de perda de material durante a construção das alvenarias designados aos insumos por ocasião da modelagem original desenvolvida no estudo contribuem consideravelmente à *performance* ambiental negativa dos produtos, sobretudo da argamassa, utilizados na construção de ambos os sistemas de vedação avaliados. Por outro lado, os resultados obtidos com a análise de sensibilidade evidenciam a existência de outros fatores com contribuição ao poder de impacto ampliado representado pela argamassa, em especial a de revestimento.

5 CONCLUSÕES

De maneira geral, os resultados obtidos permitem inferir que os sistemas de vedação interna avaliados não diferem consideravelmente entre si em termos de potenciais de impactos ambientais totais registrados. Entretanto, os resultados demonstram a influência da argamassa, tanto de assentamento como de revestimento, nos potenciais impactos contabilizados no conjunto da alvenaria em ambos os sistemas de vedação avaliados.

A partir dos resultados da avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) é possível também concluir que o desempenho ambiental negativo de alguns insumos, como a argamassa, está vinculado sobremaneira aos elevados percentuais de perdas de material considerados nos processos construtivos.

Assim, cabe ressaltar que o potencial de impacto reportado pelos insumos de maneira geral poderia eventualmente ser atenuado pelo aperfeiçoamento das práticas executivas no canteiro de obras que conduziriam à redução do percentual de perdas de material. No caso específico da argamassa de revestimento e da tinta látex, esta melhora na *performance* ambiental passaria também por avanços tecnológicos nos processos produtivos com vistas ao aumento da durabilidade e do desempenho destes materiais, uma vez que os resultados denotam a importância dos impactos provenientes das manutenções ao longo do ciclo de vida das alvenarias.

Outro modo de mitigar os impactos desfavoráveis ao desempenho ambiental dos produtos consistiria na inserção dos mesmos numa cadeia de reciclagem, cuja implementação ainda não tem ocorrido de maneira efetiva na unidade de tratamento de resíduos da cidade de Londrina. Entre os entraves a esta realidade possivelmente esteja inclusa a necessidade de processos especializados e de alto custo para a separação de materiais no fim das suas vidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos.** NBR 6136. Rio de Janeiro: 2016.

_____. **Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos – Procedimento.** NBR 8545. Rio de Janeiro: 1984.

_____. **Blocos de concreto celular autoclavado – Requisitos.** NBR 13438. Rio de Janeiro: 2013.

_____. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** NBR ISO 14040. Rio de Janeiro: 2009a.

_____. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.** NBR ISO 14044. Rio de Janeiro: 2009b.

_____. **Caçamba estacionária de aplicação múltipla operada por poliguindaste - Requisitos de construção.** NBR 14728. Rio de Janeiro: 2005.

_____. **Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** NBR 15575-1. Rio de Janeiro: 2013.

_____. **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras.** NBR 15961-2. Rio de Janeiro: 2011.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015.** São Paulo, 2015. On-line. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso: em 17 de março de 2017.

ADALBERTH, Karin. **Energy use and environmental impact of new residential buildings.** Department of Building Physics, Lund University. Lund, Sweden: 2000.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção. NOV. / 2015.** On-line. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/8-mercado-de-agregados-no-brasil>>. Acesso: em 16 de março de 2017.

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Diesel e emissões: a nova legislação 2012.** Cartilha Técnica: PROCONVE P7. São Paulo, São Paulo: 2012.

ASIF, M.; MUNEEER, T.; KELLEY, R. **Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland.** Building and Environment 42. p. 1391–1394. Reino Unido: 2007.

BASF. Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico. Suvinil PVA premium fosco completo base A. São Paulo, SP: fevereiro de 2016.

BERGE, Bjørn. **The ecology of building materials.** ed. 2. Architectural Press. Elsevier Science. Noruega: 2009.

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.** Tese: USP – Universidade de São Paulo / Escola Politécnica. São Paulo, SP: 2010.

BOSOAGA, Adina; MASEK, Ondrej; OAKLEY, John E. **CO₂ capture technologies for cement industry.** Artigo: Energy Procedia. v. 1, n. 1, p. 133–140. Reino Unido: 2009.

BOVEA, M.D.; POWELL, J.C. **Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes.** Artigo: Waste Management 50. p. 151–172. Espanha: 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Aprova as instruções complementares ao regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos. Resolução n. 420, de 12 de fevereiro de 2004.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei n. 12.305, de 02 de agosto de 2010.

_____. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Estabelece limites de pesos e dimensões para circulação de veículos de transporte de carga e de transporte coletivo de passageiros em viagem internacional pelo território nacional. Resolução n. 318, de 05 de junho de 2009.

_____. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Lei Federal n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979.

BRIBIÁN, Ignacio Zabalza; USÓN, Alfonso Aranda; SCARPELLINI, Sabina. **Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification.** Artigo: Building and Environment 44. p. 2510–2520. Espanha: 2009.

BUENO, Cristiane; HAUSCHILD, Michael Zwicky; ROSSIGNOLO, João Adriano; OMETTO, Aldo Roberto; MENDES, Natália Crespo. **Sensitivity analysis of the use of Life Cycle Impact Assessment methods: a case study on building materials.** Artigo: Journal of Cleaner Production 112. p. 2208 – 2220. São Paulo, Brasil: 2016.

BUENO, Cristiane. **Avaliação de ciclo de vida na construção civil: análise de sensibilidade.** Tese: USP/SC - Universidade de São Paulo / São Carlos. São Carlos, SP: maio de 2014.

CABEZA, Luisa F.; RINCÓN, Lúdia; VILARIÑO, Virginia; PÉREZ, Gabriel; CASTELL, Albert. **Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review.** Artigo: Renewable and Sustainable Energy Reviews 29. p. 394–416. Espanha: 2014.

CABRAL, Laíse do Nascimento; PEREIRA, Suellen Silva; ALVES, Telma Lucia Bezerra. **Degradação ambiental e implicações para a saúde humana decorrentes da mineração: o caso dos trabalhadores de uma pedreira no município de Campina Grande/PB.** Artigo: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde 8(15). p.104–118. Campina Grande, PB: dezembro de 2012.

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.** Dissertação: UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais / Escola de Engenharia. Belo Horizonte, MG: 2012.

CARVALHO, José Otavio; KIHARA, Yushiro; MAIA, Carlos; VISEDO, Gonzalo. **Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais – produtos minerais. Parte I – produção de cimento.** Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, Distrito Federal: 2010.

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Avaliação de ciclo de vida modular (ACV-m).** São Paulo, SP, 2017. On-line. Disponível em: <<http://www.acv.net.br/website/acvs>>. Acesso: 10 de março de 2017.

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Plataforma global de avaliação do ciclo de vida simplificado para construção sustentável.** Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável: Rio + 20. Rio de Janeiro, RJ: 2012.

CEF – CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Programa Minha Casa Minha Vida. Entidades – Recursos FDS.** On-line. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/habitacao-minha-casa-minha-vida/MANUAL_MCMV_ENTIDADES.pdf>. Acesso: em 06 de outubro de 2016.

CHANG, Yuan; RIES, Robert J.; WANG, Yaowu. **The quantification of the embodied impacts of construction projects on energy, environment, and society based on I-O LCA.** Artigo: Energy Policy 39. p. 6321–6330. China: 2011.

CHENANI, Sanaz Bozorg; LEHVÄVIRTA, Susanna; HÄKKINEN, Tarja. **Life cycle assessment of layers of green roofs**. Artigo: Journal of Cleaner Production. v. 90. p. 153–162. Finlândia: 2015.

CHEVALIER, J.L.; LE TÉNO, J.F. **Requirements for an LCA-based model for the evaluation of the environmental quality of building products**. Artigo: Building and Environment. vol. 31, N. 5, p. 487–491. França: 1996.

COLE, Raymond J.; KERNAN, Paul C. **Life-Cycle energy use in office buildings**. Artigo: Building and Environment. vol. 31, N. 4, p. 307-317. Reino Unido: 1996.

CONDEIXA, Karina; HADDAD, Assed; BOER, Dieter. **Life cycle impact assessment of masonry system as inner walls: a case study in Brazil**. Artigo: Construction and Building Materials 70. p. 141–147. Brasil: 2014.

COSTA, Daniela Dutra; NASCIMENTO, Paulo Trombón de Souza. **A gestão do desenvolvimento de produtos na indústria de materiais de construção**. Artigo: RAC – Revista de Administração Contemporânea 15. n. 1. São Paulo, SP: janeiro-fevereiro 2011.

CPP – ABRAS (COMITÊ PERMANENTE DE PALETIZAÇÃO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS). **Especificação para o palete padrão para distribuição nacional PBR – I**. São Paulo, SP: 2012.

CSM – MÁQUINAS PARA REVENDA E LOCAÇÃO. **Manual de operação e manutenção: betoneira CS 400**. Manual técnico. Rev. 01. Jaraguá do Sul, Santa Catarina: dezembro de 2015.

CYBIS, Luiz Fernando; SANTOS, Carlos Vicente John. **Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada à indústria da construção civil - estudo de caso**. Artigo: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre: 2002.

DADHICH, P.; GENOVESE, A.; KUMAR, N.; ACQUAYE, A. **Developing sustainable supply chains in the UK construction industry: a case study**. Artigo: Int. J. Production Economics 164. p. 271–284. Reino Unido: 2015.

DERWENT, R. G.; JENKIN, M. E.; SAUNDERS, S. M.; PILLING, M. J. **Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in northwest Europe calculated with a master chemical mechanism**. Artigo: Atmospheric Environment, v. 32, n. 14–15, p. 2429–2441. Grã-Bretanha: agosto de 1998.

EC-JRC: EUROPEAN COMMISSION – JOINT RESEARCH CENTRE. **General guide for life cycle assessment – detailed guidance**. International reference life cycle data system (ILCD) handbook. ed. 2. Luxemburgo, Luxemburgo: março de 2010 a.

_____. **Analysing of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment**. International reference life cycle data system (ILCD) handbook. ed. 1. Luxemburgo, Luxemburgo: março de 2010 b.

_____. **Framework and requirements for Life Cycle Impact Assessment models and Indicators**. International reference life cycle data system (ILCD) handbook. Luxemburgo, Luxemburgo: março de 2010 c.

ECOINVENT CENTRE. **Ecoinvent database**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Suíça, 2017. Disponível em: <<https://ecoquery.ecoinvent.org>>. Acesso em: 04 de julho 2017.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. **Mineração e meio ambiente no Brasil**. Relatório preparado para o CGEE (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos). Brasília: 2002.

FERRÁNDEZ-GARCÍA, Antonio; IBÁÑEZ-FORÉS, Valeria, BOVEA, María D. **Eco-efficiency analysis of the life cycle of interior partition walls: a comparison of alternative solutions**. Artigo: Journal of Cleaner Production 112. p. 649–665. Espanha: 2016.

FERREIRA, Romário. **Paredes de drywall X alvenaria de bloco cerâmico**. PINI / construção: custos e suprimentos. On-line. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/133/artigo298754-1.aspx>>. Acesso: 21 de julho de 2017.

FERRAZ, Fabiana de Carvalho. **Comparação dos sistemas de alvenaria de vedação: bloco de concreto celular autoclavado X bloco cerâmico**. Dissertação: Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Construção Civil. Belo Horizonte, Minas Gerais: 2011.

GAN, Vincent J.L.; CHENG, Jack C.P.; LO, Irene M.C. **Integrating life cycle assessment and multi-objective optimization for economical and environmentally sustainable supply of aggregate**. Artigo: Journal of Cleaner Production 113. p. 76–85. Hong Kong: 2016.

GAYARRE, Fernando López; PÉREZ, José González, PÉREZ, Carlos López-Colina, LÓPEZ, Miguel Serrano; MARTÍNEZ, Alfonso López. **Life cycle assessment for concrete kerbs manufactured with recycled aggregates**. Artigo: Journal of Cleaner Production 113. p. 41–53. Espanha: 2016.

GOOGLE CORPORATION. **Google Earth**. On-line. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2017.

GONZÁLEZ, María Jesús; NAVARRO, Justo García. **Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact**. Artigo: Building and Environment, vol. 41, p. 902–909. Espanha: 2006.

GUINÉE, Jeroen. B. **Handbook on life cycle assessment – operational guide to the ISO Standards**. The International Journal of Life Cycle Assessment. N. 6, v. 5, p. 255. Leiden, Holanda: 2001.

HEIJUNGS, R.; GUINÉE, J. B.; HUPPES, G.; LANKREIJER, R. M.; HAES, H. A. U.; SLEESWIJK, A. W. **Environmental life cycle assessment of products: guide and backgrounds (Part 1)**. Leiden: Holanda: 1992.

HOCH, Renato. **Rendimento de uma tinta**. Nota técnica. Multimaq Máquinas e Equipamentos. Porto Alegre, RS: junho de 2008.

HUANG, Lizhen; KRIGSVOLL, Guri; JOHANSEN, Fred; LIU, Yongping; ZHANG, Xiaoling. **Carbon emission of global construction sector**. Artigo: Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 81, p. 1906–1916. Noruega: 2018.

HUIJBREGTS, M. **Life-cycle impact assessment of acidifying and eutrophying air pollutants. Calculation of equivalency factors with RAINS-LCA**. Amsterdã, Holanda: 1999.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis / Diretoria de Proteção Ambiental (DIPRO) / Coordenação Geral de Emergências Ambientais (CGEMA). **Laudo técnico preliminar – impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Brasília: novembro de 2015.

IBAPE/SP – Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo. **Valores de edificações de imóveis urbanos**. São Paulo, SP: 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas / Coordenação de Contas Nacionais. **Contas econômicas trimestrais**. On-line. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm>. Acesso: em 29 de junho de 2016.

IRIBARREN, Diego; MARVUGLIA, Antonino; HILD, Paula; GUITON, Mélanie; POPOVICI, Emil; BENETTO, Enrico. **Life cycle assessment and data envelopment analysis approach for the selection of building components according to their**

environmental impact efficiency: a case study for external walls. Artigo: Journal of Cleaner Production 87. p. 707–716. Espanha: 2015.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). ed. 2. São Paulo, SP: 2010.

JENKIN, M. E.; HAYMAN, G. D. **Photochemical ozone creation potentials for oxygenated volatile organic compounds: sensitivity to variations in kinetic and mechanistic parameters.** Artigo: Atmospheric Environment, v. 33, n. 8, p. 1275–1293. Abingdon, Oxfordshire, Reino Unido: abril de 1999.

KJAER, Louise Laumann; PAGOROPOULOS, Aris; SCHMIDT, Jannick H.; MCALOONE, Tim C. **Challenges when evaluating Product/Service-Systems through Life Cycle Assessment.** Artigo: Journal of Cleaner Production. v. 120, p. 95–104. Dinamarca: 2016.

LATAL EMBALAGENS. **Descritivo técnico – lata quadrada 18 litros.** São José dos Pinhais, PR: abril de 2016.

LIBRELOTTO, Diógenes; JALALI, Said. **Aplicação de uma ferramenta de análise do ciclo de vida em edificações residenciais – estudo de caso.** Artigo: Revista Engenharia Civil. N. 30, p. 5–29. Portugal: 2008.

MAQUIVIBRAMASSA. **Tabela de medidas e pesos de blocos.** On-line. Disponível em: <<http://maquivibramassa.com.br/servicos>>. Acesso: em 30 de junho de 2017.

MARTINS, Juliana. **Blocos de concreto.** On-line. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/53/blocos-de-concreto-precos-abaixo-da-mediapodem-ser-272068-1.aspx>>. Acesso em: 5 de maio de 2018.

MATEUS, Ricardo; NEIVA, Sara; BRAGANÇA, Luís; MENDONÇA, Paulo; MACIEIRA, Mónica. **Sustainability assessment of an innovative lightweight building technology for partition walls and comparison with conventional technologies.** Artigo: Building and Environment 67. p. 147–159. Portugal: 2013.

MENDES, Natalia Crespo. **Métodos e modelos de caracterização para a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV): análise e subsídios para a aplicação no Brasil.** Dissertação: USP/EESC - Universidade de São Paulo / Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP: 2013.

MERCEDES-BENZ DO BRASIL. **Mercedes-Benz lança novos modelos semipesados da linha Atego e aumenta o portfólio para distribuição urbana e transporte rodoviário.** On-line. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/institucional/imprensa/releases/caminhoes/2013/9/1342-mercedes-benz-lanca-novos-modelos-semipesados-da-linha-atego-e-aumenta-o-portfolio-para-distribuicao-urbana-e-transporte-rodoviario>>. Acesso: em 10 de janeiro de 2017a.

_____. **Instruções para montagem de carroçarias e equipamentos.** Caminhões / Atego / Euro 3. On-line. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/caminhoes/atego/manual-de-implementacao>>. Acesso: em 10 de janeiro de 2017b.

_____. **Dados técnicos.** Caminhões / Atego. On-line. Disponível em: <<https://www.mercedes-benz.com.br/caminhoes/atego/dados-tecnicos>>. Acesso: em 10 de janeiro de 2017c.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório Final.** Brasília: MMA, 2011.

MONTEIRO, Helena; FREIRE, Fausto. **Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls: comparison of three impact assessment methods.** Artigo: Energy and Buildings 47. p. 572–583. Portugal: 2012.

MORAGA, Gustavo Longaray. **Avaliação do ciclo de vida e simulação termoenergética em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. Dissertação: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS: 2017.

NAPOLANO, Loredana; MENNA, Constantino; ASPRONE, Domenico; PROTA, Andrea MANFREDI, Gaetano. **Life cycle environmental impact of different replacement options for a typical old flat roof**. Artigo: The International Journal of Life Cycle Assessment. v. 20, p. 694–708. Nápoles, Itália: 21 de janeiro de 2015.

NOGUEIRA, Ana Manuela Marinho; DORNELAS, Daniel; JABOUR, Denise; FLORES, Ricardo Luís; RODRIGUES, Rodrigo José Campos; MENDES, Solange. **Alvenaria de vedação comum x gesso acartonado**. Pós-Graduação em Construção Civil – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2004.

OCHOA, L.; HENDRICKSON, C.; MATTHEWS, H. S. **Economic input-output life cycle assessment of U.S. residential buildings**. Artigo: Journal of Infrastructure Systems, v. 8, n. 4, p. 132-138. Pittsburgh, Pensilvânia, EUA: 2002.

OERS, L. VAN; KONING, A.; GUINÉE, J. B.; HUPPES, G. **Abiotic resource depletion in LCA**. Amsterdã, Holanda: 2002.

OLIVEIRA, Leandro Dias de. **Os “limites do crescimento” 40 anos depois: das “profecias do apocalipse ambiental” ao “futuro comum ecologicamente sustentável”**. Artigo: Revista Continentes (UFRRJ), ano 1, n. 1, Seropédica, RJ: 2012.

PAGANI, Angelo. **Aderência de revestimento de argamassa em bloco de concreto celular autoclavado**. Dissertação: Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Vitória, ES: 2012.

PASSER, Alexander; KREINER, Helmuth; MAYDL, Peter. **Assessment of the environmental performance of buildings: a critical evaluation of the influence of technical building equipment on residential buildings**. Artigo: International Journal of Life Cycle Assessment. n. 17, p. 1116–1130. Graz, Áustria: 2012.

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti; OLIVEIRA, Alexandre Führ; COSTA, Eugênio Bastos e KIRCHHEIM, Ana Paula. **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**. Artigo: Ambiente Construído, v. 14, n. 4, p. 7-20. Porto Alegre: outubro a dezembro, 2014.

PAULA, Luiz Gonzaga; SILVA, Rogério José; BERNARDO, Ana Carla de Souza Masselli. **Análise termodinâmica do processo de produção de cimento Portland utilizando uma mistura de combustíveis e o coprocessamento de pneus usados**. Conem 2010. VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Campina Grande, Paraíba: 18 a 21 de agosto de 2010.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michéle. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: LTC: 2009. 6. ed. rev.

QUALHARINI, Eduardo; CONDEIXA, Karina; BOER, Dieter; HADDAD, Assed. **An Inquiry into the Life Cycle of Systems of Inner Walls: Comparison of Masonry and Drywall**. Artigo: Sustainability 2015, n.7, p. 7904-7925. Brasil: 2015.

RASHID, Ahmad Faiz Abd e YUSOFF, Sumiani. **A review of life cycle assessment method for building industry**. Artigo: Renewable and Sustainable Energy Reviews 45. p. 244–248. Malásia: 2015.

REICHERT, Geraldo Antônio. **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre**. Tese: UFRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: 2013.

RESGATE AMBIENTAL. **Caminhão poliguindaste**. On-line. Disponível em: <<http://www.resgateambiental.com.br>>. Acesso: em 29 de março de 2017.

SAIZ, Susan; KENNEDY, Christopher; BASS, Brad; PRESSNAIL, Kim. **Comparative life cycle assessment of standard and green roofs**. Artigo: Environmental Science & Technology. n. 13, v. 40, p. 4312–4316. Toronto, Canadá: 24 de maio de 2006.

SANTOS, Maria Fernanda Nóbrega; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes Clara; HORI, Yoshiko; JULIOTI, Plínio Silvio. **Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil**. Artigo: GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Ano 6, n. 2, p. 57-73. Baurú, São Paulo: abril a junho de 2011.

SARTORI, I. e HESTNES, A. G. **Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article**. Artigo: Energy and Buildings 39. p. 249–257. Noruega: 2007.

SCHEUER, Chris; KEOLEIAN, Gregory A.; REPPE, Peter. **Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications**. Artigo: Energy and Buildings 35. p. 1049–1064. Estados Unidos da América: 2003.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cerâmica vermelha – Panorama do mercado no Brasil**. SIM – Sistema de Inteligência de Mercado. Construção Civil. Boletim de Inteligência: dezembro de 2015.

SILVA, Aline de Oliveira. **Estudo comparativo do ciclo de vida e custo de pilar com diferentes traços de concreto**. Dissertação: UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS: 2014.

SINAPI – Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil. **Custo de composições – Sintético**. Encargos sociais sobre preços de mão-de-obra. Caixa Econômica Federal. Curitiba: 16 de abril de 2018.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmling. A avaliação do Ciclo de Vida no Contexto da Construção Civil. In: **Construção e meio ambiente**. Coletânea Habitare, v. 7. Cap. 4. p. 96-127. ANTAC. Porto Alegre, RS: 2006.

SOUZA, Danielle Maia; LAFONTAINE, Mia; CHARRON-DOUCET, François; BENGUA, Xavier; CHAPPERT, Benoit; DUARTE, Fernanda; LIMA, Luis. **Comparative life cycle assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context**. Artigo: Journal of Cleaner Production. v. 89. p. 165–173. Brasil: 2015.

SOUZA, Danielle Maia; LAFONTAINE, Mia; CHARRON-DOUCET, François; CHAPPERT, Benoit; KICAK, ; Karine; DUARTE, Fernanda; LIMA, Luis. **Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls**. Artigo: Journal of Cleaner Production. v. 137. p. 70–82. Brasil: 2016.

THINKSTEP. **GaBi LCA database documentation**. Alemanha, 2017. On-line. Disponível em: <<http://www.gabi-software.com/support/gabi/>>. Acesso: 06 de março de 2017.

THOMAZ, Ercio; FILHO, Cláudio Vicente Mitidieri; CLETO, Fabiana da Rocha; CARDOSO, Francisco Ferreira. **Código de práticas nº 01: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. São Paulo, SP: 2009.

THORMARK, C. **The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building**. Artigo: Building and Environment, vol. 41, p.1019–1026. Suécia: 2006.

TCPO – TABELA DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS: Engenharia Civil, Construção e Arquitetura. 13. ed. São Paulo: Pini, 2010.

TORGAL, Fernando Pacheco; JALALI Said. **A Sustentabilidade dos materiais de construção**. ed. 2. Portugal: 2010.

VOTORANTIM CIMENTOS. Votomassa – assentamento e revestimento. Ficha técnica do produto. São Paulo, SP: dezembro de 2012.

WENZEL, Henrik; HAUSCHILD, Michael; ALTING, Leo. **Environmental assessment of products**. Methodology, tools and case studies in product development. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts, Estados Unidos da América: 1997.

WERNET, G. *et al.* The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 9, p. 1218–1230, 2016.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010**. Global Ozone Research and Monitoring Project. Relatório N. 52. Genebra, Suíça: 2011.

WU, Peng; FENG, Yingbin; PIENAAR, Josua; XIA, Bo. **A review of benchmarking in carbon labelling schemes for building materials**. Artigo: Journal of Cleaner Production 109. p. 108–117. Austrália: 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Trajetos percorridos por caminhões de carga, com as respectivas distâncias estimadas, entre a unidade fabricante e o centro comercial fornecedor dos produtos

Figura A.1. Trajeto do caminhão entre a fábrica de blocos cerâmicos e o comércio distribuidor.



Fonte: o autor (2017).

Figura A.2. Trajeto do caminhão entre a fábrica de blocos concreto e o comércio distribuidor.



Fonte: o autor (2017).

Figura A.3. Trajeto do caminhão entre a fábrica de argamassas e o comércio distribuidor.



Fonte: o autor (2017).

Figura A.4. Trajeto do caminhão entre a fábrica de tinta látex PVA e o comércio distribuidor.



Fonte: o autor (2017).

APÊNDICE B – Estimativa da localização das obras das residências com interesse social no contexto urbano da cidade de Londrina com base na Estatística Inferencial

Segundo Ferrández-García *et al.* (2016), a informação ambiental acerca de produtos da construção suprida pela metodologia da avaliação do ciclo de vida (ACV) pode ser combinada a dados de outros produtos para avaliar as construções por inteiro. Nesta perspectiva, com o intuito de tornar possível, numa etapa posterior, também a avaliação do sistema de vedações internas integralmente no contexto da edificação, foi definido um projeto modelo de residência com padrão construtivo compatível com o interesse social, segundo o mercado imobiliário da cidade de Londrina.

B.1 Estimativa da área total construída da residência modelo

A residência adotada como modelo consistirá numa edificação residencial unifamiliar térrea de interesse social com características, como área construída, padrão construtivo e configuração interna, típicas das residências da cidade de Londrina com esta finalidade. O projeto padrão desta casa foi definido com base no banco de dados de casas da cidade de Londrina pertencente ao acervo técnico da empresa LGPH Avaliações e Perícias Ltda prestadora de serviços à Caixa Econômica Federal (CEF). Os elementos comparativos do referido banco de dados foram obtidos através de pesquisas no mercado da cidade desenvolvidas desde agosto do ano de 2009 até outubro de 2016.

Inicialmente foi procedida a determinação da área construída média representativa das residências de interesse social na cidade de Londrina. A amostra de casas foi restringida a apenas residências com o padrão construtivo idêntico à residência padrão do estudo, isto é, residências de interesse social, uma vez que o banco de dados empregado é composto por residências com os mais diversos padrões construtivos presentes no contexto urbano da cidade de Londrina.

No banco de dados, em termos de padrão construtivo, as residências estavam classificadas conforme os coeficientes de enquadramento definidos no estudo "Valores de edificações de imóveis urbanos" de 2002, publicado pelo Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo (IBAPE/SP, 2002).

Com base nas definições e instruções contidas nesta publicação, foi adotado o padrão construtivo médio, mais especificamente o coeficiente com valor 1,2275, como o representativo das residências de interesse social. Portanto, para fins da determinação da área construída da residência modelo do estudo, a amostra de elementos comparativos foi limitada a casas com padrão construtivo classificado sob o valor 1,2275, ou seja, a média entre os valores médio (1,155) e máximo (1,300) do intervalo de valores dos coeficientes relativos ao padrão construtivo médio de residências.

A seguir, é transcrito o trecho do estudo *“Valores de edificações de imóveis urbanos”* (IBAPE/SP, 2002) que contém a caracterização das residências com padrão construtivo médio em termos de aspectos qualitativos:

[...] Edificações térreas ou assobradadas, podendo ser isoladas ou geminadas de um dos lados, apresentando alguma preocupação com o projeto arquitetônico, principalmente no tocante aos revestimentos internos. Compostas geralmente de sala, dois ou três dormitórios (eventualmente uma suíte), banheiro, cozinha, dependências de empregada e abrigo ou garagem para um ou mais veículos. Estrutura mista de concreto e alvenaria, revestida interna e externamente. Cobertura em laje pré-moldada impermeabilizada ou telhas de barro apoiadas em estrutura de madeira, com forro. Áreas externas com pisos cimentados ou revestidos com cerâmica comum, podendo apresentar jardins. Fachadas normalmente pintadas a látex sobre emboço ou reboco, usualmente com aplicação de pedras, pastilhas ou equivalentes, na principal. (IBAPE/SP, 2002)

A título de ilustração do perfil visual típico das residências com padrão construtivo médio na cidade de Londrina são apresentadas as Figuras B.1, B.2, B.3, B.4, B.5 e B.6:

Figura B.1. Fachada principal.



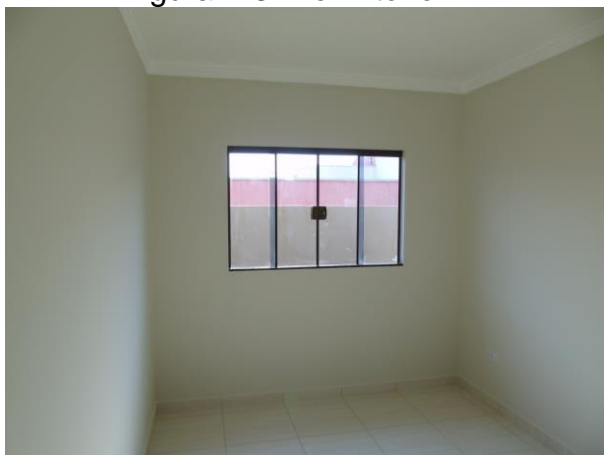
Fonte: o autor (2016).

Figura B.2. Cozinha.



Fonte: o autor (2016).

Figura B.3. Dormitório.



Fonte: o autor (2016).

Figura B.4. Banheiro.



Fonte: o autor (2016).

Figura B.5. Área-de-serviço.



Fonte: o autor (2016).

Figura B.6. Fachada lateral.



Fonte: o autor (2016).

Com o intuito de estabelecer a relação entre a residência fictícia modelo, representativa do conjunto de residências de interesse social na cidade de Londrina, e os elementos comparativos do banco de dados empregado, aplicou-se sobre a amostra selecionada, em função do padrão construtivo conforme descrição anteriormente abordada, tratamento científico baseado na Estatística Inferencial, mais especificamente a aplicação direta do Método Linear dos Mínimos Quadrados para modelagem estatística por Regressão com Múltiplas Variáveis. A amostra foi composta por 369 elementos comparativos de casas.

Para a estimativa da área total construída da residência foram consideradas no planejamento da pesquisa sete variáveis independentes: número de vagas de garagem (VAGA); área do terreno (ARE_TER); estado de conservação (CONSERV); condomínio (CONDO); data da informação (DATA); valor total do imóvel (VAL_TOT)

e tipo de transação (TRANSAC). Todas mostraram probabilidade de exercer influência na definição da variável independente área total construída (ARE_TOT).

Após os testes estatísticos, o modelo de Regressão com Múltiplas Variáveis foi desenvolvido e as variáveis relacionadas acima ratificaram as respectivas consistências e significâncias. A seguir, são descritas as variáveis empregadas:

- Número de vagas de garagem (VAGA): variável independente quantitativa expressa em termos da quantidade de vagas de garagem existentes na residência. Em geral, a área da garagem integra a área total construída da edificação, portanto tende a exercer influência direta na variável independente investigada. A amplitude da amostra aproveitada variou de 0 a 2 vagas.
- Área do terreno (ARE_TER): variável independente quantitativa expressa em termos da metragem quadrada de área do terreno da casa. A amplitude da amostra aproveitada esteve entre 112,50m² e 450,00m².
- Estado de Conservação (CONSERV): variável independente *proxy* expressa em termos do estado de conservação, cujos coeficientes atribuídos foram obtidos com auxílio da classificação de estado de conservação constante das tabelas publicadas pelo IBAPE (2002).
- Condomínio (CONDO): variável independente dicotômica expressa em termos do tipo da localização, ou seja, 0 para imóveis situados fora de condomínios residenciais fechados e 1 para imóveis localizados dentro de condomínios fechados, estando a amplitude da amostra aproveitada entre 0 e 1. Existe a tendência dos imóveis localizados fora de condomínios apresentarem área construída maior, uma vez que tendem também a apresentar um menor valor por metro quadrado construído.
- Data (DATA): variável independente quantitativa expressa em termos do número de dias contados a partir de uma referência de data (neste caso, o dia primeiro de janeiro de 2008), estando a amplitude da amostra aproveitada entre 597 e 3.201.
- VAL_TOT: variável independente expressa em termos do valor de venda, tanto de ofertas de mercado como de negócios efetivamente realizados, estando a amplitude da amostra aproveitada entre R\$ 80.000,00 e R\$ 449.000,00. Um aspecto determinante que explica a utilização desta variável é o estreito vínculo

existente entre o valor, de oferta ou negociação, da residência acabada e a sua área total edificada.

- **TRANSAC**: variável independente dicotômica estimativa da variação de valores entre a informação de oferta para venda de imóvel (0) e a informação de negociação efetivamente realizada de imóvel (1), estando a amplitude da amostra aproveitada entre 0 e 1. O fato da amostra considerada possuir dados tanto de valores de ofertas como de negociações realizadas justifica o emprego desta variável.

A seguir, é apresentada a equação de regressão do modelo inferido estatisticamente para a estimativa da variável dependente considerada, área total construída (ARE_TOT):

$$\ln(\text{ARE_TOT}) = -3,476370456 + 0,05042418986 * \text{VAGA} + 0,0008778385577 * \text{ARE_TER} + 1,568806931 * \text{CONSERV} - 0,1553144587 * \text{CONDO} - 0,4471533077 * \ln(\text{DATA}) + 0,9269406956 * \ln(\text{VAL_TOT}) + 0,1430881943 * \text{TRANSAC}$$

Obtida a equação de regressão, mediante a ponderação estatística das variáveis que exercem influência sobre a variável dependente, foram então lançados neste modelo os atributos de cálculo conforme as características desejáveis à residência modelo do estudo de caso. A Tabela B.1 exprime estes valores:

Tabela B.1. Atributos de cálculo para a estimativa da área total construída.

ATRIBUTO	VALOR
VAGA	1
ARE_TER	125,00
CONDO	0
CONSERV	0,0000
DATA	3.201
VAL_TOT	145.000,00
TRANSAC	1

Fonte: o autor (2016).

Em seguida, são apresentadas justificativas ao emprego dos valores designados aos atributos de cálculo conforme a Tabela B.1:

- **Número de vagas de garagem (VAGA)**: foi considerada apenas uma vaga de garagem externa e coberta, pois é a situação verificada com maior frequência no caso de residências com interesse social em Londrina.

- Área do terreno (ARE_TER): foi arbitrada a área mínima de 125,00 m² admitida a terrenos, desmembrados ou não, em loteamentos, conforme a Lei Federal número 6.766 (BRASIL, 1979). Esta consideração é decorrente do fato da constatação, no mercado londrinense da construção de residências de interesse social, da tendência do máximo aproveitamento da ocupação do solo urbano disponível.
- Estado de Conservação (CONSERV): a casa foi considerada nova (recentemente construída), portanto com coeficiente 0,0000 do estado de conservação, conforme IBAPE (2002).
- Condomínio (CONDO): foi designado o valor 0, tendo em vista a localização mais frequente de residências com o padrão construtivo considerado fora de condomínios residenciais fechados.
- Data (DATA): foi atribuída a esta variável a quantidade expressa em número de dias contados a partir da data de referência, 01/01/2008, até a data da elaboração do modelo de regressão, 06/10/2016, ou seja, 3.201 dias.
- VAL_TOT: foi atribuído o valor de R\$ 145.000,00, o teto máximo financiável pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) na cidade de Londrina, um dos principais propulsores do provimento de moradia nas áreas urbanas brasileiras a famílias de baixa renda, na última década (CEF, 2016). Esta consideração leva em conta a percepção da tendência das moradias de interesse social serem edificadas na cidade de Londrina com vistas à comercialização no valor do teto do programa do governo federal mencionado.
- TRANSAC: em relação a esta variável, considerou-se uma aquisição efetivamente realizada (variável dicotômica com valor 1) no valor de R\$ 145.000,00.

A Tabela B.2 apresenta os resultados para a área total construída, com intervalo de confiança ao nível de 80%. Os valores mínimo, médio e máximo obtidos para a área foram arredondados com a intenção de facilitar a concepção projetual da residência fictícia modelo do estudo de caso. Foi adotada a área média do intervalo de confiança de **68,00 m²**. Observou-se que os resultados reportados foram englobados pelo campo de arbítrio do modelo de regressão, o que reforça a confiabilidade dos mesmos.

Tabela B.2. Resultados para a área total construída, com intervalo de confiança ao nível de 80%.

	ÁREA INFERIDA (M ²)	ÁREA ADOTADA (M ²)	CAMPO DE ARBÍTRIO
MÍNIMA	66,34	67,00	57,64
MÉDIA	67,81	68,00	
MÁXIMA	69,31	69,00	77,98

Fonte: o autor (2016).

B.2 Estimativa da localização das obras

As distâncias e tonelagens de caminhão, referentes ao transporte dos materiais do comércio fornecedor à obra, serão levadas em conta no inventário do ciclo de vida (ICV). Primeiramente foi traçado um perfil, inferido estatisticamente, da respectiva localização provável da residência modelo do estudo. Em seguida, foi identificada a localização das instalações do principal fornecedor dos insumos demandados para as soluções de vedação estudadas. Deste modo, foi possível calcular a distância média, adotada no estudo, de transporte dos materiais até o local da obra.

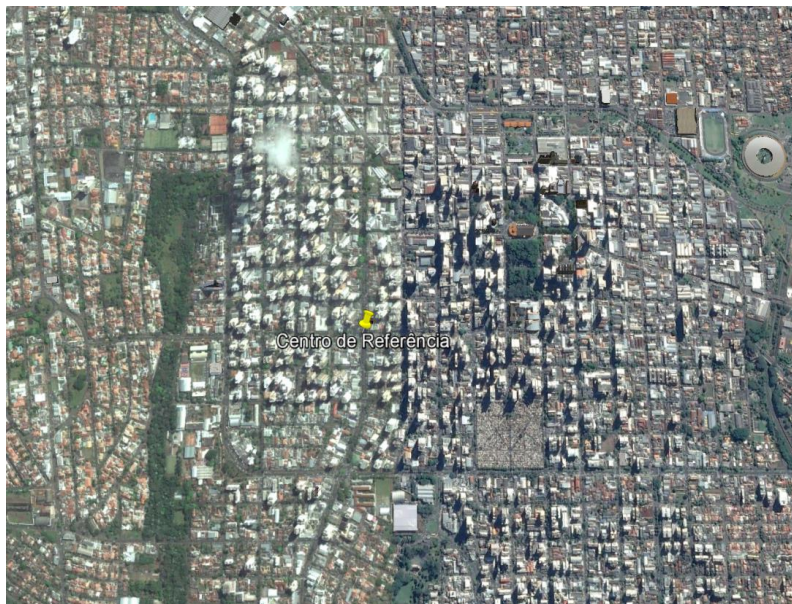
Com o objetivo de estimar a localização provável da residência modelo do estudo, foi empregada a mesma amostra, selecionada do banco de dados de residências localizadas na cidade de Londrina, utilizada na determinação da respectiva área total construída.

Os elementos comparativos contidos no banco de dados, em termos de localização, estavam todos georeferenciados em relação a um ponto, com coordenadas 23° 18' 55.8" de latitude sul e 51° 09' 56.0" de longitude oeste, estrategicamente localizado na região central da cidade, no cruzamento da Avenida Higienópolis com a Rua Goiás, conforme a Figura B.7. Deste modo, estava disponível a informação das distâncias em linha reta de um ponto localizado nos centros dos terrenos das residências constituintes do banco de dados até o marco de referência descrito.

A amostra, de 369 elementos comparativos, foi novamente submetida à aplicação do Método Linear dos Mínimos Quadrados para modelagem Estatística por Regressão com Múltiplas Variáveis, contudo agora para estimar a distância média entre o conjunto de locais em que se situam as residências com interesse social recentemente construídas e ponto de referência. Desta vez, foram consideradas, em

virtude das consistências e significâncias apresentadas pelas variáveis regressoras, cinco variáveis independentes: área total construída (ARE_TOT), idade estimada da residência (IDADE), data da informação (DATA), valor unitário (VAL_UNI) e tipo de transação (TRANSAC).

Figura B.7. Centro de referência do banco de dados de residências de Londrina.



Fonte: o autor (2016).

A seguir, são descritas as variáveis empregadas com as razões que justificam a utilização das mesmas:

- Área total construída (ARE_TOT): variável independente quantitativa expressa em termos de metragem quadrada de área total construída das casas, estando a amplitude da amostra aproveitada entre 46,07 m² e 280,00 m².
- Idade estimada da residência (IDADE): variável independente quantitativa expressa em termos de anos de existência do imóvel, estando a amplitude da amostra aproveitada entre 0 e 35 anos.
- Data da informação (DATA): variável independente quantitativa expressa em termos do número de dias contados a partir de uma referência de data (neste caso, o dia primeiro de janeiro de 2008), de maneira análoga ao procedido na estimativa da área total construída. A amplitude da amostra aproveitada esteve entre 597 e 3.201.
- Valor unitário (VAL_UNI): variável independente expressa em termos do valor de venda, tanto de ofertas de mercado como de negócios efetivamente

realizados, por metragem quadrada de área construída de casa, estando a amplitude da amostra aproveitada entre R\$ 520,00/m² e R\$ 3.464,54/m². Diferentemente do realizado no modelo para estimativa da área total construída, no qual foi o valor total de venda (VAL_TOT), neste caso foi empregado o valor unitário (VAL_UNI), que trata-se da relação entre o valor total da casa e a respectiva área construída. Esta escolha foi decorrente do melhor ajuste ao modelo, em termos de significância e consistência como variável regressora, do valor unitário (VAL_UNI) em comparação ao valor total (VAL_TOT).

- Tipo de transação (TRANSAC): variável independente dicotômica estimativa da variação de valores entre a informação de oferta para venda de imóvel (0) e a informação de negociação efetivamente realizada de imóvel (1), estando a amplitude da amostra aproveitada entre 0 e 1.

A equação de regressão obtida para a estimativa da variável dependente considerada, distância ao centro de referência (DIST), é a seguinte:

$$1/DIST = -0,0002956151491 + 4,992945152E-007 * ARE_TOT + 1,097504078E-006 * IDADE - 2,906556058E-008 * DATA + 6,750364811E-005 * \ln (VAL_UNI) + 1,061305282E-005 * TRANSAC$$

Os atributos de cálculo lançados no modelo, conforme as características pertinentes ao contexto da residência modelo do presente estudo são os expressos na Tabela B.3:

Tabela B.3 Atributos de cálculo para a estimativa da distância ao centro de referência.

ATRIBUTO	VALOR
ARE_TOT	68,00
IDADE	0
DATA	3.201
VAL_TOT	2.132,35
TRANSAC	1

Fonte: o autor (2016).

As razões que levaram à adoção dos atributos de cálculo apresentados na Tabela B.3 são as seguintes:

- Área total construída (ARE_TOT): foi considerada a área da residência modelo do estudo, a qual foi anteriormente estimada via Estatística Inferencial.

- Idade estimada da residência (IDADE): a casa foi considerada nova (recentemente construída), portanto com idade igual a 0 anos.
- Data da informação (DATA): foi atribuído a esta variável o valor da quantidade expressa em número de dias contados a partir da data de referência, 01/01/2008, até a data da elaboração do modelo de regressão, 06/10/2016, ou seja, 3.201 dias.
- Valor unitário (VAL_UNI): foi atribuído o valor de R\$ 2.132,35 / m², isto é, o valor correspondente a relação entre o teto máximo financiável pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) de R\$ 145.000,00 e área total construída da residência modelo do estudo estimada anteriormente.
- Tipo de transação (TRANSAC): como já procedido, foi considerada, no caso desta variável, uma aquisição efetivamente realizada (variável dicotômica com valor 1).

A Tabela B.4 apresenta os resultados, com intervalo de confiança ao nível de 80%, para a distância em linha reta entre o local em que se situa a residência fictícia adotada no estudo e o centro de referência ao qual estão referenciados os elementos comparativos do banco de dados utilizado. Foi adotada a distância média do intervalo de confiança de **5.770 m**, como a representativa da localização da casa objeto do estudo. Verificou-se que o campo de arbítrio abrangeu os resultados encontrados, o que reforça a confiabilidade dos mesmos.

Tabela B.4. Resultados para a distância da residência modelo ao centro de referência de localização, com intervalo de confiança ao nível de 80%.

	DISTÂNCIA INFERIDA (M)	CAMPO DE ARBÍTRIO
MÍNIMA	5.528	4.904
MÉDIA	5.770	
MÁXIMA	6.034	6.635

Fonte: o autor (2016).

B.3 Estimativa das distâncias de transporte entre o comércio fornecedor de insumos e os locais das obras

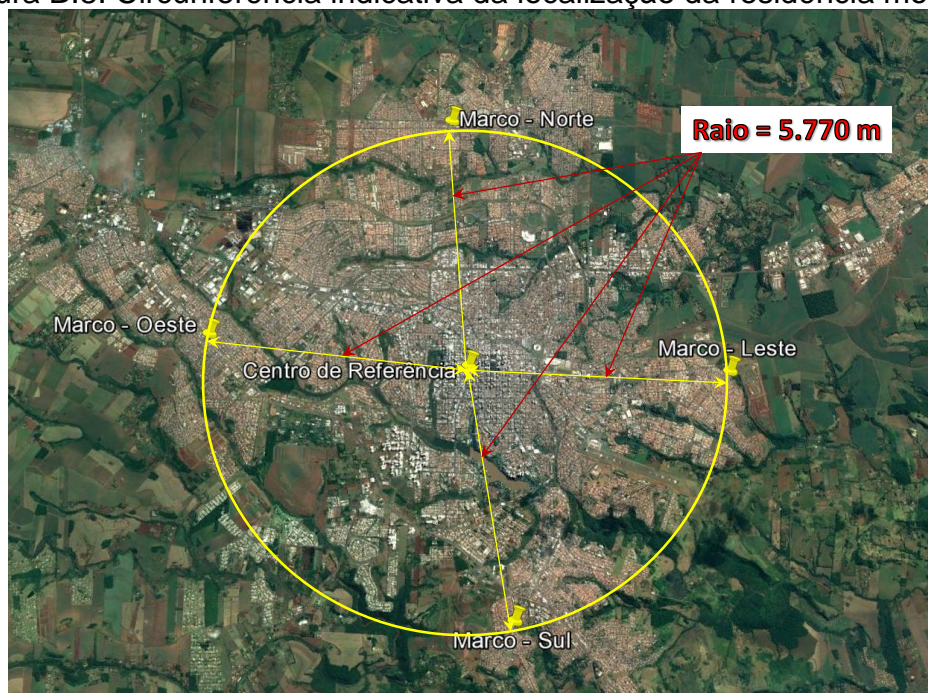
Nas estimativas da localização das obras e das distâncias de transporte até os locais das mesmas será adotada a seguinte hipótese: a localização de residências

novas recentemente construídas será considerada representativa da localização dos canteiros de obra de residências similares em processo de execução. Esta aproximação apresenta-se válida, frente aos objetivos do estudo e à rapidez do processo executivo das residências com o padrão construtivo considerado, e decorre das características dos dados disponíveis, isto é, tratam-se de informações relativas à imóveis já acabados. Para alcançar a correspondência desejada, nos modelos estatísticos inferidos serão designadas às variáveis estado de conservação e idade da residência, respectivamente, os atributos de cálculo 0,0000 e 0, ou seja, atributos condizentes com a realidade de uma residência nova recentemente edificada.

Com o auxílio da ferramenta computacional *Google Earth* procedeu-se o traçado de uma circunferência (Figura B.8), cujo centro e o raio são, respectivamente, o centro de referência localizado no cruzamento da Avenida Higienópolis com a Rua Goiás e a distância inferida estatisticamente indicativa da localização da residência modelo, isto é, 5.770 m. Deste modo, todos os pontos constituintes do perímetro desta circunferência representam a localização provável da residência modelo do estudo, em função das características definidas para a mesma.

Em seguida foram escolhidos quatro marcos, correspondentes a quatro residências reais, cuja localização coincide com o traçado da circunferência, cada uma localizada em uma das quatro zonas da cidade: norte, leste, sul e oeste, como é demonstrado na Figura B.8.

Figura B.8. Circunferência indicativa da localização da residência modelo.



Fonte: o autor (2016).

Na escolha destes quatro marcos, embora sejam apenas representativos da localização inferida, foram privilegiadas residências com características similares à residência fictícia do trabalho, em termos de padrão construtivo, estado de conservação (recentemente construídas) e área total construída.

A seguir é descrita a localização das quatro residências adotadas como marcos representativos da localização inferida.

a) Marco norte:

- ❖ Coordenadas geográficas: 23° 15' 48,6" S; 51° 10' 10,4" O.
- ❖ Endereço: Rua Salim Sahão, esquina com a Rua Henrique Vitoreli, Jardim Alto da Boa Vista, Londrina, PR.

b) Marco leste:

- ❖ Coordenadas geográficas: 23° 18' 59,5" S; 51° 06' 33,4" O.
- ❖ Endereço: Rua Nelsom Bruneli, 765, Conjunto Alexandre Urbanas, Londrina, PR.

c) Marco sul:

- ❖ Coordenadas geográficas: 23° 22' 00,6" S; 51° 09' 20,4" O.
- ❖ Endereço: Rua Carmo Antônio Salum, esquina com Rua Hérculis Acorsi, Jardim Acapulco, Londrina, PR.

d) Marco oeste:

- ❖ Coordenadas geográficas: 23° 18' 31,9" S; 51° 06' 17,6" O.
- ❖ Endereço: Rua Mateus Leme, 509, Londrina, PR.

O valor obtido para a distância de transporte por caminhão foi considerado representativo da distância entre o comércio fornecedor e o local da obra, uma vez que aos modelos estatísticos inferidos foram designados às variáveis estado de conservação e idade da residência, respectivamente, os atributos de cálculo 0,0000 e 0, ou seja, atributos condizentes com a realidade de uma residência nova recentemente edificada. Em outras palavras, considerou-se a localização de residências novas recentemente construídas como representativa da localização dos canteiros de obra de residências similares, conforme o padrão construtivo e outras características levadas em conta, em processo de execução.

APÊNDICE C – Trajetos percorridos por caminhões de carga pelas vias urbanas, com as respectivas distâncias estimadas, entre o comércio fornecedor e os marcos, representativos da localização das obras, situados em cada uma das quatro zonas da cidade de Londrina

Figura C.1. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco norte.



Fonte: o autor (2017).

Figura C.2. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco leste.



Fonte: o autor (2017).

Figura C.3. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco sul.



Fonte: o autor (2017).

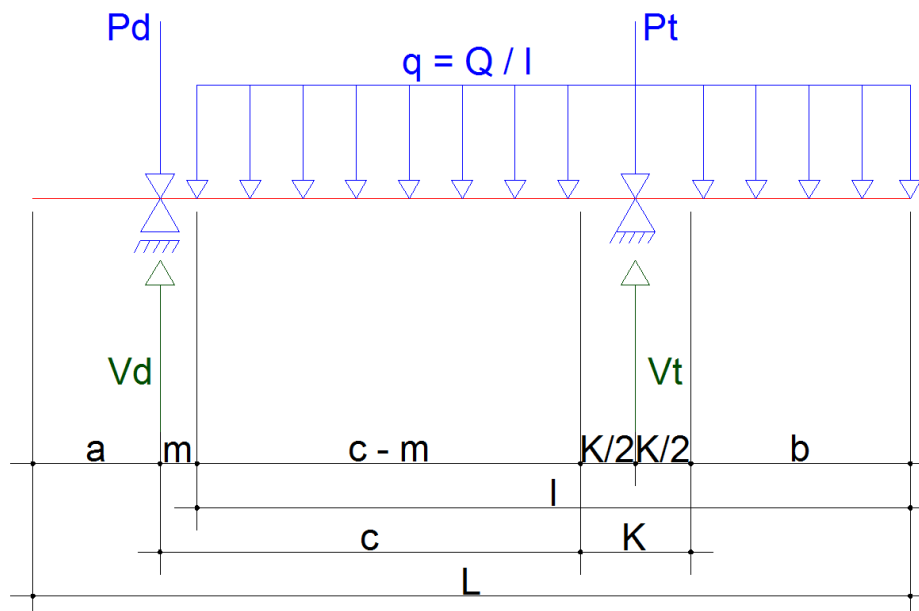
Figura C.4. Trajeto do caminhão entre o comércio distribuidor e o marco oeste.



Fonte: o autor (2017).

APÊNDICE D – Estimativas das tonelagens das cargas dos produtos para transporte por caminhão

Figura D.1. Esquema estático: carregamentos no Veículo Atego 1418/48.



Fonte: o autor (2017).

Legenda:

- Vd: carga total transmitida ao eixo dianteiro;
- Vt_{adm}: carga total transmitida ao eixo traseiro;
- Pd: peso sobre o eixo dianteiro (devido à cabina e ao chassi);
- Pt: peso sobre o eixo traseiro (devido à cabina e ao chassi).
- Q: carga útil total admissível na carroçaria;
- q: carga útil uniformemente distribuída ao longo do comprimento da carroçaria;
- a: balanço dianteiro;
- m: distância do centro do eixo dianteiro à carroçaria;
- c: distância entre eixos dianteiro e traseiro.
- K: distância entre o eixo traseiro e o terceiro eixo;
- b: balanço traseiro;
- l: comprimento externo da carroçaria;
- L: comprimento total do veículo.

Tabela D.1. Carga útil máxima (Q) para o peso máximo admissível no eixo traseiro
Vt = 17.000,00 kg.

Cargas			Trechos (m)							Reações nos eixos (kg)		
Pd (kg)	Pt (kg)	Q (kg)	a	m	c	K	b	l	L	Vd	Vt	
2.940,00	3.110,00	16.780,18	1,44	0,42	4,76	1,25	2,485	8,075	9,935	5.830,18	17.000,00	
22.830,18			Peso Bruto Total (kg)							22.830,18		
										20%	4.566,04	NÃO PASSA!

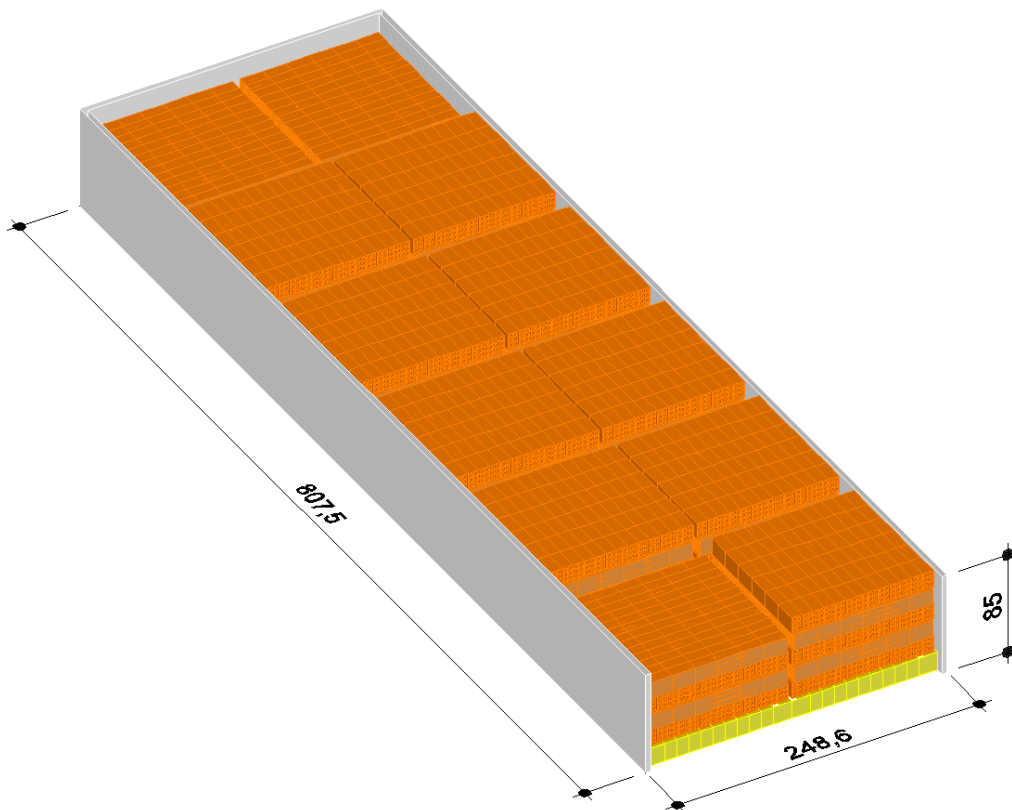
Fonte: o autor (2017).

Tabela D.2. Carga útil máxima (Q) para o peso máximo admissível no eixo dianteiro Vd = 4.700,00 kg.

Cargas (kg)			Trechos (m)						Reações nos eixos (kg)		
Pd (kg)	Pt (kg)	Q (kg)	a	m	c	K	b	I	L	Vd	Vt
2.940,00	3.110,00	10.218,44	1,44	0,42	4,76	1,25	2,485	8,075	9,935	4.700,00	11.568,44
16.268,44			Peso Bruto Total (kg)						16.268,44		
									20%	3.253,69	OK!

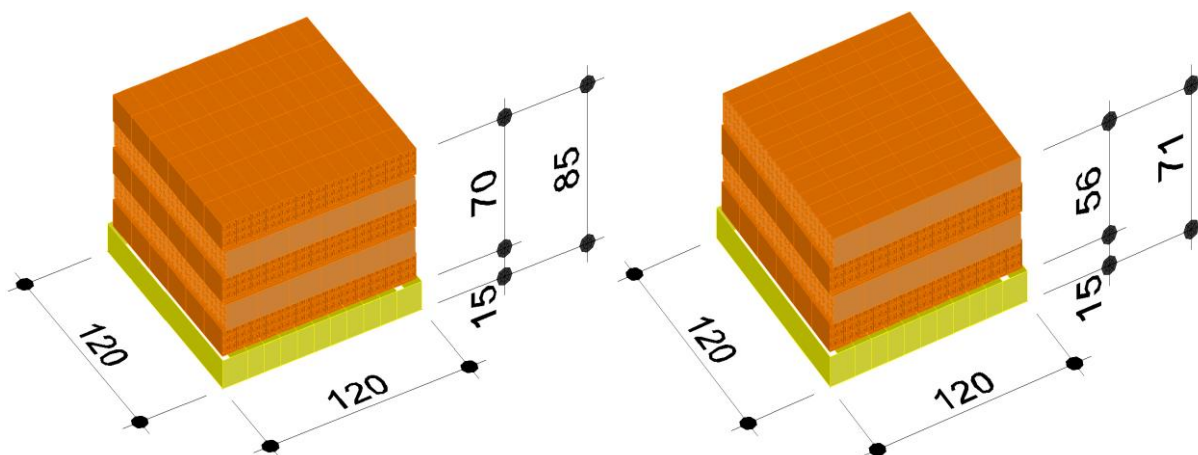
Fonte: o autor (2017).

Figura D.2. Acondicionamento dos paletes de blocos cerâmicos na carroçaria do caminhão.



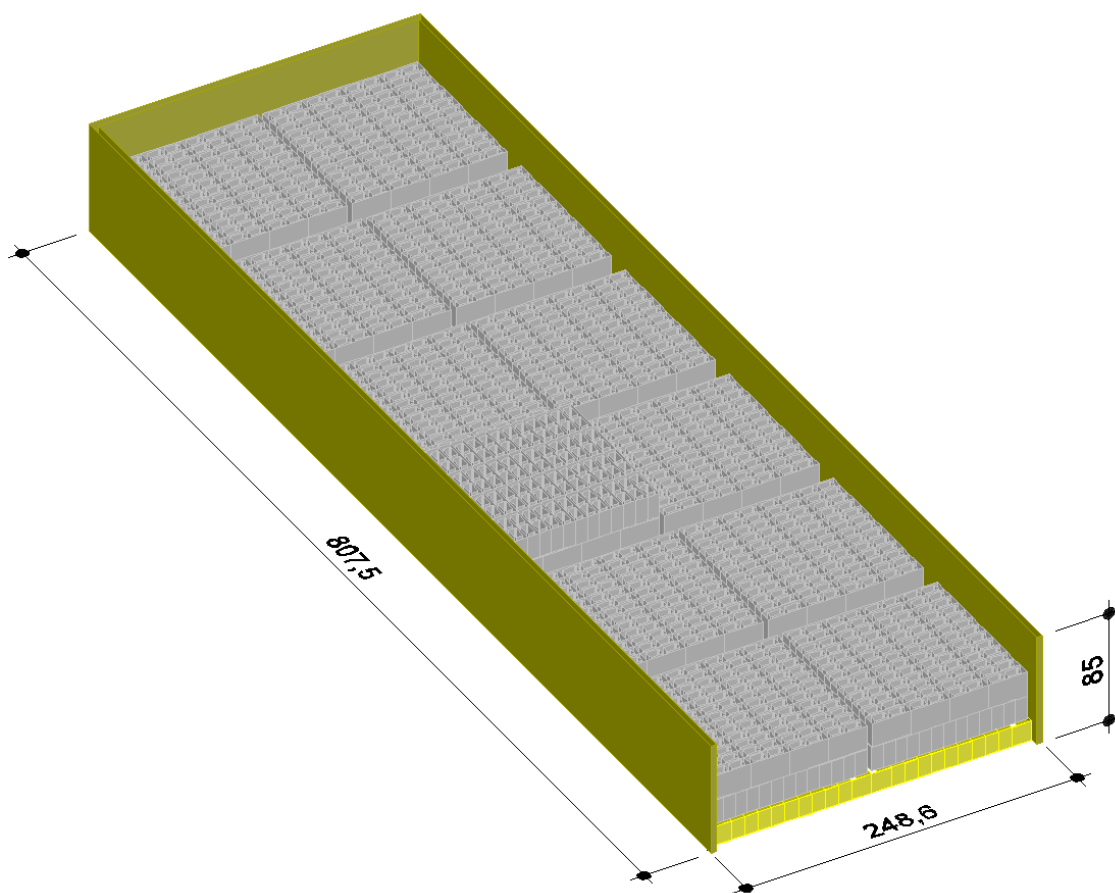
Fonte: o autor (2017).

Figuras D.3 e D.4. Detalhes dos paletes com 5 e 4 fiadas de blocos cerâmicos, respectivamente.



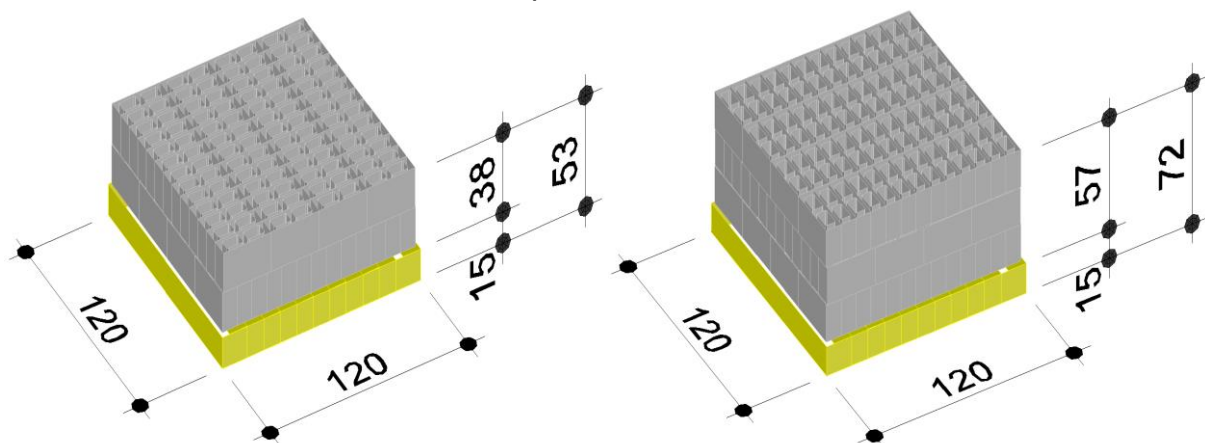
Fonte: o autor (2017).

Figura D.5. Acondicionamento dos paletes de blocos de concreto na carroçaria do caminhão.



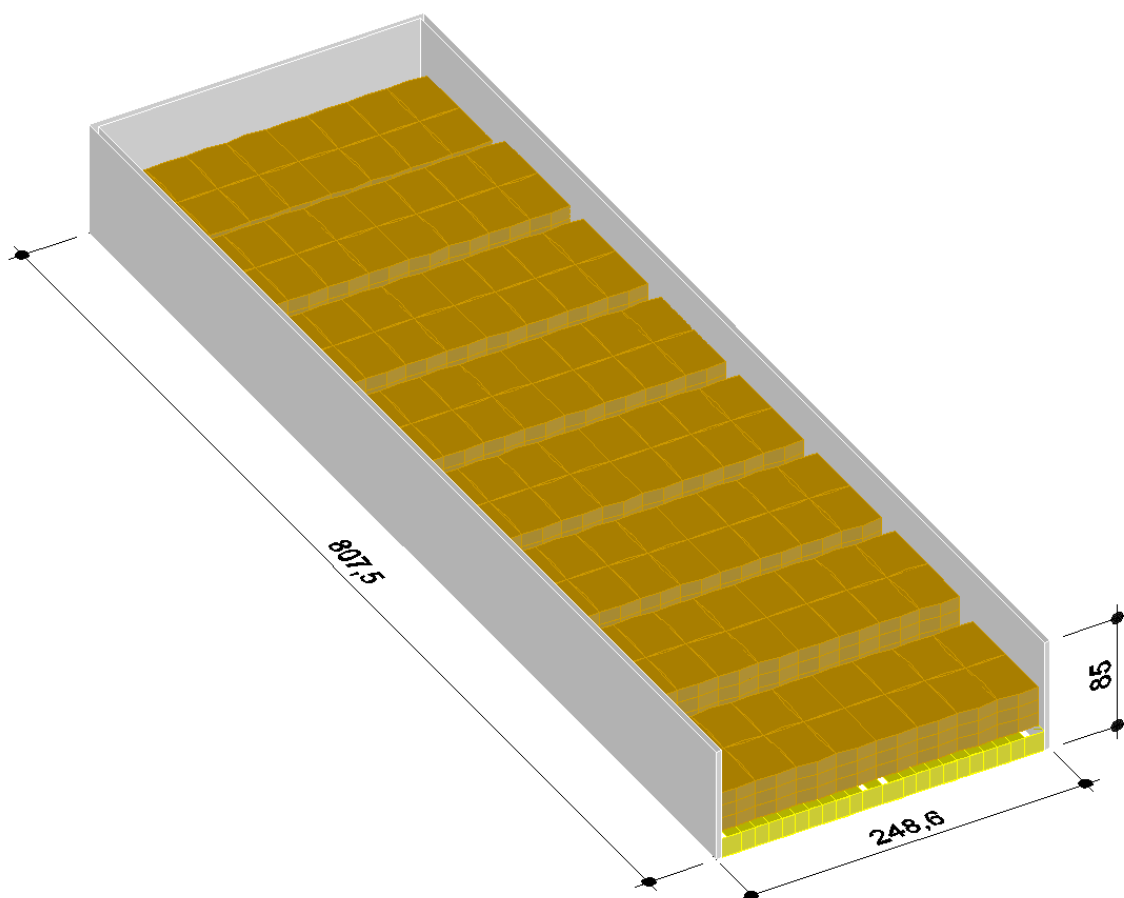
Fonte: o autor (2017).

Figuras D.6 e D.7. Detalhes dos paletes com 2 e 3 fiadas de blocos de concreto, respectivamente.



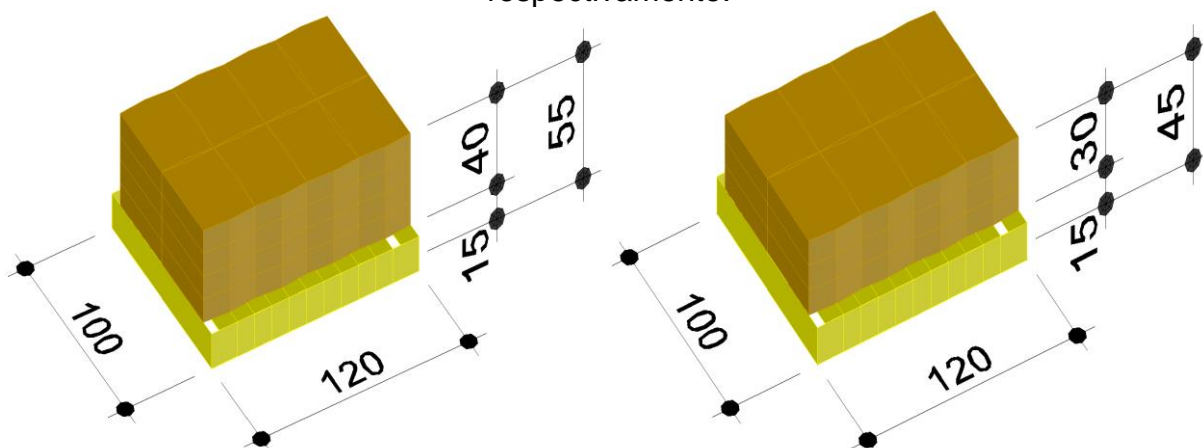
Fonte: o autor (2017).

Figura D.8. Acondicionamento dos paletes de argamassa na carroçaria do caminhão.



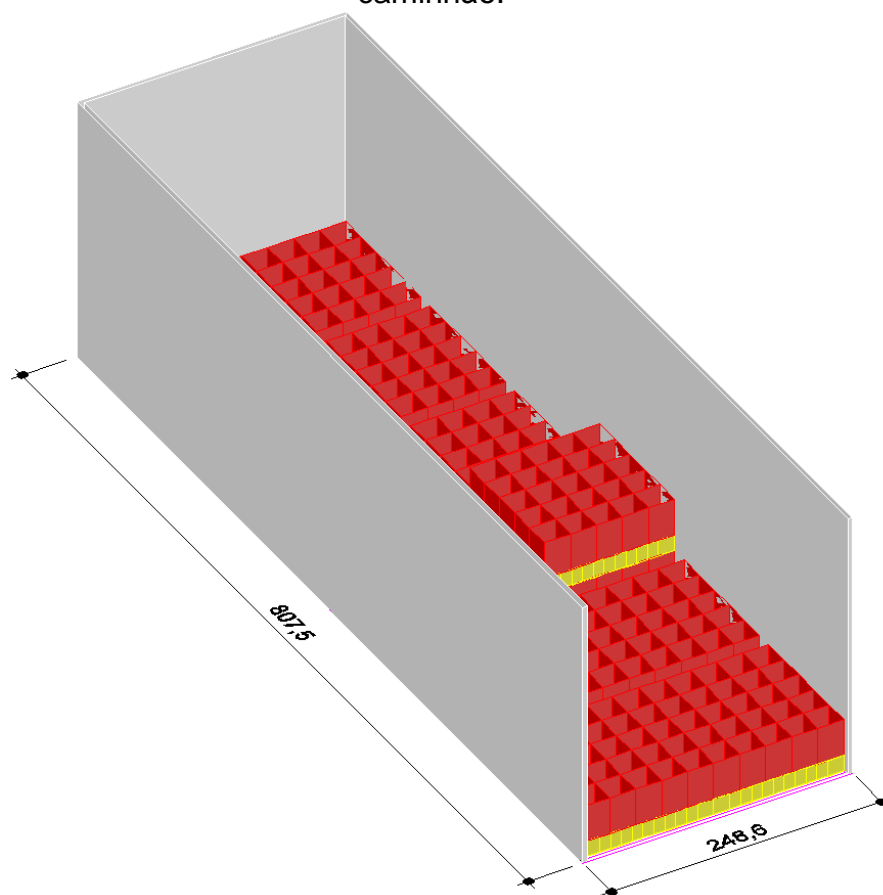
Fonte: o autor (2017).

Figuras D.9 e D.10. Detalhes dos paletes com 4 e 3 fiadas de argamassa, respectivamente.



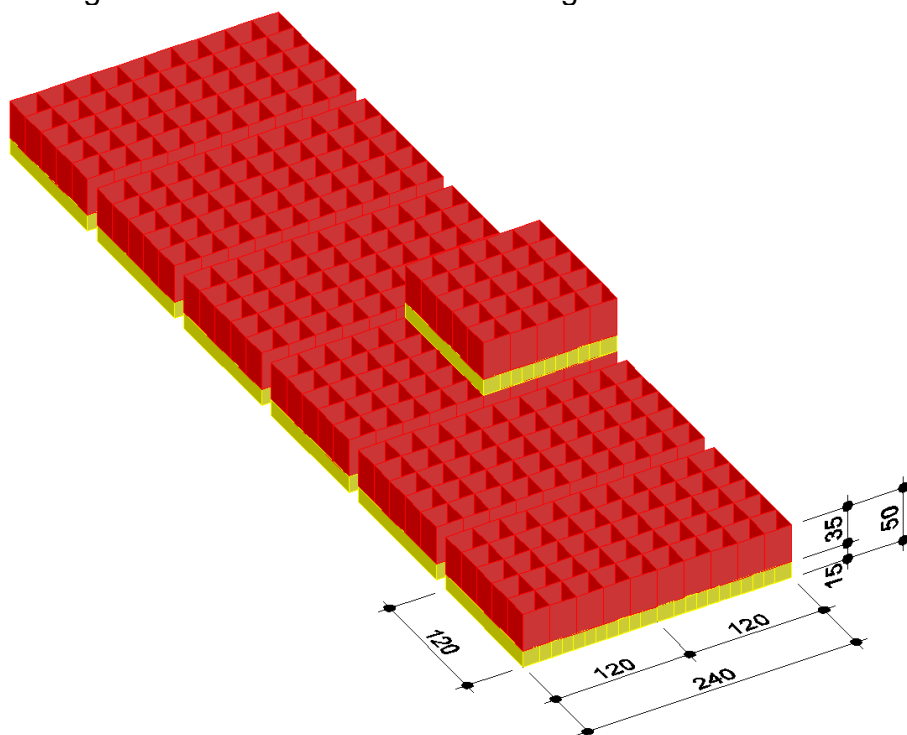
Fonte: o autor (2017).

Figura D.11. Acondicionamento dos paletes de tinta látex PVA na carroçaria do caminhão.



Fonte: o autor (2017).

Figura D.12. Detalhe isolado da carga de tinta látex PVA.



Fonte: o autor (2017).

APÊNDICE E – Trajetos percorridos por caminhões de carga pelas vias urbanas, com as respectivas distâncias estimadas, para o transporte dos resíduos gerados nas obras até a sede da gestora do tratamento dos resíduos de construção e demolição (RCD)

Figura E.1. Distância do percurso do caminhão do marco sul ao centro de tratamento de resíduos (CTR).



Fonte: o autor (2017).

Figura E.2. Distância do percurso do caminhão do marco leste ao centro de tratamento de resíduos (CTR).



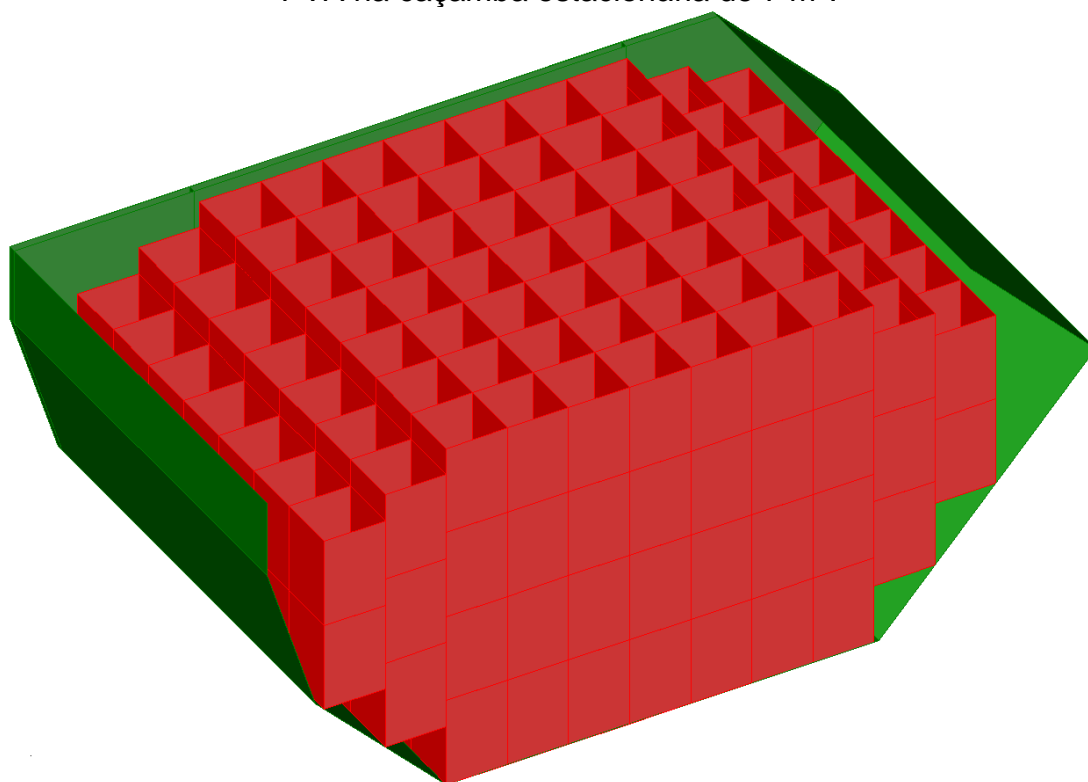
Fonte: o autor (2017).

Figura E.3. Distância do percurso do caminhão do marco oeste ao centro de tratamento de resíduos (CTR).



Fonte: o autor (2017).

Figura E.5. Acondicionamento das embalagens e respectivos resíduos de tinta látex PVA na caçamba estacionária de 7 m³.



Fonte: o autor (2017), adaptado de ABNT (2005).

ANEXOS

ANEXO A – Inventários do ciclo de vida, adaptados à realidade brasileira, dos insumos que constituem ambas soluções de vedação interna estudadas

Tabela AA.1. Inventário adaptado do bloco cerâmico – para 1 kg de bloco cerâmico.

Processo	Quantia	Un.	Entrada	Quantia	Un.	Localização
clay, at mine	9,83E+00	kg	Clay	1,00E+00	kg	Fluxo elementar
			Occupation, mineral extraction site	1,70E-04	m2*a	Fluxo elementar
			diesel, burned in building machine	8,63E-02	MJ	GLO
			Transformation, to mineral extraction site	1,67E-05	m2	Fluxo elementar
			Transformation, to unknown	1,67E-05	m2	Fluxo elementar
			Transformation, from unknown	1,67E-05	m2	Fluxo elementar
			recultivation, bauxite mine	1,67E-05	m2	GLO
clay brick, preparation of dough	1,17E+01	Item	Market for tap water	1,60E-01	kg	RoW
			diesel, burned in building machine	1,63E-01	MJ	GLO
clay brick, forming operations	1,03E+00	Item	market for electricity, medium voltage	8,33E-02	kWh	BR
			lubricating oil production	1,17E-03	kg	RER
			Market for heat, district or industrial, natural gas	3,25E-02	MJ	RoW
clay brick, firing - wood chips, from industry, mixed, burned in furnace 1000kW	7,97E+00	MJ	market for electricity, low voltage	0,00417	kWh	BR
			market for furnace, wood chips, hardwood storage area, 1000kW	5,62E-09	Item	GLO
			market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3	2,28E-03	t*km	GLO
			market for wood ash mixture, pure	-4,90E-04	kg	RoW
			market for wood chips, from post-consumer wood, measured as dry mass	-7,60E-02	kg	GLO
clay brick, drying	1,03E+00	Item	market for inert waste	-2,15E-02	kg	RoW

Fonte: Moraga *et al.* (2017¹⁴, apud MORAGA, 2017).

LEGENDA

- Dado adicionado
- Dado modificado
- Dado removido

¹⁴ MORAGA, G.; MORALES, M.; KIRCHHEIM, A.; PASSUELLO, A. **Relatório técnico de adaptação de dados de Inventário de Ciclo de Vida de materiais de construção**. Porto Alegre: 2017.

Tabela AA.2. Inventário adaptado do concreto convencional – para 1 m³ de concreto.

Unidade de processo	Localização		Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
	Ecoinvent	Adaptada		Ecoinvent	Adaptada		
market for acetic acid, without water, in 98% solution state	GLO		acetic acid, without water, in 98% solution state			kg	
market for ethylene oxide	GLO		ethylene oxide			kg	
areia natural dragagem		BR	areia natural dragagem	6,00E-01		m3	Dado adaptado conforme tabela específica. Quantidade conforme Franarin, 2014.
Cement Production, CP IV		BR	Cimento CPIV	3,85E+02		kg	Quantidade conforme Franarin, 2014
market for cement, Portland	RoW		cement, Portland	2,40E+02		kg	Cimento original removido
market for chemical, organic	GLO		chemical, organic			kg	
market for concrete mixing factory	GLO		concrete mixing factory			Item(s)	
market for diesel, burned in building machine	GLO		diesel, burned in building machine			MJ	
market for electricity, medium voltage	CA-QC	BR	electricity, medium voltage			kWh	Localização modificada BR
market for fatty alcohol	GLO		fatty alcohol			kg	Não são considerados incorporadores de ar, removido
gravel production, crushed		RoW	gravel, crushed	9,00E+02		kg	Agregado graúdo de britagem. Quantidade conforme Franarin, 2014
market for gravel, round	RoW		gravel, round			kg	O concreto não considera uso de agregado graúdo natural
market for heat, district or industrial, natural gas	CA-QC	GLO	heat, district or industrial, natural gas			MJ	Localização modificada GLO
market for lubricating oil	GLO		lubricating oil			kg	
market for sand	GLO		sand			kg	Areia de britagem, removido
market for steel, low-alloyed, hot rolled	GLO		steel, low-alloyed, hot rolled			kg	
market for synthetic rubber	GLO		synthetic rubber			kg	
market for tap water	CA-QC	GLO	tap water	2,05E+02	1,93E+02	kg	Localização modificada GLO. Quantidade estimada em 0,5 água/cimento
market for waste concrete	RoW		waste concrete			kg	
market for wastewater from concrete production	RoW		wastewater from concrete production			m3	

Moraga *et al.* (2017, apud MORAGA, 2017).

Tabela AA.3. Inventário adaptado do cimento – para 1 kg de cimento.

Dado original

Cement production, pozzolana and fly ash 11-35%, non-US – CH

Dado adaptado

Cement Production, BR

Unidade de processo	Localização		Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
	Ecoinvent	Adaptada		Ecoinvent	Adaptada		
market for cement factory	CH	GLO	cement factory			Item(s)	Mudança localização GLO
clinker production	CH	BR	clinker	0,7315	0,65	kg	Localização modificada para dado adaptado de produção. Quantidade conforme média da faixa de clínquer da norma brasileira (ABNT, 1991).
market for electricity, medium voltage	CH	BR	electricity, medium voltage	0,0329	0,05712	kWh	Mudança localização BR. Energia modificada segundo relatório setorial (CNI, 2010)
market for ethylene glycol	GLO		ethylene glycol			kg	
market for gypsum, mineral	GLO		gypsum, mineral			kg	
cement production, pozzolana and fly ash 11-35%, non-US	RoW		hard coal ash	-	0,325	kg	Cinza volante, quantidade conforme média da faixa de material pozolânico da norma brasileira (ABNT, 1991)
heat production, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW	RoW		heat, district or industrial, other tha-		0,0391	MJ	Energia modificada segundo relatório setorial (CNI, 2010)
cement production, pozzolana and fly ash 11-35%, non-US	CH		inert filler			kg	
market for limestone, crushed, for mill	GLO		limestone, crushed, for mill	-	0,025	kg	Calcário utilizado como filler, segundo norma brasileira
packing, cement	RoW		packing, cement			kg	
market for steel, low-alloyed	GLO		steel, low-alloyed			kg	

Fonte: Moraga *et al.* (2017¹⁵, apud MORAGA, 2017).**LEGENDA**

	Dado adicionado
	Dado modificado
	Dado removido

¹⁵ MORAGA, G.; MORALES, M.; KIRCHHEIM, A.; PASSUELLO, A. **Relatório técnico de adaptação de dados de Inventário de Ciclo de Vida de materiais de construção**. Porto Alegre: 2017.

Tabela AA.4. Inventário adaptado do clínquer – para 1 kg de clínquer.

Dado original

clinker production - CH

Dado adaptado

clinker production - BR

Unidade de processo	Localização		Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
	Ecoinvent	Adaptada		Ecoinvent	Adaptada		
market for ammonia, liquid	RER	RoW	ammonia, liquid			kg	Localização modificada RoW
market for bauxite, without water	GLO	-	bauxite, without water			kg	
market for calcareous marl	GLO	-	calcareous marl			kg	
charcoal production	GLO	-	charcoal	1,28E-02		kg	Dado calculado conforme relatório de produção de cimento (SNIC,2013), ponderados pelos dados de energia do setor cimenteiro no balanço energético nacional (BEN, 2014).
market for diesel, burned in building machine	GLO	-	diesel, burned in building machine	1,34E-02	4,06E-02	MJ	Ibid. Charcoal production
market for electricity, medium voltage	CH	BR	electricity, medium voltage	1,21E-01	8,57E-02	kWh	Localização modificada BR. Quantidade Ibid. Charcoal production
market for hard coal	WEU	RLA	hard coal	3,70E-02	4,47E-03	kg	Localização modificada RLA. Quantidade Ibid. Charcoal production
market for heavy fuel oil [CH]	CH	RoW	heavy fuel oil	7,58E-04	2,46E-04	kg	Localização modificada RoW. Quantidade Ibid. Charcoal production
market for industrial machine, heavy, unspecified	GLO		industrial machine, heavy, unspecified			kg	
market for light fuel oil	CH	RoW	light fuel oil	2,00E-04	3,74E-04	kg	Localização modificada RoW. Quantidade Ibid. Charcoal production
market for limestone, crushed, for mill	CH	GLO	limestone, crushed, for mill			kg	Localização modificada GLO
market for lubricating oil	GLO		lubricating oil			kg	
market for natural gas, high pressure	CH	GLO	natural gas, high pressure	1,00E-04	4,82E-04	m3	Localização modificada GLO. Quantidade Ibid. Charcoal production
market for petroleum coke	GLO		petroleum coke	8,91E-03	8,34E-02	kg	Localização modificada GLO. Quantidade Ibid. Charcoal production
market for pulverised lignite	GLO		pulverised lignite			MJ	Os relatórios setoriais não relatam o uso desse tipo de energia.
market for refractory, basic, packed	GLO		refractory, basic, packed			kg	
market for refractory, fireclay, packed	GLO		refractory, fireclay, packed			kg	
market for refractory, high aluminium oxide, packed	GLO		refractory, high aluminium oxide, packed			kg	
market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled	GLO		steel, chromium steel 18/8, hot rolled			kg	
market for tap water	CH	RoW	tap water			kg	Localização modificada RoW
market for urea, as N	GLO		urea, as N			kg	
"fluxo elementar"			Water, unspecified natural origin			m3	

Moraga *et al.* (2017, apud MORAGA, 2017).

Tabela AA.5. Inventário adaptado da areia de dragagem – para 1 m³ de areia.

Unidade de processo	Localização adaptada	Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
			Ecoinvent	Adaptada		
market for electricity, medium voltage	BR	Electricity, medium voltage	-	1,30E-04	kWh	Processo criado tendo como referência os dados obtidos em uma visita à uma mineradora de grande porte na região metropolitana de Porto Alegre e complementados com dados de Souza (2012). Considerando massa unitária de 1500 kg/m ³ de acordo com Basílio (1995). Foi considerado a umidade final da areia sendo 4,2% de acordo com Petrucci (1988). Consumo de eletricidade relacionado à iluminação e instalações administrativas.
market for diesel	RoW	diesel	-	3,00E-01	kg	
market for industrial machine, heavy, unspecified	GLO	industrial machine, heavy, unspecified	-	1,07E-03	kg	
market for lorry, 16 metric ton	GLO	lorry, 16 metric ton	-	1,33E-07	item(s)	
"fluxo elementar"	-	Occupation, dump site	-	6,00E-02	m ² *a	
market for diesel - RoW	RoW	diesel	-	1,70E+00	kg	
market for industrial machine, heavy, unspecified	GLO	industrial machine, heavy, unspecified	-	9,88E-04	kg	
diesel, burned in building machine	GLO	diesel, burned in building machine	-	5,50E+01	MJ	
market for industrial machine, heavy, unspecified	GLO	industrial machine, heavy, unspecified	-	6,50E-02	kg	
"fluxo elementar"	-	Sand, quartz, in ground	-	1,50E+03	kg	
"fluxo elementar"	-	Water, river	-	6,50E-01	m ³	

Fonte: Moraga *et al.* (2017¹⁶, apud MORAGA, 2017).

¹⁶ MORAGA, G.; MORALES, M.; KIRCHHEIM, A.; PASSUELLO, A. **Relatório técnico de adaptação de dados de Inventário de Ciclo de Vida de materiais de construção**. Porto Alegre: 2017.

Tabela AA.6. Inventário adaptado da argamassa industrializada – para 1 kg de argamassa.

Dado original cement mortar production - CH

Dado adaptado cement mortar production - BR

Unidade de processo	Localização		Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
	Ecoinvent	Adaptada		Ecoinvent	Adaptada		
areia natural dragagem		BR	areia natural dragagem		3,50E-04	m3	Dado de extração de areia adaptado conforme tabela específica. Quantidade alterada segundo dados em Franarin, 2014
market for silica sand	CH		silica sand		8,00E-01	kg	Refere-se a produção de areia na Suíça, removido
Cement Production		BR	Cimento		8,85E-02	kg	Produção de cimento brasileira, conforme tabela específica. Quantidade alterada conforme Franarin, 2014
market for cement, Portland	CH		cement, Portland		2,00E-01	kg	Refere-se a produção de cimento na Suíça, removido
market for conveyor belt	GLO		conveyor belt			m	
market for electricity, medium voltage	CH	BR	electricity, medium voltage			kWh	Alterado para a matriz brasileira
market for industrial machine, heavy, unspecified	GLO		industrial machine, heavy, unspecified			kg	
market for lime, hydraulic		BR	market for lime, hydraulic		5,71E-02	kg	Dado de produção da cal adaptado conforme tabela específica. Quantidade alterada segundo dados em Franarin, 2014
market for packing, cement		GLO	packing, cement			kg	

Fonte: Moraga *et al.* (2017¹⁷, apud MORAGA, 2017).**LEGENDA**

- Dado adicionado
- Dado modificado
- Dado removido

¹⁷ MORAGA, G.; MORALES, M.; KIRCHHEIM, A.; PASSUELLO, A. **Relatório técnico de adaptação de dados de Inventário de Ciclo de Vida de materiais de construção**. Porto Alegre: 2017.

Tabela AA.7. Inventário adaptado da cal hidratada – para 1 kg de cal.

Dado original

lime production - CH

Dado adaptado

lime production - CH

Unidade de processo	Localização		Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
	Ecoinvent	Adaptada		Ecoinvent	Adaptada		
market for ammonia, liquid	RER		ammonia, liquid			kg	
areia natural dragagem		BR	areia natural dragagem	9,26E-03		m3	Modificação do tipo de areia para o brasileiro. Conforme adaptação específica
market for sand	GLO		sand	9,26E-03		kg	Remoção areia original
market for bauxite, without water	GLO		bauxite, without water			kg	
Market for cement factory	CH	GLO	cement factory			Item(s)	Modificação localização GLO
charcoal production	GLO		charcoal	1,76E-01		kg	Conforme levantamento da matriz energética de produção de cal.de John et al., 2013.
clay, at mine		BR	clay, at mine	3,31E-01		kg	Modificação do tipo de argila para o brasileiro. Conforme adaptação específica (ANICER, 2012)
market for clay	CH		clay	3,31E-01		kg	Remoção argila original
market for diesel, burned in building machine	GLO		diesel, burned in building machine			MJ	
market for electricity, medium voltage	CH	BR	electricity, medium voltage			kWh	Modificação localização BR
market for hard coal	WEU		hard coal			kg	O Brasil não utiliza este tipo de energia para produção, conforme John et al., 2013
market for heavy fuel oil	CH		heavy fuel oil			kg	O Brasil não utiliza este tipo de energia para produção, conforme John et al., 2013
market for heat, district or industrial, natural gas	RoW		heat, district or industrial, natural gas	1,04E+00		MJ	Conforme levantamento da matriz energética de produção de cal.de John et al., 2013
market for industrial machine, heavy, unspecified	GLO		industrial machine, heavy, unspecified			kg	
treatment of inert waste, inert material landfill	CH	GLO	inert waste, for final disposal			kg	Modificação localização GLO
market for lime	GLO		lime			kg	
market for lime, hydrated, loose weight	CH	GLO	lime, hydrated, loose weight			kg	Modificação localização GLO
market for lubricating oil	GLO		lubricating oil			kg	
market for municipal solid waste	CH	GLO	municipal solid waste			kg	Modificação localização GLO
market for petroleum coke	GLO		petroleum coke	8,62E-02		kg	Conforme levantamento da matriz energética de produção de cal.de John et al., 2013
market for refractory, basic, packed	GLO		refractory, basic, packed			kg	
market for refractory, fireclay, packed	GLO		refractory, fireclay, packed			kg	
market for refractory, high aluminium oxide, packed	GLO		refractory, high aluminium oxide, packed			kg	
market for steel, chromium steel 18/8, hot rolled	GLO		steel, chromium steel 18/8, hot rolled			kg	
market for tap water	CH	RoW	tap water			kg	Modificação localização RoW
"fluxo elementar"			Water, unspecified natural origin			m3	

Moraga et al. (2017, apud MORAGA, 2017).

Tabela AA.8. Inventário adaptado da tinta látex PVA branca – para 1 kg de tinta.

Dado original
Dado adaptado

Alkyd paint production, white, water-based, product in 60% solution state - RER

Vinyl paint production, white - BR

Unidade de processo	Localização		Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
	Ecoinvent	Adaptada		Ecoinvent	Adaptada		
market for chemical factory, organics	GLO		chemical factory, organics			Item(s)	
market for chemical, organic	GLO		chemical, organic			kg	
market for electricity, medium voltage	RER	BR	electricity, medium voltage			kWh	Os processos energéticos e de infraestrutura foram mantidos idênticos ao original. Seguindo metodologia presente na adaptação dos dados base para Ecolabels em tintas europeias (KOU GOULIS et al., 2012), Localização modificada quando possível.
market group for heat, district or industrial, natural gas	RER		heat, district or industrial, natural gas			MJ	
market group for heat, district or industrial, other than natural gas	RER		heat, district or industrial, other than natural gas			MJ	
market for pentaerythritol	GLO		pentaerythritol			kg	Processos químicos da tinta original, excluídos
market for phthalic anhydride	GLO		phthalic anhydride			kg	
market for soybean oil, crude	GLO		soybean oil, crude			kg	
market for titanium dioxide	RER		titanium dioxide	5,05E-01	1,60E-01	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for waste paint	RER-CH		waste paint	-1,68E-02		kg	As quantidades anteriormente eram distribuídas entre 2 localizações, na adaptação elas foram somadas e a localização alterada para RoW.
market for waste paint	CH	RoW	waste paint	-3,90E-05	-1,68E-02	kg	
market for white spirit	GLO		white spirit			kg	Processos químicos da tinta original, excluído
market group for tap water		GLO	tap water - GLO		3,57E-01	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for ethylene glycol		GLO	ethylene glycol - GLO		2,00E-02	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for waste mineral oil		GLO	waste mineral oil - GLO		2,50E-03	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for sodium nitrite		GLO	sodium nitrite		1,00E-03	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for carboxymethyl cellulose, powder		GLO	carboxymethyl cellulose, powder		4,50E-03	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for polyvinylchloride, emulsion polymerized		GLO	polyvinylchloride, emulsion, polymerized		2,50E-01	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for ammonia, liquid		RER	ammonia, liquid		1,00E-03	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
market for sodium aluminate, powder		GLO	sodium aluminate, powder		1,00E-01	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).
"fluxo elementar"			Calcium carbonate, in ground		1,00E-01	kg	Quantidades baseadas em SILVA (2005).

Moraga et al. (2017, apud MORAGA, 2017).

Tabela AA.9. Inventário adaptado do bloco de concreto – para 1 kg de bloco de concreto.

Dado original

concrete block production - GLO

Dado adaptado

concrete block production - BR

Unidade de processo	Localização		Fluxo de referência	Quantidade		Unidade	Comentários
	Ecoinvent	Adaptada		Ecoinvent	Adaptada		
clay pit infrastructure	GLO		clay pit infrastructure	1,67E-10		unit	
Concreto convencional 25 MPa	RNA	BR	Concrete production 20MPa, RNA	0,000375		m3	Localização modificada BR. Dosagem conforme Franarim (2014, apud Moraga, 2017).
market diesel, burned in building machine	GLO	BR	diesel, burned in building machine	0,0216		MJ	Localização modificada BR.
market for electricity, medium voltage	GLO	BR	electricity, medium voltage	0,002		kWh	Localização modificada BR.
packing, clay product	GLO		packing, clay product	1		kg	
"fluxo elementar"			Water, unspecified natural origin	0,000184		m3	
"fluxo elementar"			Water (to fresh water)	0,0001564		m3	
"fluxo elementar"			Water (to air)	0,0000276		m3	

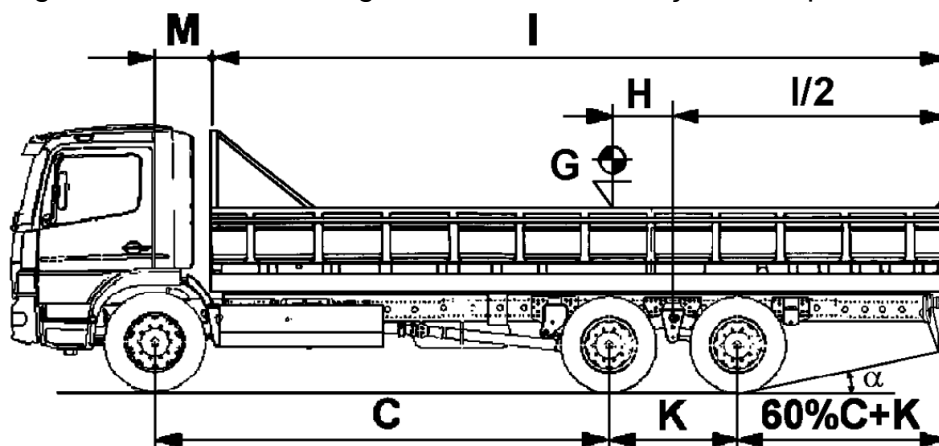
ANEXO B – Estimativas das tonelagens das cargas dos produtos para transporte por caminhão

Figura BB.1. Modelo de caminhão de carga da linha Atego da Mercedes-Benz do Brasil LTDA.



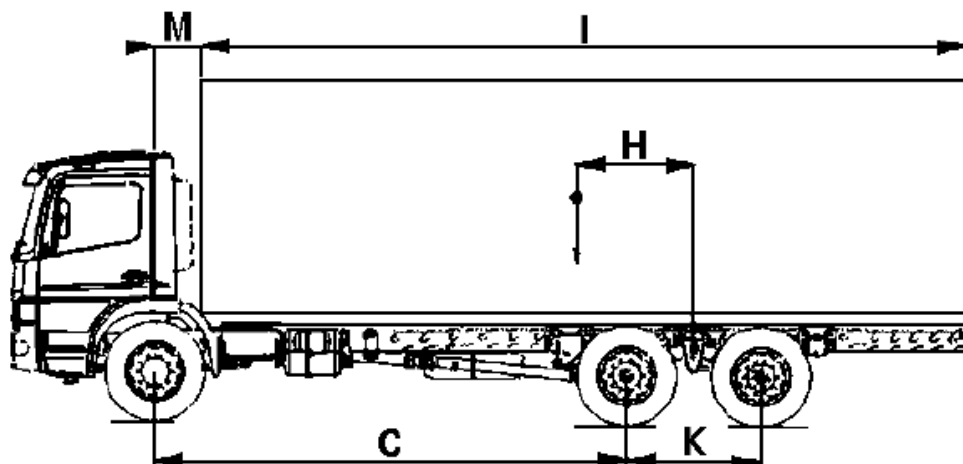
Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2017c).

Figura BB.2. Veículo Atego 1418/48 com carroçaria do tipo aberta.



Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2017b).

Figura BB.3. Veículo Atego 1418/48 com carroçaria do tipo plataforma fechada e coberta.



Fonte: Mercedes-Benz do Brasil (2017b).

Tabela BB.1. Parâmetros admissíveis na montagem da carroçaria e no carregamento para transporte do veículo Atego 1418/48.

Parâmetros	CONTRAN	MERCEDEZ-BENS
V_{adm} (kg)	6.000,00	4.700,00
$V_{mín}$ (kg)		$\geq 20\%$ do PBT
V_{tadm} (kg)	18.000,00	17.000,00
PBT (kg)	45.000,00	21.300,00
$b_{máx}$ (m)		$\leq 60\%$ de $(c + K)$ ou $\leq 3,50$
$K_{mín}$ (m)	$\geq 1,20$	
$l_{máx}$ (m)		$\leq 8,80$
$L_{máx}$ (m)	14,00	

Fonte: BRASIL (2009) e Mercedes-Benz do Brasil (2017b).

Legenda:

- V_{adm} : peso máximo admissível no eixo dianteiro;
- $V_{mín}$: carga estática mínima no eixo dianteiro
- V_{tadm} : peso máximo admissível no eixo traseiro;
- PBT: peso bruto total admissível;
- $b_{máx}$: balanço traseiro máximo;
- $K_{mín}$ - distância mínima entre o eixo traseiro e o terceiro eixo;
- $l_{máx}$: comprimento externo máximo recomendado para carroçaria.
- $L_{máx}$: comprimento total máximo;
- c: distância entre eixos;
- K: distância entre o eixo traseiro e o terceiro eixo.